

労災疾病等13分野医学研究・開発、普及事業【第2期】
(平成21年度～平成25年度)
分野名「四肢切断、骨折等の職業性外傷」

職業性の四肢の挫滅損傷 及び外傷性切断に対する早期治療等 に関する地域医療連携体制の構築 に係る研究・開発、普及



独立行政法人労働者健康福祉機構
職業性外傷疾患研究センター

主任研究者
燕労災病院 整形外科部長
幸田 久男

【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であるが、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。

そこでわれわれは第1期労災疾病研究において、手指切断・不全切断50例をHand Injury Severity Score（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。しかし、HISSは皮膚、腱、神経、骨損傷に関する評価であり、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。

⇒【テーマ1】手指外傷に対するスコアリングシステムの再構築

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、マイクロサージャリー技術（微小手術）および医療機器の進歩により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ため、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ついても検討する必要がある。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である。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ことから、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。

⇒【テーマ2】切断指再接着に関する調査研究

切断指再接着手術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を要する。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。一方で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、より高度な技術とよりよい成績を求められている。それらに対応するためには、限られた施設にマイクロサージャンを集約化し、複数の専門医が手術を行うことが望ましい。

⇒【テーマ3】マイクロサージャン（微少外科医）集約化の必要性に関する検討

【目的】

本研究では以下の項目に関して検討することを目的とした。

【テーマ1】手指外傷に対するスコアリングシステムの再構築

【テーマ2】切断指再接着に関する調査研究

- 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。

【テーマ3】マイクロサージャ（微少外科医）集約化の必要性の検討

テーマ1:手指外傷に対するスコアリングシステムの再構築

【対象と方法】

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。

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か月-15年3か月(平均7年9か月)

調査項目は、

- 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

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、玉井分類による損傷レベル(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。

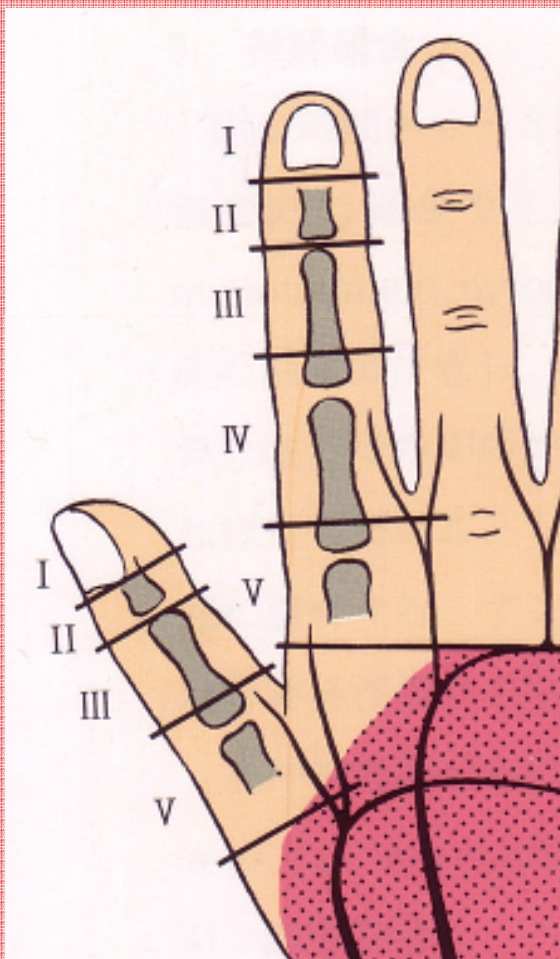


図1 玉井分類による切断レベル

損傷レベルは遠位から近位に向かってZoneIからZoneVに分類し、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及びわれわれが考案した**修正HISS**を用いた。

各指に対して皮膚、骨、腱、神経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重要度に応じた定数をかけた後、各指の得点を合計した(表2B)。

修正HISSでは、血管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。

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

A

TISSUE	INJURY FORM			SCORE	
INTEGUMENT	Skin loss	Absolute values (hand)	Dorsum < 1 cm ²	5	
			> 1 cm ²	10	
			> 5cm ²	20	
		Weighted values (digit)	Palm Dorsum X 2 É.		
			Dorsum < 1 cm ²	2	
	> 1 cm ²	3			
	Pulp	< 25%	3		
		> 25%	5		
	Skin laceration	(If extends across more than one ray, include in both rays score)		< 1 cm	1
				> 1 cm	2
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 X1		3	
		Digital nerve X2		4	

B

	INTEGUMENT (Dirty X2)	SKELETON (Open X2)	MOTOR	NEURAL	TOTAL
THUMB					(X 6)
INDEX					(X 2)
LONG					(X 3)
RING					(X 3)
LITTLE					(X 2)
HAND					
FINAL SEVERITY SCORE (grand total)					

