



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

*Dottorato di Ricerca in Patologia e Clinica dell'Apparato Locomotore e dei Tessuti Calcificati*

Ciclo XXV

*Coordinatore Prof. Massimo Innocenti*

**STUDIO COMPARATO DELLE DIMENSIONI DELLE DITA DELLE  
MANI E DEI PIEDI NELL'AMBITO DELLE RICOSTRUZIONI DELLA  
MANO MEDIANTE LEMBI LOCO-REGIONALI O MICROVASCOLARI  
DALL'ARTO INFERIORE**

Settore Scientifico Disciplinare MED/33

**Dottorando**  
Dott. Paolo Sassu

**Tutore**  
Prof. Antonio Capone

**Coordinatore**  
Prof. Massimo Innocenti

Anni 2009/2012

## Indice

1. Introduzione
2. Anatomia funzionale della mano
3. Principi di trattamento delle lesioni complesse
  - a. Breve storia della microchirurgia
  - b. Epidemiologia dei traumi della mano
  - c. Biomeccanica nelle lesioni complesse della mano
  - d. Possibilità ricostruttive nei traumi complessi di mano e avambraccio:
    - i. Lembi loco-regionali
    - ii. Lembi microvascolari
      1. Lembi digitali dal piede: toe flaps. Valutazioni biomeccaniche nel prelievo dei lembi digitali dal piede
4. Materiali e metodi
  - a. Analisi comparativa delle dita delle mani e dei piedi
  - b. Lembi microvascolari versus lembi loco-regionali nelle ricostruzioni di mano e avambraccio
  - c. Risultati
  - d. Discussione
  - e. Descrizione dei casi clinici
5. Conclusioni
6. Bibliografia

## **Introduzione**

Le perdite di sostanza della mano possono rappresentare un vero dilemma chirurgico in fase ricostruttiva, in relazione soprattutto alla difficoltà di ripristinare ogni singola componente anatomica, e in generale un'armoniosa struttura estetica. Se è vero che fino a pochi anni orsono il guadagno funzionale era il traguardo più ambito, al giorno d'oggi a questo deve essere associata una cosmesi che si avvicini il più possibile all'anatomia originale.

L'avvento della microchirurgia negli anni '60 in campo ricostruttivo ha dato una svolta decisiva nella pianificazione preoperatoria consentendo di selezionare il tessuto o i tessuti che meglio si adattano al ripristino di funzione ed estetica. Le specifiche proprietà legate al tatto e al movimento che rendono la mano il nostro principale organo di relazione col mondo esterno non sono facilmente riprodotte da altri tessuti 'circostanti'. Da qui la necessità e, dunque, la capacità con le tecniche microchirurgiche di ampliare la scelta dei siti donatori per le ricostruzioni complesse della mano e delle dita.

Come illustrato più volte in letteratura, nell'affrontare una perdita di sostanza della mano, del polso, o dell'avambraccio, sono stati definiti degli algoritmi decisionali che raccomandano di utilizzare, per un determinato caso clinico, il metodo più veloce, semplice, e sicuro, in grado di garantire il miglior risultato possibile<sup>1</sup>. Questo significa che anche un lembo microchirurgico complesso non viene più considerato come ultima risorsa possibile, ma vien scelto piuttosto precocemente se è in grado di fornire il miglior risultato possibile<sup>2,3</sup>. Sebbene questo sia un concetto presente nella mentalità ricostruttiva, è anche vero che si pone costantemente il dilemma sull'utilizzo di lembi loco-regionali o peduncolati a distanza, versus lembi microchirurgici. I motivi principali sono da mettere in relazione ai tempi chirurgici sensibilmente più lunghi necessari per un intervento di microchirurgia con conseguente impegno prolungato della sala operatoria, un'organizzazione più complessa, e capacità tecniche del chirurgo e dell'equipe in generale maggiori.

In relazione a tali argomentazioni il quesito che ci si è posto è capire quali vantaggi e svantaggi i lembi loco-regionali presentano rispetto ai lembi microchirurgici nell'ambito della chirurgia ricostruttiva di mano e avambraccio. Per questo tra il 2009 e il 2013 si sono raffrontate due categorie di pazienti che hanno subito delle grosse perdite di sostanza dell'arto superiore l'uno trattato mediante lembi loco-regionali o peduncolati a distanza, l'altro mediante trasferimenti microchirurgici dall'arto inferiore, nel tentativo di definire i vantaggi dell'un

trattamento rispetto all'altro, soprattutto per quel che riguarda i tempi operatori, le complicanze del sito ricevente e donatore, il risultato soggettivo estetico, e i giorni di degenza. Inoltre, prendendo in considerazione le ricostruzioni digitali mediante i cosiddetti 'toe flaps', si sono comparate le dimensioni del I e II dito del piede con le dita delle mani, definendo le indicazioni chirurgiche in base alla sede di lesione, essendo stati questi tra i lembi più utilizzati nella nostra casistica.

Di seguito, dopo un breve cenno sulla storia della microchirurgia, affronteremo un'analisi anatomica dei trasferimenti digitali dal piede alla mano, un'analisi biomeccanica nei traumatismi della mano, le possibilità di trattamento locali, i reali vantaggi nell'uso dell'arto inferiore come sito donatore.

### **Anatomia funzionale della mano**

A differenza di altre parti anatomiche del corpo, una perdita di sostanza della mano, interessando i tessuti molli, le ossa, o entrambi, necessita di essere ripristinata da elementi anatomici che siano il più possibile vicini, come qualità estetiche e funzionali, a quelle originarie. La complessità ricostruttiva deriva dalle qualità specifiche che incontriamo nella regione metacarpale, nelle dita, e nel pollice.

Un breve richiamo anatomico del sistema vascolare e nervoso dell'avambraccio, della mano, e delle dita, consente di avere una base solida per la comprensione delle diverse tecniche chirurgiche ricostruttive della regione.

#### *Anatomia vascolare*

L'arteria radiale nasce come branca terminale più piccola dell'arteria brachiale nella fossa antecubitale e si dirige lateralmente al di sotto del muscolo brachio-radiale, assieme alla branca superficiale del nervo radiale, lungo la sua parte laterale, al di sopra dei muscoli supinatore e flessore lungo del pollice. Dall'arteria radiale nasce l'arteria ricorrente, che si dirige prossimalmente e si anastomizza con la branca collaterale radiale dell'arteria brachiale profonda. L'arteria radiale si dirige poi distalmente sul lato radiale del carpo, volarmente ai tendini del primo e terzo compartimento dorsale, e sulla superficie dello scafoide e del trapezio. Come attraversa la tabacchiera anatomica, entra nel palmo tra i due capi del primo muscolo interosseo dorsale e, successivamente, del muscolo adduttore del pollice, dividendosi nell'arteria principale

del pollice e nell'arco profondo palmare.

Al polso, l'arteria radiale da origine alle branche carpalì dorsale e volare, che si uniscono alle corrispondenti arterie nate dall'arteria ulnare, per dare così origine all'arco palmare dorsale e palmare. L'arco dorsale inoltre riceve un contributo vascolare dalla branca terminale dell'arteria interossea posteriore. La branca superficiale palmare dell'arteria radiale prosegue distalmente attraverso l'eminenza tenar e si anastomizza con la branca superficiale dell'arteria ulnare andando così a formare l'arco palmare superficiale. L'arteria principale del pollice si dirige lungo il bordo ulnare del primo metacarpale e si divide nelle due arterie proprie del I dito. L'arteria radiale dell'indice può nascere sia dall'arteria principale sia dall'arcata palmare profonda. L'arcata palmare profonda, solitamente completata dall'arco palmare profondo dell'arteria ulnare, da origine alle tre arterie metacarpali che si uniscono alle arterie digitali palmari comuni nate dall'arcata superficiale. Ciascuna arteria digitale si dirige distalmente fino a raggiungere il polpastrello dove si uniscono per formare una piccola arcata parallela al paronichio. Questa si suddivide poi in piccole branche arteriose di diametro inferiore al millimetro che vascolarizzano la matrice ungueale.

L'arteria ulnare è la branca mediale dell'arteria brachiale e ha dimensioni maggiori rispetto all'arteria radiale. Si dirige distalmente nell'avambraccio scorrendo tra i muscoli flessore superficiale e profondo delle dita. Penetra nella mano al di sotto del retinacolo dei flessori, lateralmente all'osso pisiforme, e medialmente all'osso uncinato.

L'arteria interossea comune nasce dalla faccia laterale dell'arteria ulnare e si divide nelle arterie interossee posteriore e anteriore. L'arteria interossea anteriore si dirige distalmente e penetra la membrana interossea per anastomizzarsi con la sua corrispondente posteriore, così da formare il network arterioso dorsale carpale.

Le arcate venose superficiale e profonda sono formate dalle corrispondenti vene comitanti che corrono lungo ciascuna delle arcate arteriose palmari superficiale e profonda. Più prossimalmente, le vene profonde seguono il corso delle arterie. Le vene radiali ricevono le vene dorsali carpalì, e quelle ulnari ricevono le vene tributarie dalle arcate venose palmari profonde. Le piccole vene della parte più distale delle dita corrono prossimalmente in maniera più casuale, senza seguire strettamente le arterie come vene comitanti vere e proprie.

### *Anatomia nervosa*

Il nervo mediano decorre lungo la faccia antero-mediale del braccio ma prima da origine al nervo interosseo anteriore, che discende sulla membrana interossea tra i muscoli flessore profondo delle dita (FPD) e flessore lungo del pollice (FLP). Entra nel palmo attraverso il tunnel carpale e da origine alla branca motrice dell'eminanza tenere, e ai tre nervi palmari digitali comuni che poi si dividono per formare nei nervi digitali.

Nella parte distale del gomito, il nervo radiale si continua come nervo interosseo posteriore e nervo superficiale radiale. Il contributo di quest'ultimo all'innervazione della mano è esclusivamente sensitivo.

Il nervo ulnare penetra la mano superficialmente al retinacolo dei flessori e lateralmente all'osso pisiforme. Termina il suo corso dividendosi in una branca superficiale e in una profonda a livello della eminenza ipotenar. Il ramo superficiale innerva il palmare breve e la cute sovrastante l'eminanza ipotenar, dando poi origine nel palmo ai tre nervi palmari digitali che si distribuiscono due al V dito, e uno alla metà ulnare del IV dito. La branca invece profonda del nervo ulnare piega attorno all'uncino dell'osso uncinato e si dirige radialmente attraverso gli interossei, innervando l'eminanza ipotenar, i due muscoli lombricali ulnari, tutti i muscoli interossei, e il muscolo adduttore del pollice.

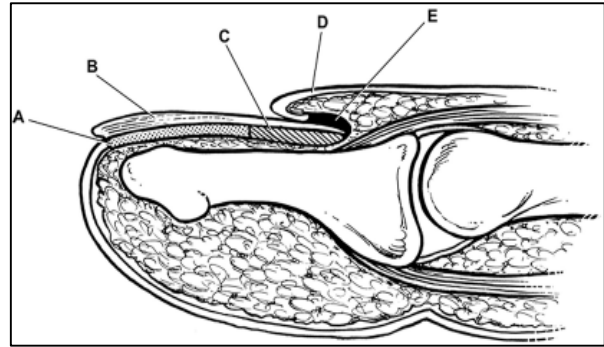
Ognuno dei due nervi digitali percorre la parte ulnare e radiale di ciascun dito per dividersi appena prossimalmente alla base della piega ungueale in una branca che si dirige dorsalmente al letto ungueale ed una che percorre invece la porzione volare del polpastrello. Esistono molte variazioni a questa descrizione<sup>4</sup>

### *Anatomia della falange distale*

La comprensione dell'anatomia di questa regione è estremamente importante ai fini ricostruttivi in relazione soprattutto alle strutture specializzate che la compongono (Fig.1). La paletta ungueale consente una migliore capacità tattile e di percezione sensoriale a livello pulpare. Possiamo distinguere diverse aree anatomiche come l'eponichio, il paronichio, l'iponichio, la lunula, la matrice, e la piega cutanea dorsale.

**Fig.1** Anatomia della regione apicale del dito.

A. Iponichio; B. Placca ungueale sovrastante la matrice sterile; C. Matrice germinale; D. Eponichio; E. Radice dorsale



L'eponichio ed il paronichio circondano l'unghia prossimalmente e ai suoi lati. L'iponichio giace invece distalmente al bordo distale dell'unghia. La lunula è l'arco biancastro sotto la placca ungueale e demarca la parte germinale della matrice da quella sterile. Il letto ungueale è costituito da una parte sterile (dove l'unghia aderisce) e da una parte germinale (responsabile del 90% della crescita ungueale). La lamina ungueale è composta da cheratinociti i quali si sovrappongono gli uni agli altri come le tegole di un tetto, coi margini liberi strettamente legati fra loro e in avanti.<sup>5,6</sup>

Il polpastrello è costituito da numerosi setti fibrosi che si estendono dal periostio all'epidermide sovrastante. Tali setti lo dividono in tanti piccoli compartimenti ricchi di tessuto adiposo. Il tendine flessore profondo si inserisce alla base della falange distale volarmente, così come il tendine estensore sulla porzione dorsale.

## **Principi di trattamento delle lesioni complesse**

### ***Breve storia della Microchirurgia***

La storia della microchirurgia ha seguito l'evoluzione di tre elementi fondamentali che hanno reso possibile la sua applicazione, ossia il miglioramento della tecnica chirurgica, lo sviluppo di farmaci anticoagulanti, e la nascita e il perfezionamento dell'ingrandimento intraoperatorio. Le prime suture vascolari furono definite in Europa intorno al 1500<sup>7,8</sup>. Nel 1887 Halsted iniziò i primi esperimenti sul reimpianto degli arti e nel 1906 Carrel e Guthrie<sup>9</sup>, dopo aver descritto le basi tecniche delle moderne suture vascolari, eseguirono il primo reimpianto di arto su un modello animale. Lo sviluppo dell'eparina da parte di J. Mclean nel 1916, insieme con Howell e Holt nel 1918, incrementò in maniera decisiva il successo di questi interventi<sup>10</sup>.

Il primo utilizzo di un microscopio monolare fu di Nylen nel 1921 presso il Karolinska Institute di Stoccolma<sup>11-13</sup>, e fu seguito due anni più tardi da Homlgrem<sup>14</sup>, il quale sperimentò il primo microscopio binolare. Nei decenni a venire vi fu un crescente miglioramento e perfezionamento degli strumenti microchirurgici e del microscopio operatorio, cosicché il campo della microchirurgia divenne sempre più presente nell'attività chirurgica. Al riguardo ricordiamo il lavoro straordinario di alcuni personaggi come Malt e McKhann<sup>15</sup> che realizzarono il primo reimpianto di braccio a Boston nel 1962; di Kleinert e Kasdan<sup>16</sup> che due anni più tardi eseguirono la prima rivascolarizzazione di un pollice; Chen,<sup>17</sup> che eseguì il primo reimpianto di mano; e Komatsu e Tamai<sup>18</sup> i quali reimpiantarono un pollice completamente amputato. A seguito di questi successi seguì lo sviluppo di diversi centri per i reimpianti in diverse parti del mondo. Negli anni '60 e soprattutto '70 il campo della microchirurgia si concentrò non solo sui reimpianti ma anche sul trasferimento microvascolare dei tessuti, e nacquero così i primi lembi cutanei<sup>19</sup> e ossei<sup>20</sup>. Il trasferimento digitale dalle dita del piede venne introdotto sperimentalmente da Harry Buncke<sup>21</sup> ai primi anni '60 e clinicamente da Chen<sup>22</sup> il quale trasferì il secondo dito per la ricostruzione del pollice in cinque pazienti. Il primo trasferimento dell'alluce pro pollice venne invece riportato da John Cobbet nel 1967<sup>23</sup>.

L'evoluzione della microchirurgia ha subito un cambiamento ulteriore alla fine degli anni '90 in cui l'esperienza sul trasferimento microvascolare dei tessuti ha portato al passo successivo che è consistito nel trapianto di tessuti composti. Da qui il primo trapianto di mano eseguito con successo nel 1998 dall'equipe di Dubernard a Lione<sup>24</sup>, seguito dal primo trapianto di faccia eseguito nel 2001 da Devauchelle<sup>25</sup>. Attualmente sono circa 70 i trapianti di mano eseguiti in

tutto il mondo<sup>26</sup>.

### ***Epidemiologia dei traumi della mano***

Sebbene non tutti gli interventi ricostruttivi siano legati necessariamente ad un evento traumatico, è anche vero che la maggior parte delle perdite di sostanza ossea o dei tessuti molli della mano e delle dita sono conseguenza di un trauma. È difficile avere una valutazione epidemiologica nazionale relativa ai traumi della mano, ma per farci un'idea di quale impatto questo problema abbia sulla popolazione generale basti pensare che ogni anno negli Stati Uniti più di un milione di visite al pronto soccorso è legato ad un incidente sul lavoro che coinvolge la mano<sup>27,28</sup>. Nel 1976, Kii<sup>29</sup> identificò 445 amputazioni distali al polso di cui il 90% erano amputazioni digitali. Le lesioni acute della mano, che includono lacerazioni cutanee, schiacciamenti o fratture, rappresentavano la causa maggiore di intervento per incidente sul lavoro al pronto soccorso negli Stati Uniti nel 1996. Sappiamo bene che anche traumi di piccola entità ad una articolazione o un tendine possono esitare in rigidità e perdita della funzione di un dito. A maggior ragione i traumi complessi determinano un alto rischio di compromissione della funzione generale. L'Associazione Medica Americana (the American Medical Association) nelle linee guida sulla valutazione del danno permanente, ha descritto il contributo funzionale che ciascun dito offre alla mano, all'arto superiore, e al corpo intero. La perdita del pollice è valutata con il 40% di perdita funzionale della mano e con un 25% di perdita funzionale generale del corpo. Sebbene il IV e V dito vengono considerati avere una funzione inferiore rispetto al pollice, esse rivestono un ruolo nelle prese di forza estremamente importante, soprattutto per i lavoratori manuali.

E' per questo che la pianificazione del trattamento chirurgico/ricostruttivo e la successiva parte riabilitativa devono avere come fine ultimo il rientro del paziente all'attività lavorativa che era solito svolgere in precedenza, o quanto meno consentirgli di eseguire in maniera indipendente le comuni attività della vita quotidiana. Nell'analisi finale sui risultati devono essere perciò tenuti in considerazione non solo i metodi oggettivi come le valutazioni sulle capacità funzionali, ma anche considerazioni soggettive in cui il dolore, la destrezza, e l'uso giornaliero della mano danno informazioni importanti.

Per quel che riguarda gli interventi ricostruttivi non pianificati in regime d'urgenza, questi sono il più delle volte legati a precedenti traumi che ricevono un trattamento differito,

oppure patologie croniche come osteomieliti, pseudoartrosi trattate senza successo, o neoplasie.

### ***Biomeccanica nelle lesioni complesse della mano***

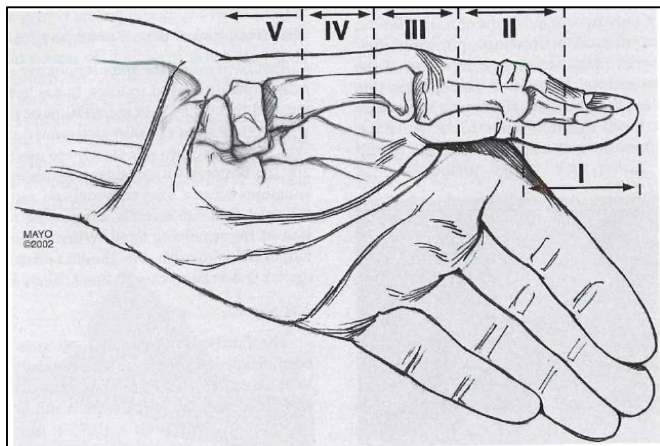
Se consideriamo la mano nella sua forma più essenziale potremmo immaginare che una certa funzionalità possa essere svolta quando siano presenti un polso stabile e due dita. Di queste due, almeno una deve possedere una certa mobilità in grado di produrre una pinza, mentre l'altra deve mantenere una buona stabilità da opporre al dito mobile. Requisito essenziale è la presenza di sensibilità discriminativa con 2 punti di discriminazione inferiore a 10-11mm<sup>30</sup>. Se questa non fosse presente non avremmo un grosso vantaggio rispetto ad una protesi<sup>31-33</sup>.

Nelle lesioni complesse è importante capire che l'amputazione di una o più dita, o il loro coinvolgimento in un trauma complesso può inficiare la funzionalità globale a seconda di quale dito o parte della mano sia coinvolta. In tal senso ad esempio il pollice riveste la massima importanza in fase ricostruttiva, e tutti gli sforzi dovrebbero essere concentrati nel tentativo di salvare la sua funzione. Come accennato il pollice è considerato possedere il 40% della funzionalità globale della mano, per arrivare fino al 50% nel caso di amputazioni pluridigitali. Il suo ruolo unico è legato soprattutto alla posizione del suo asse, che si basa sull'articolazione trapezio-metacarpale. Grazie a quest'ultima il pollice è pronato e flesso di circa 80° rispetto ai restanti metacarpali. Tale posizione consente la circonduzione, e quindi il movimento di opposizione<sup>34-37</sup>. L'opposizione è essenziale per tutti i tipi di presa e risulta da un movimento angolare prodotto dall'abduzione a livello dell'articolazione trapezio-metacarpale (TM) e una flessione e rotazione delle articolazioni TM e della metacarpo-falangea (MF). L'abditore breve del pollice rappresenta il muscolo principale nel movimento di opposizione, a cui contribuiscono il muscolo opponente e il flessore breve. per questo motivo ogni sforzo dovrebbe rivolto a preservare il muscolo abditore del pollice.