表3 HISS Vascular HISSに血管損傷因子を追加

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

【結果】

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2)。

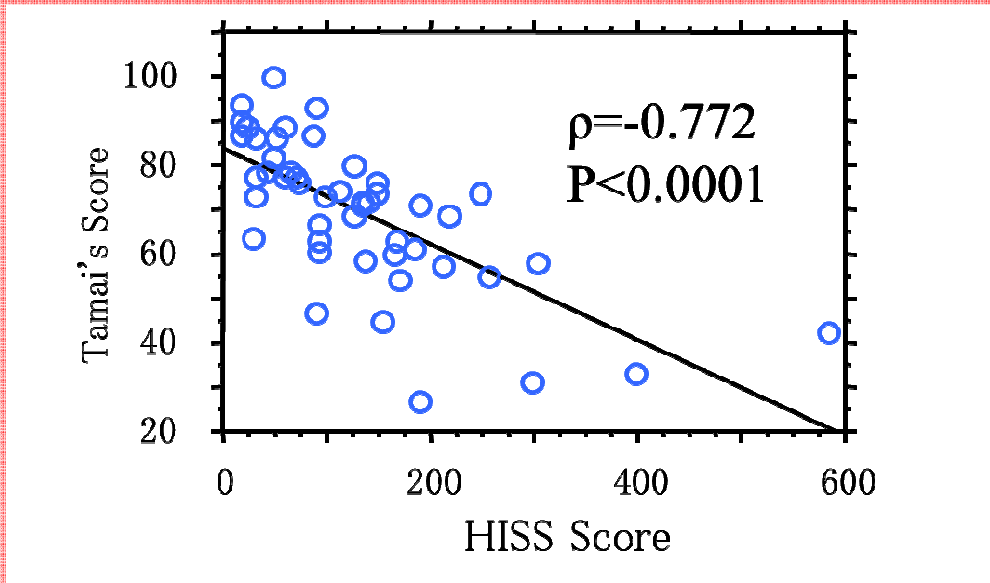


図2 玉井の評価基準とHISSの相関関係

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3に示すとおりであった。

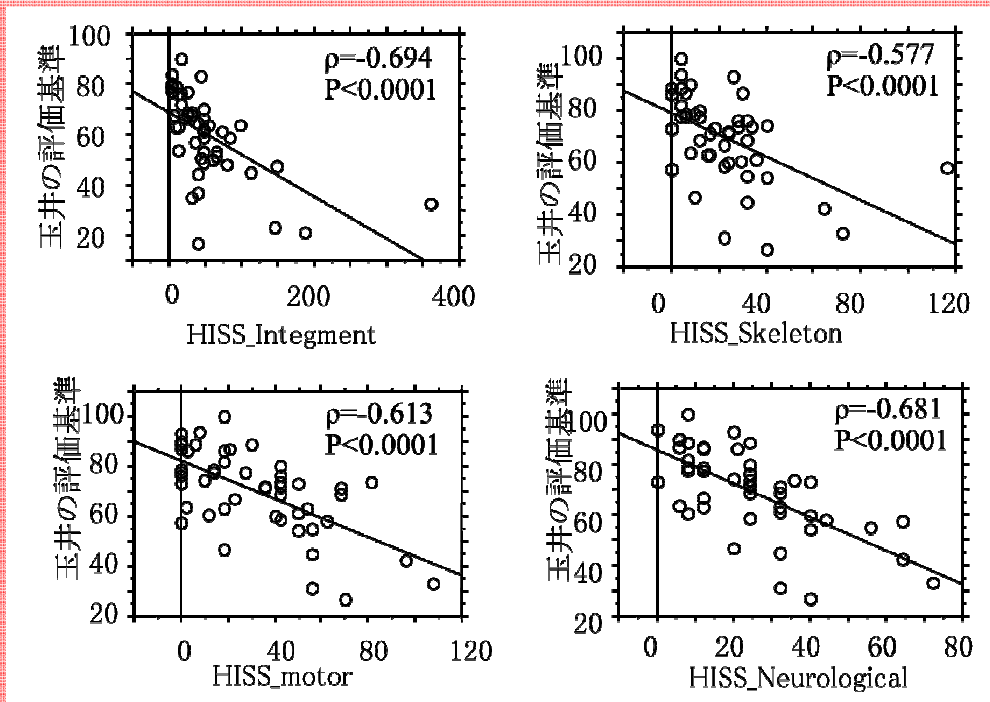


図3 HISSの各因子と玉井の評価基準との相関関係

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4)。

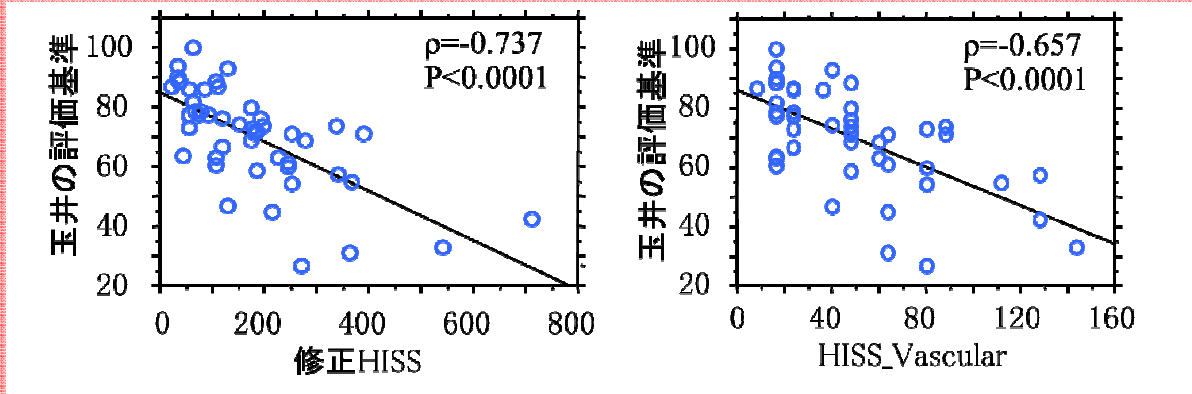


図4 HISSの各因子と玉井の評価基準との相関関係

【考察とまとめ】

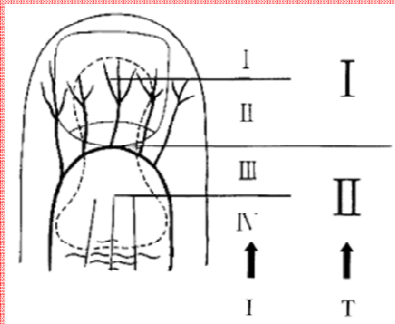
- 血管損傷因子を追加した修正HISSと玉井の評価基準との間に高い相関関係が示されたが、相関の強さは従来のHISSと同程度であった。理由として、本研究の症例群が重傷例のみに限定されており、全症例で血管損傷を合併していたことから、修正HISSとして血管損傷因子を加えても、HISSと玉井の評価基準との相関関係に大きな影響を及ぼさなかったためと推測される。
- 血管損傷因子のみと玉井の評価基準との間の相関係数は、皮膚損傷因子および神経損傷因子と同程度の高い相関関係が認められており、血管損傷因子を追加して検討することの妥当性が示された。
- 機能的母指の再建を最も重要な目標とすることは、母指を含んだ手指外傷に広く適応されるべき概念であり、HISSの定数で母指が最も高いことは妥当と考えられる。しかし、母指に対する対向指の再建においては様々な考察がなされており、必ずしも中環指の機能的重要度が高いとは限らず、母指以外の定数については議論の余地が残される。
- 今後、軽症例を含む幅広い対照群を修正HISSで評価し、その有用性や各指の機能的重要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:切断指再接着に関する調査研究

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に関する検討

【対象と方法】

項目	内訳
症例数	1997年6月～2002年10月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関節以遠での指尖部切断13例15指(男性8例、女性5例)
年齢	19-56歳(平均35歳)
損傷指数	母指:3指、示指:4指、中指:7例、環指:1例
損傷レベル	全指:玉井の基準zone I、石川の分類subzone II
損傷形態	Sharp:7指、crush:7例、avulsion:1例
術後経過観察期間	3年-5年11か月(平均1年3か月)



↑: 玉井のZone分類、↑: 石川のSubzone分類

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。

【結果】

15指中13指が生着し、生着率は87%であった。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ていた。

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)

【考察とまとめ】

- 指尖切断に対する再接着術では、従来の動脈吻合のみでも瀉血を併用すれば良好な成績が得られた。
- 高倍率顕微鏡などの医療機器の進歩により、指尖切断においても静脈吻合を追加できる症例は増える傾向にある。これにより瀉血のリスクを回避でき、より安定した治療成績が期待できる。