### ***Il pollice***

Le priorità nella ricostruzione del pollice variano a seconda del livello d'amputazione, ma in ogni caso il massimo sforzo dovrebbe essere sempre diretto a preservare la capacità di opposizione e di pinza (Fig.2). Le lesioni distali all'articolazione interfalangea (IF) sono solitamente ben accettate e non richiedono necessariamente un intervento ricostruttivo quando le articolazioni TM e MF sono rimaste intatte.

**Fig.2:** livelli di lesione del pollice come originariamente descritti da Hentz<sup>32</sup>. Le lesioni in zona 1 riguardano un livello distale alla IF. Le lesioni in zona 2 avvengono a livello della MF. Le lesioni in zona 3 coinvolgono la MF ma la muscolatura tenere e' ancora intatta. Le lesioni in zona 4 avvengono distalmente all'articolazione TM con perdita di funzione della muscolatura tenere. Nelle lesioni in zona 5 si ha anche la perdita dell'articolazione TM. La suddivisione per livelli da un'indicazione sulle priorità ricostruttive.



Spesso i problemi di insensibilità o disestesia sono quelli che causano più problemi al paziente piuttosto che il deficit in lunghezza in sé<sup>38-42</sup>. Un discorso simile viene fatto per lesioni a livello II, dove una buona funzione della TM e della MF permettono di mantenere una funzionalità accettabile.

Le lesioni più prossimali (zona 3) attorno all'articolazione MF sono estremamente frequenti e decisamente più invalidanti delle precedenti. Questa articolazione infatti è un piuttosto unica avendo tre gradi di movimento in flessione, estensione, e pronazione. Mentre in estensione ha un certo grado di movimento, in flessione i legamenti collaterali la rendono estremamente stabile e funzionale alle pinze e prese digitali. Un'amputazione a questo livello produce una perdita consistente e il trasferimento vascolarizzato del primo dito rappresenta l'indicazione ideale. È sconsigliato includere nel trasferimento l'articolazione metatarso-falangea per due motivi: il primo è legato al fatto che tale articolazione non ha capacità di pronazione come la corrispondente sul pollice. Il secondo è relativo alle complicanze sul sito donatore quando il prelievo vascolarizzato è prossimale all'articolazione metatarsofalangea. E' preferibile una artodesi del segmento a circa 30° di flessione e 45° di pronazione.

Le amputazioni al cosiddetto livello IV compromettono l'integrità della muscolatura tenere, fondamentale per recuperare una certa capacità di opposizione. Per questo ogni tentativo di ricostruzione deve non solo ripristinare una lunghezza accettabile ma soprattutto deve avere lo scopo di ripristinare la funzionalità del muscolo abductore del pollice, spesso ottenuta mediante trasferimento di un flessore superficiale del III o IV dito.

Amputazioni a livello V implicano la perdita dell'articolazione più importante di tutto il

primo raggio ossia la TM e la soluzione forse più appropriata in questo caso è quello di pollicizzazione.

### *Il dito indice*

Il II dito riveste una notevole importanza grazie alla capacità di estensione indipendente, di abduzione, e di vicinanza al pollice con cui può eseguire le più fini prese bidigitali. Un buon range di movimento del dito indice è più importante del mantenimento della lunghezza. In caso di amputazioni a livello della articolazione IFP la capacità di flessione è lasciata ai soli muscoli intrinseci i quali riescono a produrre una flessione di circa 45°. Anche un accorciamento alla porzione distale della falange prossimale consente al dito di partecipare alle prese direzionali, alle prese a mano piena, e alle pinze laterali. Nonostante questa rimanente discreta funzionalità, il paziente tende di solito a utilizzare il III dito se il moncone digitale del II dito è insensibile, e soprattutto nelle pinze terminali e subterminali quando l'amputazione è prossimale alla IFD.

Murray<sup>43</sup> analizzò in dettaglio come la forza di presa, di pinza laterale, e la forza di supinazione si riducevano in conseguenza di una amputazione traumatica o chirurgica del II raggio digitale notando come tale forza diminuiva del 20% dopo l'intervento. Nei pazienti con disestesia la riduzione nella forza di presa aumentava. Inoltre la capacità di pronazione si riduceva del 50% dopo resezione del II raggio, e questa era legata alla riduzione del braccio di leva del palmo. Normalmente nella mano l'ampiezza della presa si estende dall'eminanza ipotenar al dito indice. La parte ulnare del palmo rappresenta il fulcro interno mentre l'aspetto radiale rappresenta il fulcro esterno. Con la perdita del II raggio il fulcro è ridotto di circa il 25%.

Nello studio presentato da Murray, nonostante una perdita apparente di forza, tutti i pazienti riferivano che la loro funzionalità era migliorata, soprattutto per quel che riguarda le pinze di presa con il pollice. Ciò suggerisce che la capacità di realizzare attività di precisione era nel postoperatorio più importante che l'ottenere una piena forza di presa. Al contrario, un altro studio di Karle<sup>44</sup> metteva a confronto un gruppo di pazienti con amputazione a livello della falange prossimale con un gruppo che aveva ricevuto l'amputazione estetica del II raggio, e dimostrava come il risultato funzionale valutato con la scheda DASH fosse migliore nel gruppo in cui veniva conservata parte della prima falange. L'amputazione del II raggio veniva però considerata più estetica.

In generale non sembra vi siano dubbi sulla utilità di mantenere la falange prossimale del

Il dito visto che si ha un netto guadagno in termini di forza di presa, e l'amputazione estetica dovrebbe essere riservata solo ai casi in cui il moncone prossimale alla F1 è molto corto e non funzionale.

#### *Il III e IV dito*

Il dito medio è quello che riesce a sviluppare da solo la maggiore forza di flessione quando valutato individualmente<sup>45,46</sup>. La sua posizione centrale gli consente di partecipare sia alle prese di forza che alle pinze di precisione, e viene facilmente utilizzato al posto del dito indice nei casi di lesione di quest'ultimo. Il secondo muscolo interosseo dorsale non ha le stesse capacità di abduzione del primo, e per questo nei casi di amputazione estetica del II raggio si è pensato di trasferire il primo interosseo sul III dito, ma studi successivi hanno dimostrato che il guadagno nella forza di pinza non era rilevante, a addirittura si poteva predisporre una deformità con plus degli intrinseci.

Il IV dito ha una forza di flessione che è inferiore al dito indice e medio. Secondo Tubiana<sup>47</sup> è il dito la cui perdita causerebbe il minore grado di perdita funzionale nella mano. Al di là di questo il IV e V dito lavorano come unità funzionale e sviluppano un efficace forza di presa, potendo eventualmente rimpiazzare il II e III dito in caso di loro perdita anche per le pinze di precisione. Una perdita del IV e III dito determina spesso il cosiddetto fenomeno del scissoring, ossia il dito indice e mignolo tendono a deviare l'uno verso l'altro a causa di un'insufficienza dei legamenti intermetacarpali. Per questo si è proposto il trasferimento di uno dei raggi rimanenti in posizione più centrale in caso di amputazione del III o IV raggio.

#### *Il V dito*

Il V dito riveste senz'altro un'importanza maggiore soprattutto grazie alla sua capacità stabilizzatrice legata alla notevole mobilità dell'articolazione carpo-metacarpale, con cui gli oggetti vengono ben pressati contro il palmo durante le prese a mano piena. La stessa eminenza ipotenare aumenta la capacità di stabilizzare gli oggetti al palmo. Secondo Tubiana il V dito dopo il pollice è quello che riveste l'importanza maggiore.

In un discorso più generale va detto che la perdita di un solo dito, eccezion fatta per il pollice, non crea un deficit funzionale particolarmente debilitante. Brown<sup>48</sup> ha analizzato 183

chirurghi che avevano subito la perdita completa o parziale di un dito, e solo quattro di questi erano risultati inabili a proseguire il loro lavoro. In maniera piuttosto sorprendente 15 dei chirurghi esaminati avevano subito un'amputazione a livello dell'articolazione MF o al I metacarpale ed erano in grado di continuare ad operare con solo un piccolo adattamento alla loro attività giornaliera. La conclusione di Brown era molto semplice: l'elemento fondamentale in caso di amputazione monodigitale è la reale volontà del paziente di riprendere il massimo dell'attività funzionale della mano.

A differenza delle amputazioni monodigitali, le amputazioni pluri-digitali richiedono spesso interventi ricostruttivi mirati a ripristinare quantomeno una pinza bidigitale in cui una delle due dita rimanenti sia mobile e in grado di avvicinarsi all'altro dito che funziona come elemento stabile. Se sono solo due le dita rimanenti è importante prendere in considerazione la possibilità di ricostruire un terzo dito così da ripristinare una pinza tridigitale più stabile e precisa. Wei e Colony<sup>49</sup> suggerivano di inserire eventuali trasferimenti microvascolari di dita del piede prossimi alle dita rimanenti o nell'intervallo tra di loro.

In caso di assenza di tutte le dita e/o anche del pollice i trasferimenti microvascolari dalle dita del piede si rendono ancor più indicati e in questo caso bisogna decidere se rimpiazzare i due raggi ulnari, IV e V dito, o i raggi radiali, II e III dito. In quest'ultimo caso il risultato cosmetico è solitamente migliore, ma la posizione ulnare conferisce senz'altro una forza di presa maggiore in quanto sfrutta anche la muscolatura ipotenare.

### ***Possibilità ricostruttive nei traumi complessi di mano e avambraccio***

Una volta analizzate alcune delle conseguenze biomeccaniche relative alla perdita di sostanza della mano vediamo quali sono le possibilità ricostruttive.

In questo studio stiamo considerando quelle lesioni e quelle patologie non necessariamente traumatiche in cui la perdita di sostanza dei tessuti molli o ossea richiede una ricostruzione funzionale mediante un lembo locale o microvascolare. Per questo non si è preso in considerazione i trattamenti mediante guarigione per seconda intenzione, innesti di cute liberi, o mediante sistema VAC.

Principio fondamentale, al di là del metodo ricostruttivo utilizzato soprattutto nel caso di lesioni traumatiche, è una pulizia accurata della ferita, eventualmente in più tempi chirurgici in modo da garantire l'eliminazione di tessuti necrotici o potenzialmente infetti. In seguito a un tale approccio solitamente il difetto finale è maggiore di quello inizialmente considerato.

Vediamo di seguito i lembi peduncolati e microvascolari più comunemente utilizzati nella mano e nell'avambraccio.

#### *Lembi loco-regionali*

In generale i lembi prendono il nome in relazione alla sede, all'apporto sanguigno, e alle tecniche di trasferimento. L'apporto sanguigno definisce se il lembo è di tipo random o assiale. I lembi cosiddetti random sono vascolarizzati dal letto sottocutaneo senza un'arteria dominante. I lembi assiali ricevono la loro vascolarizzazione da un'arteria ben specifica che deve essere inclusa nel lembo stesso al momento del trasferimento. I lembi assiali sono poi suddivisi in base al tessuto di cui sono composti in cutanei, fascio-cutanei, muscolo-cutanei, e osteo-cutanei.

I lembi locali inoltre possono essere lembi d'avanzamento, di rotazione, e di trasposizione in relazione al modo in cui raggiungono il sito ricevente.

In quelli cosiddetti d'avanzamento, un piccolo lembo di cute è mobilizzato e utilizzato per coprire un difetto adiacente senza l'utilizzo di innesti cutanei nel sito donatore. Questi sono spesso usati nelle piccole perdite di sostanza apicali delle dita. I lembi di trasposizione sono spesso rettangolari e mobilizzati attorno ad un peduncolo fisso senza tensione, allo scopo di ricoprire un difetto adiacente. Il sito donatore è ricoperto mediante innesto di cute. Un lembo di trasposizione è solitamente mobilizzato sopra una regione di cute normale e anche in questo caso il sito donatore è rivestito da innesto cutaneo libero. I lembi loco-regionali più frequentemente

utilizzati nei nostri pazienti sono stati il lembo interosseo posteriore, il lembo radiale, il lembo di Braga-Silva.

### *Lembo interosseo posteriore*

Il lembo interosseo posteriore fu descritto per la prima volta intorno al 1986<sup>50,51</sup> e basa la sua vascolarizzazione sull'arteria interossea posteriore. Grazie alla sua anatomia costante, e alla capacità di fornire un tessuto elastico, con un colore cutaneo simile a quello del dorso della mano, ha riscontrato fin dall'inizio una certa popolarità negli interventi di chirurgia ricostruttiva<sup>52,53</sup>. Il lembo interosseo posteriore, più spesso utilizzato in maniera reverse, sfrutta le connessioni vascolari della sua arteria nutriente a livello del polso, cosicché prelevato in senso prossimo-distale, può essere ruotato di 180° e posizionato sulla mano. Se le sue dimensioni in larghezza superano i 4-5cm è spesso necessario utilizzare un innesto di cute libero per coprire il difetto rimanente. Durante la dissezione prossimale bisogna inoltre prendersi cura del nervo interosseo posteriore che può essere lesa durante l'identificazione del peduncolo vascolare.

### *Il lembo radiale*

Il lembo radiale, qui descritto nella sua forma pedunculata, è anch'esso un lembo di tipo assiale basato sull'arteria radiale e le sue vene comitanti. Descritto da Lu<sup>54</sup> nel 1981 è basato sull'uso dell'arteria radiale nell'avambraccio con una perfusione retrograda ottenuta attraverso l'arco palmare. Il drenaggio venoso è assicurato dalle comunicazioni tra le due vene comitanti che riescono a by-passare il sistema valvolare. Tale lembo ha il vantaggio di avere un'anatomia costante e di essere tecnicamente semplice da prelevare, ma ha due svantaggi principali: il primo è che richiede il sacrificio dell'arteria radiale, il secondo è la possibilità di una certa morbilità sul sito donatore data da una cicatrice spesso antiestetica, disestesia, ed esposizione dei tendini flessori e della branca sensitiva del nervo radiale. Prima di interrompere prossimalmente l'arteria radiale è fondamentale verificare mediante il test di Allen o un Doppler la pervietà dell'arteria ulnare e dell'arcata palmare al fine di evitare possibili ischemie legate ad una non pervietà del circolo ulnare. Il lembo inoltre dovrebbe essere disegnato leggermente più largo del difetto da ricoprire.

Un'ottima alternativa è rappresentata dal lembo perforante radiale, descritto per la prima volta da Weinsweig<sup>55</sup>, e Jeng e Wei<sup>56</sup>. Questo si basa sulle arterie perforanti dell'arteria radiale,

in particolare quelle distali prossime alla stiloide radiale, e permette di preservare l'arteria principale. L'indicazione più frequente di questi lembi è per le perdite di sostanza del dorso o del palmo della mano, e per il primo spazio intermetacarpale.

La dissezione avviene con l'utilizzo di un tourniquet. Nel caso del lembo radiale vero e proprio si segue il corso dell'arteria radiale che risulta compreso tra i tendini del flessore radiale del carpo (FRC) e brachio-radiale (BR). La dissezione può iniziare sul margine ulnare così da identificare le perforanti dall'arteria radiale, che devono essere preservate, fino a completare l'incisione del margine radiale. Una volta legata l'arteria e le sue vene comitanti prossimalmente si segue il peduncolo vascolare distalmente, per poi ruotarlo di 180° e raggiungere il difetto da ricoprire. Nel caso del lembo perforante, si identifica con un Doppler una perforante distale in prossimità della stiloide radiale. Tale perforante si divide superficialmente in due branche, una prossimale e una distale, che viaggiano parallelamente all'arteria principale. Il lembo sarà basato sulla branca prossimale di tale perforante. La dissezione includerà la paletta cutanea e, come peduncolo, una buona parte rettangolare di tessuto adiposo che giace al di sopra dell'arteria radiale che può essere così risparmiata.

### *Il Kyte flap*

Tale lembo è stato descritto principalmente per la perdita di sostanza del pollice soprattutto del dorso e del polpastrello. La tecnica fu inizialmente descritta da Hilgenfeld<sup>57</sup> nel 1950 e successivamente rivista da Paneva-Holevich<sup>58</sup> prima che Foucher e Braun<sup>59</sup> lo descrivessero come un vero e proprio lembo ad isola nel 1979. Le varianti descritte sono numerose, ma sostanzialmente il lembo si basa sulla prima arteria metacarpale dorsale che nasce dall'arteria radiale immediatamente distale all'estensore lungo del pollice.

L'arteria poi attraversa tipicamente la fascia del I muscolo interosseo dorsale prima di dividersi in tre branche terminali a livello del II metacarpale. La branca radiale termina nel pollice, mentre quella intermedia nel primo spazio. La branca ulnare termina generalmente a livello della metacarpo-falangea prima di distribuirsi alla cute dorsale del II dito, dando origine a diversi vasi perforanti a livello del collo metacarpale. Sono state descritte diverse varianti sul decorso dell'arteria principale rispetto al I muscolo interosseo dorsale ed è per questo che molti utilizzano un Doppler per una prima identificazione del decorso dell'arteria.

Una volta eseguita una toilette del sito ricevente, le giuste dimensioni del difetto da

ricoprire sono riportate su un 'template' che viene poi utilizzato per disegnare il lembo sul dorso della prima falange del dito indice. È preferibile sovradimensionare il difetto per avere abbastanza tessuto a disposizione. Si incide il lembo in senso radio ulnare stando attenti a mantenere il peritenonio sul tendine estensore in modo che il successivo innesto di cute attecchisca facilmente e non comprometta la funzionalità del tendine estensore. La dissezione procede prossimalmente fino all'origine dell'arteria alla base del I spazio intermetacarpale e solitamente include una vena e il tessuto fascio-adiposo attorno ad essi. A questo punto il lembo può essere ruotato mediante tunnelizzazione sul sito ricevente. Tra gli svantaggi ci può essere una certa difficoltà di attecchimento dell'innesto cutaneo sul sito donatore, e la disestesia sul pollice, il quale mantiene l'innervazione della parte dorsale del II dito.

#### *Lembo inguinale di Mac Gregor*

Il lembo inguinale di McGregor<sup>60</sup> fu descritto nel 1972 e ha rappresentato una delle maggiori risorse nella chirurgia ricostruttiva degli anni '80. Sebbene sia successivamente caduto in disuso il suo utilizzo tutt'oggi non è raro, soprattutto in quei casi in cui un intervento microchirurgico non è indicato. Il vantaggio maggiore è rappresentato dalla rapidità e facilità di prelievo essendo la sua anatomia vascolare piuttosto costante. Inoltre in una mano in cui i vasi riceventi sono precari, il lembo inguinale offre una eccellente soluzione. Il maggiore svantaggio è rappresentato dal fatto che il paziente deve subire un secondo intervento di autonomizzazione, e una posizione della mano piuttosto scomoda che difficilmente consente una precoce riabilitazione. Il lembo si basa sull'arteria circonflessa iliaca superficiale e la sua dissezione avviene in senso latero-mediale. Può raggiungere dimensioni particolarmente grandi intorno 25 x 8cm, garantendo comunque una grande affidabilità vascolare.

#### *Lembi microvascolari*

I lembi microvascolari sono estremamente versatili e soprattutto nelle vaste perdite di sostanza digitali possono essere considerati come prima scelta. Un grande vantaggio è legato alla possibilità di includere una grande quantità di tessuto che ci consente di ricoprire la maggior parte delle perdite di sostanza a carico della mano e dell'avambraccio. Inoltre sono prelevati da un sito donatore distante alla sede di lesione, sono provvisti di un proprio apporto vascolare, e sono in grado di migliorare attivamente l'apporto venoso e linfatico dell'area traumatizzata<sup>61</sup>.

Sono spesso considerati inferiori ai lembi locali per ciò che riguarda colore e consistenza, ma questo non è certamente vero per i trasferimenti delle dita dei piedi, in grado di rimpiazzare in maniera estremamente simile molte perdite di sostanza digitali. Di seguito consideriamo solo i lembi liberi dell'arto inferiore che sono quelli presi in considerazione in questa casistica descrivendo in particolare i cosiddetti lembi perforanti e i lembi digitali o 'toe flaps'.

I lembi microvascolari come accennato in precedenza si possono distinguere in base al tessuto di cui sono costituiti, all'arteria principale su cui si basano, e inoltre al modo in cui vengono vascolarizzati. Se dapprima i lembi di tipo assiale erano i più utilizzati, e un esempio è il lembo radiale o parascapolare, ora un grande sviluppo si è avuto coi cosiddetti lembi perforanti. Questi hanno il vantaggio di ricevere l'apporto vascolare da un vaso originante da un'arteria principale che si dirige alla cute 'perforando' appunto un muscolo, o attraverso un setto intermuscolare. Mentre nei lembi di tipo assiale l'arteria principale viaggia al centro del lembo stesso ed è fondamentale includerla (nel prelievo del lembo radiale l'arteria radiale è inclusa nel lembo) nei lembi cosiddetti perforanti viene inclusa la sola arteria perforante, mentre l'arteria principale viene risparmiata. Questo consente minore morbidità nel sito donatore, e un miglioramento dei tempi chirurgici.