テーマ2:切断指再接着に関する調査研究

② 指尖切断に対する再接着術以外の術式の検討

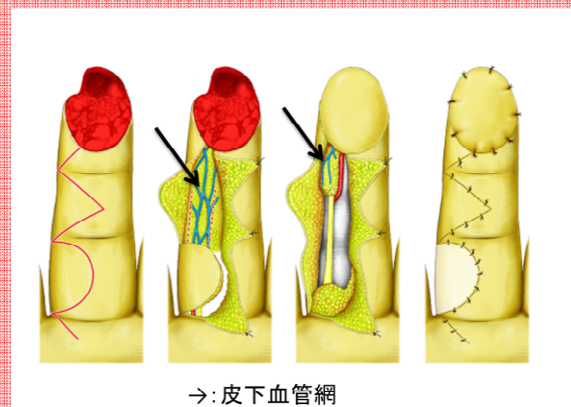
【対象と方法】

項目	内訳
症例数	2002年8月～2010年1月に逆行性指動脈皮弁を行った指尖切断13例14指(男性9例、女性4例)
年齢	24-68歳(平均43歳)
皮弁サイズ	15×20～28×35mm(平均19×25mm)
術後経過観察期間	4-13か月(平均6.6か月)

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か月、平均6.6か月だった。

皮弁生着率、術後合併症、最終診察時の%TAMおよびSWTを調査した。



【結果】

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、皮弁の抜糸と注射針による瀉血を行った。%TAMI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(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指のうち最も大きい皮弁(28×35mm)の知覚回復は良好であった。

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			
Red	4.31			
	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)

【考察とまとめ】

- 血管茎に皮下静脈網を含めて皮弁の挙上することで術後のうっ血を回避でき、高い生着率が得られた。
- 採取可能な皮弁サイズについては今後詳細な検討が必要となるが、比較的大きな皮弁に対しては神経縫合を追加することが望ましい。

テーマ2:切断指再接着に関する調査研究

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の検討

【対象と方法】

項目	内訳
症例数	2005年10月～2010年7月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(男性37例、女性6例)
年齢	19-78歳(平均46歳)
損傷レベル	zone I :10指、zone II :12指、zone III:21指、zone IV:23指、zone V:4指
損傷形態	Clean:11例、crush:50例、avulsion:9例

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。

【結果】

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、Zone1 10%、Zone2 25%、Zone3 76%、Zone4 96%、Zone5 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したがい、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。

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

手術時期を初回手術後2か月を境に早期、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。

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

【考察とまとめ】

- 多数指切断や複雑な組織欠損を伴う症例では、必ずしも一期的再建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、手指可動域などを再建することが必要となる。
- 一般に、皮膚・軟部組織、骨安定性、腱・関節、外観の順に二期的再建が行われるべきである。

テーマ2:切断指再接着に関する調査研究

④高齢者に対する再接着術の検討

【対象と方法】

項目	内訳
症例数	2000年5月～2011年8月に65歳以上の高齢者に行われた切断指再接着9例15指(男性7例、女性2例)
年齢	65-78歳(平均72歳)
罹患指	母指3指、示指3指、中指3指、環指2指、小指4指
損傷レベル	zone I :1指、zone II :4指、zone III :7指、zone IV :3指
術後経過観察期間	3-12か月(平均7.4か月)

1指のみの再接着が6例で、2指、3指、4指の再接着が各1例ずつであった。

全例、腕神経叢ブロック下に通常の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。

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。

【結果】

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、切断指は良好に生着した。

【考察とまとめ】

- 高齢者に対する切断指再接着の成績は若年者の成績との間で有意差はなく、年齢のみで再接着術の適応を決定すべきでない。
- 手術は低侵襲を心がけるとともに、術後合併症の予防にも細心の注意を払う必要がある。

テーマ3:マイクロサージャン(微少外科医)集約化の必要性 に関する検討

【対象と方法】

2005年10月から2009年7月までに燕労災病院整形外科で行われた切断指再接着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、部分的に皮膚の連続性を有する不全切断は7例であった。

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】

再接着指32本中31本が生着し、全体の生着率は97%で、完全切断が93%、不全切断が100%の成功率だった。

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。

【考察とまとめ】

- 多数指切断に対する再接着術では、複数の術者を確保することで、かなりの手術時間短縮と安定した治療成績が見込まれる。
- 切断指再接着の適応は今後拡大していく傾向にあり、マイクロサージャン集約化の必要性について各方面への啓発が必要である。

「四肢切断、骨折等の職業性外傷」分野 研究者一覧

幸田	久男	燕労災病院整形外科部長
小熊	雄二郎	新潟労災病院整形外科第五整形外科部長
成澤	弘子	新潟手の外科研究所教育部長
間庭	圭一	新潟大学整形外科

本研究は、独立行政法人労働者健康福祉機構 労災疾病等13分野医学研究・開発、普及事業により行われた。

※ 「四肢切断、骨折等の職業性外傷」分野

テーマ：職業性の四肢の挫滅損傷及び外傷性切断に対する早期治療等に関する地域医療連携体制の構築に係る研究・開発、普及