#### *Antero-laterale di coscia*

Sin dalla sua prima descrizione nel 1984 da parte di Song<sup>62</sup>, il lembo antero-laterale di coscia è stato ampiamente sviluppato e utilizzato in diversi tipi di ricostruzioni microchirurgiche di testa, collo, ed estremità. Rappresenta oggi uno dei lembi cutanei più utilizzati grazie alla bassa morbidità del sito donatore, alla vasta quantità di tessuto prelevabile dalla coscia in grado di rivestire anche ampie perdite di sostanza del dorso della mano, e alla capacità di assottigliare il lembo fino a ottenere uno spessore di 5mm<sup>63-65</sup>. La branca discendente dell'arteria circonflessa del femore è l'arteria principale da cui originano le perforanti muscolari o settocutanee che irrorano il lembo. La dissezione intramuscolare consente di risparmiare il muscolo vasto laterale del femore e di avere minime conseguenze sul sito donatore.

Mediante l'utilizzo di un Doppler portatile si identificano le perforanti sulla regione antero-laterale della coscia prendendo come riferimento il punto centrale di una linea che va dalla cresta iliaca antero-superiore all'angolo latero-superiore della rotula. Da quel punto si disegna un cerchio avente un raggio di 3cm e lo si divide in quattro. La probabilità maggiore di trovare una

perforante risiede nel quadrante supero-esterno. Identificata la perforante la dissezione inizia sul lato mediale del lembo, e procede in senso laterale. Una volta identificata la perforante che dal piano profondo perfora la fascia, la segue nel suo tragitto settocutaneo o intramuscolare fino a raggiungere la sua origine. Il peduncolo sarà a questo punto legato in relazione alla lunghezza necessaria sul sito ricevente.

#### *Lembo perforante dall'arteria surale mediale*

Il lembo perforante dell'arteria mediale surale è stato descritto da Cavadas nel 2001<sup>66-68</sup>. Si basa sulle arterie perforanti che nascono dall'arteria surale mediale e si dirigono, attraversando la componente mediale del muscolo gastrocnemio, verso la cute. I vantaggi di questo lembo sono legati ad una anatomia vascolare relativamente costante, e ad una bassa morbidity nel sito donatore in cui la cicatrice è poco evidente. Il lembo non è consigliato comunque nelle donne per motivi estetici e la larghezza non dovrebbe superare i 4-6cm al fine di consentire una chiusura per prima intenzione. Innesti di cute a questo livello sono assolutamente sconsigliati per motivi estetici.

Le perforanti vengono solitamente localizzate mediante doppler. Si disegna una linea che parte dal punto centrale della fossa poplitea del ginocchio e si dirige al malleolo mediale. La maggior parte delle perforanti si trova lungo questa linea ad una distanza di circa 8 - 12cm dal cavo popliteo. Una volta isolata una o due perforanti si inizia la dissezione nel lato mediale del lembo, si identifica per visione diretta il peduncolo vascolare e lo si segue prossimalmente attraverso una dissezione intra-muscolare fino ad ottenere la lunghezza desiderata. La cute a questo livello è nella maggior parte dei casi relativamente sottile e si adatta bene ai difetti della mano e dell'avambraccio.

#### *Lembi digitale dal piede, 'toe flaps'*

Un discorso più ampio viene riservato a questo tipo di lembi vascolarizzati prelevati dal piede in quanto consente di ricreare in maniera del tutto simile alcune qualità fondamentali delle dita come il polpastrello, l'unghia, e una cute dorsale sottile ed elastica che permette destrezza di movimento e ottima cosmesi.

Il primo trasferimento digitale di tipo peduncolato fu eseguito alla fine dell'800 da Carl Nicoladoni<sup>69</sup>, illustre chirurgo austriaco, che aveva ricostruito la perdita del pollice di un ragazzo

attraverso il II dito del piede. Il paziente aveva dovuto assumere per circa un mese una posizione piuttosto scomoda prima che il lembo venisse autonomizzato. Al tempo vennero eseguiti diversi di questi interventi che poi persero popolarità a causa della grande scomodità del paziente a mantenere una posizione post-operatoria in cui la mano rimaneva attaccata al piede per 4 settimane. Guadagnò nuovamente interesse con l'avvento della microchirurgia, ossia quando intorno agli '60 si era finalmente raggiunta una capacità tecnica e l'uso di materiali microchirurgici adeguati per anastomizzare vasi di piccolo calibro. In quel periodo Harry Buncke<sup>21</sup> nel proprio laboratorio aveva eseguito decine di esperimenti su scimmia nel tentativo di trasferire il I dito del piede sulla mano. Presentati i risultati alla società americana di chirurgia della mano era stato inizialmente deriso. In realtà, col passare degli anni, tale trasferimento microchirurgico diventò una delle soluzioni più raffinate e avanzate nell'ambito delle ricostruzioni microchirurgiche delle dita. I trasferimenti più comuni sono rappresentati dal I, e II dito, ma anche dal II-III dito insieme, nell'ambito delle ricostruzioni pluridigitali. Altri lembi comunemente utilizzati sono il polpastrello, l'unghia, e l'articolazione IFP o MF che può essere trasferita dal II dito del piede alla mano in caso di distruzioni articolari in pazienti giovani che non siano candidati ad artrodesi o protesi articolare<sup>70-74</sup>.

La maggior parte dei lembi citati si basano sulla prima arteria metatarsale dorsale o plantare del piede, la quale a livello del I spazio interdigitale dà origine all'arteria digitale laterale del I dito e mediale del II dito. Nel 70% dei casi la I arteria metatarsale dorsale è di calibro maggiore rispetto alla corrispondente plantare ed è questa che viene selezionata per prelevare il lembo. Altrimenti la dissezione è principalmente plantare. Oltre che su un'arteria il lembo si basa sul prelievo di una vena dorsale, e dei nervi digitali corrispondenti se necessari alla ricostruzione.

Uno dei problemi maggiori nei primi anni di utilizzo di questi lembi era legato alla morbilità del sito donatore. Maggiore era la dissezione prossimale dei lembi, soprattutto quando si includeva anche parte delle ossa metatarsali soprattutto del I dito, e maggiori potevano essere le problematiche legate alla deambulazione. Diventava essenziale per questo rispettare alcuni principi anatomici e biomeccanici durante la dissezione. Qui di seguito riportiamo un cenno sulla funzione delle dita del piede e sulla biomeccanica attinente al prelievo microvascolare delle dita.

### - Funzione delle dita del piede

La funzione principale delle dita del piede è stata descritta da diversi autori<sup>75-78</sup> come la capacità di opporsi adeguatamente alla forza di reazione del suolo nella fase ultima del passo. In questa parte del passo infatti le articolazioni metatarsofalangee delle dita sono passivamente portate a 70-90 gradi di dorsiflessione, in conseguenza della progressione in avanti del corpo. Tale movimento in estensione è contrastato dalle dita attraverso due diversi meccanismi, uno attivo ed uno passivo. Il primo è legato all'aponeurosi plantare, mentre il secondo alla muscolatura intrinseca ed estrinseca.

### - L'aponeurosi plantare

L'aponeurosi plantare è una banda fibrosa sottocutanea che origina dalla tuberosità postero-mediale del calcagno e si estende longitudinalmente verso l'avampiede. Delle sue tre componenti mediale, laterale, e centrale, quest'ultima è quella che riveste maggiore importanza soprattutto considerando la sua inserzione distale che avviene su diverse strutture che sono principalmente il legamento profondo trasverso metatarsale, e la sua giunzione con il legamento collaterale accessorio dell'articolazione metatarsofalangea. Nella parte mediale le fibre aponeurotiche si inseriscono sulle ossa sesamoidi mediale e laterale dell'alluce. La funzione della fascia plantare è stata ben descritta del cosiddetto 'windlass effect', che fu illustrato per la prima volta da Hicks<sup>79</sup> circa sessant'anni fa. Quando la metatarsofalangea dell'alluce si flette dorsalmente nella fase avanzata del passo, l'aponeurosi plantare, ancorata alla prima falange, progressivamente si mette in tensione, stabilizzando l'arco longitudinale mediale del piede che mantiene e aumenta leggermente la sua altezza. Una corretta funzione di questo meccanismo, insieme ad un apparato muscolare intatto, non solo consente una valida opposizione delle dita al terreno, ma inoltre facilita una corretta progressione del carico dal calcagno all'avampiede fino alle dita, in particolare al I dito. Tale progressione è stata dimostrata attraverso una valutazione dei picchi di pressione e del centro di carico sotto la superficie plantare, e diversi autori hanno evidenziato come queste due entità viaggiano dal calcagno per concentrarsi sull'avampiede in corrispondenza della testa del II-III metatarsale per poi spostarsi verso la testa del I metatarsale e dell'alluce<sup>80-83</sup>.

- Muscolatura intrinseca

Il meccanismo attivo delle dita è garantito dalla inserzione distale dei muscoli estrinseci come il flessore e l'estensore lungo dell'alluce, e della muscolatura intrinseca come il flessore breve delle dita, il flessore breve dell'alluce, l'abducente dell'alluce e l'abducente minimo del V dito<sup>87</sup>.

I muscoli estrinseci si inseriscono sulla falange distale del I dito. Il flessore lungo dell'alluce, così come il flessore lungo delle dita, sono attivi dal 20 fino 50% della fase del passo. Mann<sup>76,84</sup> ha dimostrato che questi lavorano in maniera simile ai muscoli posteriori della gamba, limitando la progressione della tibia sul piede, che rimane fisso al suolo. Agiscono in maniera unitaria alla fascia plantare nel consentire alle dita di opporsi alla loro flessione dorsale che avviene durante la fase terminale del passo.

I tendini estensori, che si inseriscono nella falange distale delle dita, sono attivi nell'ultimo 10% della fase appoggio, durante tutta la fase oscillante, e nei primi 10-15% della fase di appoggio successiva<sup>76</sup>. In maniera sinergica con gli estensori della caviglia, impediscono alle dita di venire a contatto con il suolo durante la progressione del piede. La muscolatura intrinseca, e in particolare quella presente nella parte mediale del piede, è attiva durante la maggior parte della fase d'appoggio e, in maniera simile all'aponeurosi plantare contribuisce attivamente al sostegno dell'arco longitudinale mediale plantare. Inoltre la muscolatura intrinseca assicura un buon contatto delle dita con il suolo fino a quando la fase di distacco non è avvenuta.

In conclusione, da un punto di vista biomeccanico, la sezione della aponeurosi plantare e della muscolatura estrinseca ed intrinseca eseguita durante il trasferimento vascolarizzato del II dito o dell'alluce porta ad una perdita del 'windlass mechanism', e ad un sovraccarico delle teste metatarsali come conseguenza della redistribuzione delle forze nell'avampiede. Una dissezione accurata di queste strutture anatomiche limita notevolmente la morbidità post-operatoria lasciando minime conseguenze nel sito donatore<sup>85-89</sup>.

## **Materiali e metodi**

Nella valutazione degli interventi ricostruttivi per la mano e l'avambraccio si sono eseguite due indagini:

- la prima era mirata alla comparazione, nell'ambito delle lesioni digitali, delle dimensioni del I e II dito del piede con il pollice e le dita lunghe della mano omolaterale. Tale analisi è stata effettuata in 94 soggetti sani e aveva lo scopo di valutare le caratteristiche anatomiche ed estetiche delle ricostruzioni digitali della mano mediante il I e II dito del piede.
- la seconda era rivolta all'analisi comparativa di due gruppi di pazienti che presentavano una perdita di sostanza della mano o dell'avambraccio, l'uno trattato mediante lembi loco-regionali, l'altro mediante lembi microvascolari prelevati dall'arto inferiore.

### ***Analisi comparativa delle dita delle mani e dei piedi***

Sono state analizzate e comparate le dimensioni del I e II dito del piede con il pollice e le dita lunghe della mano, nel tentativo di valutare quale differenza in lunghezza e larghezza si riscontrano nella popolazione sana. Questo ci dà una indicazione sulle differenze estetiche e anatomiche quando si decide di affrontare un intervento di questo tipo, e quali accorgimenti chirurgici potrebbe essere utile apportare per migliorare estetica e funzione.

Sono stati valutati 94 individui sani in cui non si aveva alcuna patologia congenita o acquisita per la quale l'anatomia dei piedi e delle mani fosse alterata (Tab I). Allo stesso tempo non erano presenti patologie metaboliche, vascolari, o di altra natura per cui eventuali edemi agli arti potessero alterare le dimensioni circonferenziali. Poiché le misurazioni in lunghezza erano radiografiche si sono esclusi i soggetti con età inferiore ai 18 anni, per evitare di esporre bambini a radiografie non indispensabili (gli adulti hanno comunque utilizzato apposite protezioni) e superiore ai 59 anni, per evitare la possibile presenza di artrosi avanzate o altre deformità legate all'età. Inoltre i trasferimenti digitali microvascolari oltre i 59 anni non sono indicati.

Sono state valutate la lunghezza delle dita mediante riferimenti radiografici, e la larghezza mediante misurazione clinica. Ciascuna misurazione è stata fatta agli arti destro e sinistro così da considerar loro in maniera indipendente e confrontando le misure del piede destro con la mano destra, e il piede sinistro con mano sinistra. Le misurazioni radiografiche sono state ottenute tutte con la stessa metodica mantenendo una distanza massima dell'apparecchio radiografico dall'arto e calcolando in maniera computerizzata la lunghezza dell'intero dito e di

ciascuna falange partendo dal centro della base della falange basale fino all'apice della telefalange. La larghezza delle dita si è valutata mediante misurazione clinica alla base dell'unghia e alla IFP.

Le misure dell'alluce sono state confrontate con le misure del pollice del lato corrispondente, mentre le misure del secondo dito del piede sono state confrontate con la misura del pollice e di tutte le dita lunghe. Inoltre si è confrontata la somma della seconda e terza falange con la stessa somma delle dita lunghe della mano.

Tab I

N° soggetti	Età media	F/M	Peso medio in kg	Altezza media in cm
94	35.6	59/35	65.49	166

#### ***Lembi microvascolari versus lembi loco-regionali nelle ricostruzioni di mano e avambraccio***

Tra l'aprile 2009 e il febbraio del 2013 sono stati valutati 32 pazienti che hanno subito una perdita di sostanza di diversa natura, traumatica e non, a carico della mano e dell'avambraccio e che hanno necessitato di un intervento di chirurgia ricostruttiva. Sono stati inclusi tutti i pazienti di età inferiore a 59 anni, senza patologie metaboliche, coagulative, o nervose periferiche, e in cui si aveva una perdita cutanea di almeno 5 centimetri quadrati alla mano o all'avambraccio, oppure perdita di sostanza ossea di almeno 5cm, o muscolare. Sono stati esclusi nella valutazione i pazienti con età superiore ai 60 anni (in quel caso la rigenerazione nervosa è considerata scarsa), con patologie vascolari degenerative, metaboliche, o autoimmuni periferiche. Il difetto all'arto superiore necessitava in tutti i pazienti di una ricostruzione tridimensionale e venivano considerate solo perdite di sostanza in cui innesti di cute liberi, trattamenti con sistema VAC, o guarigioni per seconda intenzione venivano giudicati inappropriati. Metà dei pazienti sono stati trattati mediante lembo peduncolato prelevato da un'area circostante la lesione o a distanza, mentre l'altra metà dei pazienti hanno ricevuto un lembo microvascolare dall'arto inferiore.

Nei due gruppi di pazienti sono stati valutati: tempi operatori, giorni di degenza, tempi di guarigione della ferita nel sito donatore e nel sito ricevente, complicazioni nel sito donatore e ricevente, valutazione soggettiva estetica del risultato.

Lo scopo è stato quello di valutare i benefici dell'un tipo di trattamento rispetto all'altro in termini di complicanze generali, tempi operatori, e impegno logistico. L'impatto economico non è stato preso in considerazione.

## **Risultati**

Dalle tabelle che seguono si evincono le dimensioni del I e II dito del piede e delle dita delle mani e le rispettive differenze. Il I dito del piede, in entrambi i lati, è superiore alla lunghezza del pollice di circa 2.7mm, e la sua larghezza alla base ungueale è superiore di circa 22mm (Tab V). Il I dito del piede ha dunque delle dimensioni molto simili al pollice, anche se la sua larghezza è certamente superiore e necessita di alcune correzioni chirurgiche per renderlo esteticamente migliore. Al di là di questo, esso risulta essere un ottimo sostituto nelle amputazioni del pollice, soprattutto quelle a livello della MF in cui la lunghezza residua non sarebbe sufficiente ad una buona funzionalità.

Il II dito del piede, considerato nella sua intera lunghezza, è considerevolmente più corto e sottile rispetto al primo dito della mano (Tab III e VI). Le sue caratteristiche non sono esteticamente ideali per la ricostruzione del pollice. Inoltre comparato nella sua intera lunghezza il II dito è sensibilmente più corto rispetto a ciascuna delle dita lunghe della mano. Le indicazioni per un trasferimento dell'intero dito sono limitate ai casi di amputazioni pluridigitali a livello dell'articolazione metacarpo-falangea. Per amputazioni monodigitali il trasferimento è solitamente sconsigliato ed il risultato estetico non sarebbe soddisfacente.

Se si considerano le amputazioni digitali a livello della IFP ci si accorge che le differenze di F2+F3 del II dito del piede e F2+F3 delle dita lunghe sono di gran lunga inferiori e più accettabili, ed un trasferimento di questa componente consentirebbe di ricreare una cascata digitale sostanzialmente molto simile alle dimensioni originarie della mano (Tab IV). La larghezza del II dito del piede alla base ungueale è molto simile a quella delle dita delle mani, anche se l'unghia è più piccola e il polpastrello più 'panciuto' (Tab VI).

**Tab II:** Media lunghezza I dito piede e I dito mano, e loro differenza in millimetri

Lato Destro

Lunghezza I dito piede	Lunghezza I dito Mano	Differenza media
58.37	55.71	2.65

Lato Sinistro

Lunghezza I dito piede	Lunghezza I dito Mano	Differenza media
58.47	55.75	2.71

**Tab III:** Differenze in lunghezza tra le dita della mano e il II dito del piede. La valutazione è radiografica e le misure sono in millimetri

Lato Destro

Lunghezza II dito piede	I dito mano	II dito mano	III dito mano	IV dito mano	V dito mano
50.27	55.71	82.82	90.09	89.10	70.20
Differenze tra dita mano/II dito piede	5.44	32.55	42.82	38.83	19.92

Lato Sinistro

Lunghezza II dito piede	I dito mano	II dito mano	III dito mano	IV dito mano	V dito mano
50.51	55.75	82.34	92.85	89.21	70.12
Differenze tra dita mano/II dito piede	5.24	31.83	42.33	38.69	19.60

**Tab IV:** Lunghezza della F2+F3 (II e III falange) del II dito piede e F2+F3 delle dita lunghe mano. Nell'ultima riga abbiamo la differenza media F2+F3 di ciascun dito della mano rispetto al II dito del piede

Lato Destro

Lunghezza F2+F3 II dito piede	F2+F3 II dito mano	III dito mano	IV dito mano	V dito mano
24.10	43.86	49.84	48.50	37.94
Differenze F2+F3 tra dita mano/II dito piede	19.76	25.74	24.40	13.84

Lato Sinistro

Lunghezza F2+F3 II dito piede	F2+F3 II dito mano	III dito mano	IV dito mano	V dito mano
23.95	43.46	49.53	48.71	38.26
Differenze F2+F3 tra dita mano/II dito piede	19.50	25.57	24.75	14.30

**Tab V:** Larghezza del I dito del piede e del pollice misurata alla base dell'unghia e loro differenza

Lato Destro

Larghezza I dito piede	Larghezza I dito mano	Differenza media
80.24	59.13	21.10

Lato Sinistro

Larghezza I dito piede	Larghezza I dito mano	Differenza media
79.87	57.61	22.26

**Tab VI:** Larghezza II dito piede e dita mano alla base dell'unghia, e loro differenze medie.

Lato Destro

Larghezza II dito piede	I dito mano	II dito mano	III dito mano	IV dito mano	V dito mano
52.47	59.13	48.54	49.10	45.76	42.03
Differenze larghezza tra dita mano/II dito piede	6.66	3.93	3.37	6.71	10.44

Lato Sinistro

Larghezza II dito piede	I dito mano	II dito mano	III dito mano	IV dito mano	V dito mano
52.33	57.61	47.22	47.26	44.63	41.15
Differenze larghezza tra dita mano/II dito piede	5.28	5.11	5.06	7.7	11.17

Per quanto riguarda i 18 pazienti trattati mediante lembo microchirurgico, avevano una età media di 30.2 anni (min/max: 7 - 56). La durata media dell'intervento chirurgico è stata di 434.4 minuti (min/max: 290 - 590), e i giorni di degenza sono stati in media 5,7 (min/max: 5 - 9). In 8 di questi pazienti si è eseguito un 'toe flap', in 5 un lembo antero-laterale di coscia, in 2 casi un lembo perforante dell'arteria surale, in 2 casi un lembo di fibula, e in 1 caso un lembo muscolare dal muscolo abduktore dell'alluce. Ci sono state due necrosi totali, equivalenti a circa l'11% dei casi. La guarigione della ferita nel sito donatore è avvenuta in media a circa 18 giorni dall'intervento, mentre quella sul sito ricevente è guarita in circa 16.9 giorni (min/max: 14 - 24). Non si hanno avute complicazioni di rilievo sul sito donatore il quale veniva giudicato avere un risultato estetico buono/molto buono in 14 pazienti (77.7%), e accettabile in 3 (16.6%). Sul sito ricevente si è avuta necrosi totale del lembo in due casi, e in tutti gli altri pazienti non si è avuta alcuna complicazione. Da un punto di vista estetico il sito ricevente veniva giudicato buono/molto buono in 15 pazienti (83.3%), accettabile in 2 pazienti (11%) (Tab VIIa,b).

**Tab VIIa: Lembi microvascolari**

Paziente numero	Età	Tipo di lesione	Tipo di lembo	Durata intervento in min	Giorni di degenza
1	44	Perdita complete del polpastrello	Hemipulp transfer	390 min	5
2	24	Perdita sostanza volare avambraccio	Limbo antero-laterale di coscia	345 min	9
3	54	Contrattura I spazio intermetacarpale	Lembo perforante arteria surale	300 min	5
4	31	Perdita di sostanza dorsale mano	Lembo antero-laterale di coscia	425 min	6
5	56	Perdita complete superficie volare I dito	Hemipulp transfer	505 min	6
6	39	Anchilosi IFP III dito	PIP joint transfer dal piede	560 min	5
7	21	Cicatrice retraente dorso mano	Lembo antero-laterale di coscia	290 min	5
8	26	Perdita complete del polpastrello I dito	Hemipulp transfer	320 min	6
9	7	Perdita complete del polpastrello III dito	Hemipulp transfer	590 min	6
10	19	Perdita di sostanza dorso mano	Lembo antero-laterale di coscia	345 min	6
11	25	Contrattura I spazio intermetacarpale	Lembo perforante arteria surale	385 min	5
12	28	Vasto encondroma III metacarpale mano	Lembo di fibula	510 min	6
13	27	Pseudoartrosi ulna	Lembo di fibula	535 min	5
14	22	Perdita di sostanza muscolo-cutanea regione ipotenare	Lembo muscolo-cutaneo abduttore alluce	450 min	5
15	36	Amputazione traumatica II dito mano	Trasferimento II dito piede pro mano	520 min	6
16	45	Lesione traumatica testa II metacarpale	Lembo della MTF II dito piede	525 min	6
17	16	Lesione post-traumatica IFP IV dito	Lembo della IFP II dito piede	530 min	6
18	24	Perdita di sostanza dorso mano	Lembo antero-laterale di coscia	295 min	6

**TAB VIIIb: Lembi Microvascolari**

Paziente numero	Tempi guarigione sito donatore	Tempi guarigione sito ricevente	Complicazioni sito donatore	Complicazioni sito ricevente	Valutazione estetica sito donatore	Valutazione estetica sito ricevente
1	24	20	nessuna	Contrattura IF pollice	buona	Molto buona
2	15	18	nessuna	nessuna	buona	buona
3	14	Necrosi totale	nessuna	Necrosi totale	Molto buona	SV
4	20	16	nessuna	nessuna	accettabile	buona
5	22	19	nessuna	nessuna	buona	buona
6	17	15	nessuna	nessuna	accettabile	Molto buona
7	14	15	nessuna	nessuna	buona	accettabile
8	25	16	nessuna	nessuna	Molto buona	Molto buona
9	24	18	nessuna	contrattura	buona	buona
10	20	19	nessuna	nessuna	buona	accettabile
11	15	16	nessuna	nessuna	Molto buona	Molto buona
12	22	15	nessuna	nessuna	buona	Molto buona
13	18	14	nessuna	Pseudoartrosi moncone prossimale	Molto buona	Molto buona
14	26	Necrosi totale	nessuna	Necrosi totale	accettabile	SV
15	14	16	nessuna	nessuna	Molto buona	Molto buona
16	15	16	nessuna	nessuna	buona	Buona
17	14	14	nessuna	nessuna	buona	Buona
18	21	24	nessuna	nessuna	buona	buona

Se consideriamo il gruppo dei soggetti trattati mediante lembo loco-regionale vediamo che l'età media è di 36.2 anni (min/max: 14 - 51). In questo gruppo la durata media dell'intervento chirurgico è stata di 115.5 minuti (min/max: 90 - 145), e i giorni di degenza in media sono stati 2.8 (min/max: 2 - 5). Il sito donatore è guarito in circa 25.8 giorni (min/max: 14 - 54) con un risultato giudicato buono in 10 pazienti (55.5%), sufficiente/scarso in 8 pazienti (44.4%). Nessun paziente ha giudicato il risultato molto buono. Il sito ricevente è guarito in media dopo circa 23.9 giorni dopo l'intervento (min/max: 14 - 45) e il giudizio estetico è stato buono/molto buono in 15 pazienti (83.3%), scarso in 3 pazienti (16.6%) (Tab VIIIa,b). Ad un raffronto fra i due gruppi la durata dell'intervento è sensibilmente maggiore negli interventi microchirurgici di circa 318.9 minuti, e così pure i giorni di degenza in ospedale con una differenza di 2.9 giorni in più. I tempi di guarigione del sito donatore e ricevente sono stati leggermente maggiori nel caso dei lembi loco-regionali, e alla valutazione soggettiva il risultato estetico sembra essere stato meglio accettato nel gruppo di pazienti con lembo microchirurgico sia sul sito donatore sia sul ricevente.

**TAB VIIIa: Lembi locali**

Paziente numero	Eta'	Tipo di lesione	Tipo di lembo	Durata intervento
1	44	perdita di sostanza polso	Lembo interosseo posteriore	140 min
2	46	perdita di sostanza volare III e IV dito	Lembo inguinale	125 min
3	42	contrattura primo spazio	Lembo interosseo posteriore	135 min
4	49	perdita polpastrello III dito	Lembo peduncolato reverse omodigitale	115 min
5	22	perdita di sostanza ipotenare ipotenare	lembo inguinale	135 min
6	51	contrattura del polpastrello pollice	Kyte flap	110 min
7	42	esposizione protesi radio-ulnare distale	Lembo radiale	115 min
8	14	contrattura volare polso	lembo perforante radiale	145 min
9	51	perdita di sostanza dorso-laterale pollice	Kyte flap	105 min
10	43	post reimpianto avambraccio dx con esposizione vascolare	Lembo inguinale	115 min
11	34	politrauma volare mano con amputazioni digitali multiple	Lembo inguinale	100 min
12	35	perdita polpastrello II dito	Lembo peduncolato reverse reverse omodigitale	95 min
13	29	perdita polpastrello pollice	Lembo peduncolato di Brunelli	105 min
14	38	Perdita cutanea dorso mano	Lembo interosseo posteriore	115 min
15	29	Contrattura I spazio intermtarpale	Lembo inguinale	105 min
16	33	Perdita completa superficie volare eminenza tenare	Lembo perforante arteria radiale	95 min
17	29	perdita IFP II dito	Lembo peduncolato metacarpale	135 min

18	21	perdita di sostanza pulpare I dito	Kyte flap	90 min
----	----	------------------------------------	-----------	--------

**TAB VIIIb: Lembi Locali**

Paziente numero	gg di degenza	tempi guarigione sito donatore	tempi guarigione sito ricevente	complicazioni sito donatore	complicazioni sito ricevente	Valutazione estetica sito donatore	Valutazione estetica sito ricevente
1	2	15	15	nessuna	nessuna	buona	buona
2	4	45	45	nessuna	nessuna	buona	molto buona
3	2	17	14	nessuna	nessuna	buona	buona
4	2	22	25	nessuna	nessuna	accettabile	buona
5	5	45	45	nessuna	nessuna	buona	scarsa
6	2	54	20	esposizione tendine estensore	ipersensibilità riferita sul dorso mano	accettabile	buona
7	3	14	14	nessuna	nessuna	buona	molto buona
8	3	14	14	nessuna	nessuna	buona	buona
9	2	14	14	nessuna	nessuna	buona	molto buona
10	5	45	45	nessuna	nessuna	accettabile	scarsa
11	2	28	20	nessuna	nessuna	scarsa	scarsa
12	2	18	23	nessuna	nessuna	buona	buona
13	2	16	20	nessuna	nessuna	accettabile	buona
14	3	18	18	nessuna	nessuna	buona	buona
15	4	45	45	nessuna	nessuna	scarsa	buona
16	2	16	16	nessuna	nessuna	buona	buona
17	5	15	18	nessuna	nessuna	accettabile	buona
18	2	25	20	nessuna	nessuna	accettabile	buona

## Discussione

I traumi ad alta energia, le amputazioni, o le neoplasie richiedono di frequente interventi ricostruttivi che siano in grado non solo di colmare il difetto dell'area colpita, ma anche di restituire una funzione che consenta al paziente di riprendere un'attività lavorativa e di relazione normali. L'avvento della microchirurgia ha offerto nuove possibilità di trattamento soprattutto nel ricercare siti donatori dalle qualità simili all'area ricevente.

I trasferimenti vascolarizzati delle dita del piede furono introdotti alla fine dell'800 da Carl Nicoladoni<sup>69</sup> e venivano eseguiti in maniera pedunculata. I pazienti dovevano mantenere una posizione piuttosto scomoda per circa quattro settimane in attesa che il II dito del piede raggiungesse una sua autonomia vascolare per poter essere autonomizzato. Nel corso degli anni questo intervento veniva abbandonato per ovvie ragioni pratiche in quanto i pazienti mal sopportavano una simile posizione per lunghe settimane, ma il problema legato alle ricostruzioni digitali rimaneva, soprattutto nelle perdite del pollice che risultavano altamente invalidanti. Diversi interventi palliativi sono stati descritti nel tempo come l'allungamento del I osso metacarpale<sup>90</sup>, o il lembo osteocutaneo radiale<sup>91</sup>, o la pollicizzazione di una delle dita lunghe<sup>92</sup>, e sebbene i risultati funzionali siano descritti accettabili, nessuno di questi consente un ripristino della anatomia originale, implicando l'utilizzo di tessuti di qualità decisamente diversa rispetto a quella del dito. John Cobbett descriveva nel 1967 il primo caso di trasferimento microvascolare di I dito del piede pro pollice, aprendo la fase clinica di un tipo di intervento che influenzerà drammaticamente l'evoluzione delle ricostruzioni digitali. Con lo studio accurato dell'anatomia di questa regione venivano sviluppati diversi tipi di lembi come il trasferimento dell'emipolpastrello<sup>93</sup>, dell'unghia<sup>95</sup>, o dell'articolazione interfalangea e metacarpofalangea<sup>94</sup>.

Nonostante la differenza di dimensioni tra le dita del piede e delle mani sia evidente non c'è alcuno studio che analizzi nello specifico le loro dimensioni e quantifichi discrepanze in lunghezza e larghezza. Dall'analisi su 94 soggetti sani si è cercato di quantificare la media delle differenze di dimensioni del I e II dito dei piedi rispetto alle mani. Il I dito del piede è utilizzato esclusivamente per le ricostruzioni del pollice, mentre il II dito del piede è quello maggiormente utilizzato per le ricostruzioni delle dita lunghe, e talvolta del pollice. Attraverso una breve analisi della biomeccanica del passo si è evinto come l'amputazione chirurgica del I dito del piede ai fini della ricostruzione del pollice non crea solitamente una considerevole disabilità nella deambulazione ed è accettata molto bene dai pazienti<sup>70</sup> soprattutto se vengono rispettate durante

la dissezione quelle strutture che consentono di preservare una corretta distribuzione del carico, come l'inserzione distale della muscolatura intrinseca e la parte mediale della fascia plantare, responsabile del cosiddetto windlass effect.

Nell'affrontare perciò una pianificazione ricostruttiva in favore del pollice, dalle misurazioni effettuate l'alluce dovrebbe essere considerato come prima scelta rispetto al II dito del piede. La sua lunghezza totale ha una media di soli 2mm maggiore, mentre la larghezza è considerevolmente superiore con una media di circa 21mm. In questo caso è applicabile la correzione chirurgica descritta da Wei nel cosiddetto trimmed toe-transfer in cui una porzione della IF e della cute vengono ridotte in dimensioni.

Considerando la ricostruzione del pollice, abbiamo notato come il II dito del piede ha una lunghezza media rispetto al pollice di circa 5mm inferiore, ed una larghezza di circa 5-6mm inferiore al livello della base ungueale. Questo rende la superficie di contatto polpale decisamente ridotta rispetto ad un pollice normale, nonché una qualità estetica discutibile. Tale trasferimento è probabilmente da accettarsi solo nei casi di ricostruzione per la cosiddetta 'metacarpal hand' di tipo II bilaterale in cui è necessario trasferire almeno 5 dita del piede per ottenere una pinza bidigitale in una mano e tridigitale nell'altra.

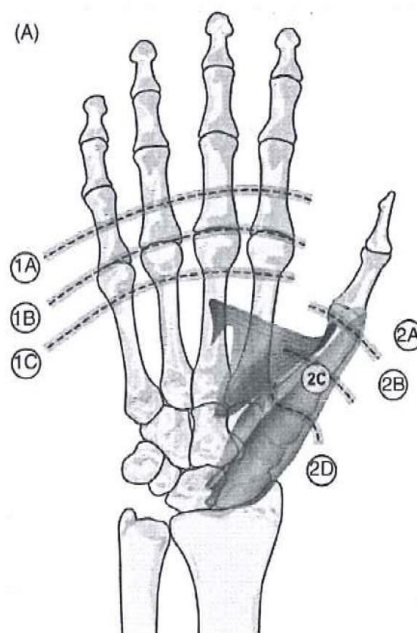
Per quanto riguarda invece la ricostruzione delle dita lunghe si è notato che le dimensioni del II dito del piede sono piuttosto simili alle dimensioni delle dita delle mani, quando si considerano la II e la III falange piuttosto che l'intero dito. Nel caso di amputazioni traumatiche è essenziale cercare di ricostituire una naturale cascata digitale durante la flessione-estensione, e questo si ottiene rispettando in certa misura la lunghezza naturale delle dita<sup>96</sup>. Se siamo di fronte ad una amputazione monodigitale a livello della MF del III dito non ha lacuna funzione il trasferimento di un secondo dito del piede sul terzo raggio, in quanto in media avrebbe una lunghezza inferiore alla metà stessa del dito amputato, risultando sia esteticamente sia funzionalmente inadeguato.

Diverso è il discorso nel caso della cosiddetta mano metacarpale. Descritta per la prima volta da Michon nel 1974<sup>96</sup>, e successivamente classificata da Wei<sup>98</sup> nel 1997, si riferisce a quelle amputazioni traumatiche di tutte le dita e, in misura di versa del pollice, per cui è spesso necessario trasferire due o più dita dal piede (Fig. 3)

**Fig. 3:** La mano metacarpale (metacarpal hand) è stata classificata in due tipi secondo Wei<sup>98</sup>.

Il tipo 1 è rappresentato dalla amputazione di tutte le dita lunghe senza coinvolgimento del pollice. Questa si suddivide a sua volta in tipo 1A, B, o C a seconda del livello di amputazione rispetto alla MF.

Nel tipo 2 invece si ha anche il coinvolgimento del pollice ed è suddivisa nei tipi 2A, B, C, o D in relazione al livello di amputazione del I dito.



In questo caso, se l'amputazione delle dita lunghe è a livello della MF, diventa appropriato trasferire da entrambi i piedi l'intero II dito e riattaccarlo alla MF, ottenendo così una pinza tridigitale di sufficiente lunghezza<sup>70</sup>. Un discorso simile si può fare per le amputazioni digitali in cui rimane intatto il solo V dito. In questo caso, essendo la differenza media in lunghezza tra il II dito del piede e il V dito della mano di circa 2 cm, un trasferimento microvascolare sul IV ed eventualmente III raggio sarebbe esteticamente e funzionalmente accettabile.

Per quanto riguarda le amputazioni alla IFP o distali ad essa, la discrepanza tra la somma F2+F3 del II dito del piede e le dita della mano è decisamente inferiore e un trasferimento a questo livello con una parte del secondo dito sarebbe in tutti i casi perfettamente accettato. Questo venne suggerito anche da Del Pinal<sup>99</sup> che mostrava come, soprattutto nei lavoratori manuali, amputazioni parziali beneficiavano di trasferimenti del II dito del piede, in grado ripristinare una buona cascata digitale nelle prese a mano piena e nelle pinze bi-tridigitali.

Nella valutazione più generale delle ricostruzioni della mano e dell'avambraccio conseguenti ad un trauma ad alta energia o ad una resezione tumorale, le possibilità ricostruttive vanno dalla chiusura per prima intenzione, agli innesti liberi di cute, fino alle soluzioni più complesse come i lembi loco-regionali o i lembi microvascolari. Negli ultimi quattro anni si sono presi in considerazione 32 pazienti che avevano riportato una vasta perdita di sostanza digitale, o

della mano/avambraccio superiore ai 5 centimetri quadrati, o ossea superiore ai 5cm, non trattabile mediante chiusura per prima intenzione o con innesti di cute liberi a causa dell'esposizione di strutture profonde. Si è cercato così di valutare i vantaggi e gli svantaggi nell'utilizzo dei lembi loco-regionali rispetto ai lembi microvascolari in termini di tempi di ospedalizzazione, complessità chirurgica, aspetto estetico del sito donatore e ricevente così come le eventuali complicazioni. Non solo, considerando i tempi operatori decisamente lunghi per un intervento micro, la disponibilità della sala operatoria è spesso limitata, e ciò influenza la scelta finale sul tipo di ricostruzione.

Dalle analisi effettuate risulta che a parità di risultato funzionale uno degli aspetti evidentemente diversi fra i due tipi di trattamento è legato ai tempi operatori e alle difficoltà tecniche di esecuzione. Un intervento di microchirurgia implica una notevole preparazione tecnica e una disponibilità logistica di gran lunga più impegnative rispetto all'esecuzione di un lembo loco-regionale. Nel primo caso infatti si ha quasi sempre necessità di due team, uno per il sito ricevente ed uno per il sito donatore, di una anestesia generale, e di tempi operatori tendenzialmente non inferiori alle 5-6 ore (nei nostri casi circa 434 minuti). Nel caso dei lembi loco-regionali l'impegno logistico è inferiore in quanto il paziente riceve quasi sempre un'anestesia plessica, e i tempi operatori sono solitamente inferiori alle due ore (nel nostro gruppo abbiamo avuto una media di 115 minuti). Nel caso in cui si utilizzi il lembo inguinale peduncolato il paziente va incontro ad anestesia generale, ma i tempi operatori sono comunque di gran lunga ridotti rispetto ad un intervento microchirurgico.

Una considerazione importante è legata alla quantità di tessuto prelevabile che varia a seconda del tipo di ricostruzione che si affronta, e del tipo di tessuto donatore. E' indubbio che per rivestire grossi difetti cutanei della mano o dell'avambraccio con lembi loco-regionali è necessario creare un ulteriore trauma locale e ricoprire il nuovo difetto creato con innesti cutanei liberi. Questo comporta anche dei tempi di guarigione e riabilitazione maggiori. Nella nostra casistica il gruppo trattato con lembi loco-regionali ha avuto tempi di guarigione medi del sito donatore di 25.8 giorni, mentre il sito ricevente di 23,9 giorni. Tali tempi sono stati superiori rispetto ai pazienti trattati con lembo microchirurgico. In questo caso il sito donatore è guarito in media dopo 18.8 giorni, mentre il sito ricevente in 16.9 giorni. Questo probabilmente è legato in parte al fatto che i lembi peduncolati a distanza come il lembo inguinale necessitano di una guarigione totale di almeno cinque settimane, visto che tre settimane sono necessarie per la

divisione del peduncolo e due ulteriori settimane per la desutura finale. Nel trasferimento di lembi microchirurgici il sito donatore è sano, ed il sito ricevente necessita solo di un debridement della ferita e della dissezione dei vasi riceventi. Sembra dunque che i tempi di guarigione totali favoriscano i lembi microchirurgici a distanza rispetto ai loco-regionali.

Un altro dato da tenere presente è la qualità del tessuto che si va ad utilizzare, che nell'arto inferiore risulta in tutto simile a quello della mano. Se pensiamo a vaste lesioni digitali e pulpari queste spesso hanno dimensioni per cui i lembi locali come il cross-finger, o lembi omo e eterodigitali non sono sufficienti a ricoprire il difetto, così come quelle situazioni in cui lesioni adiacenti alla lesione non consentono di utilizzare tessuto 'vicino'. In questo caso abbiamo la possibilità di ripristinare esattamente le stesse caratteristiche anatomiche del sito ricevente sfruttando le qualità simili delle dita dei piedi. I nostri casi di trasferimento del polpastrello hanno evidenziato come, a discapito di un intervento decisamente più impegnativo, i nostri pazienti hanno ottenuto una ottima copertura del difetto.

Considerando specificamente le perdite di sostanza del dorso della mano il discorso, alla luce dei risultati ottenuti, può essere molto simile. La cute dorsale del dorso della mano è sottile ed elastica, e difficilmente riproducibile con lembi locali o peduncolati a distanza i quali sono più spessi del tessuto originale. Il vantaggio dei lembi microvascolari è legato non solo alla maggiore quantità di tessuto disponibile rispetto ad un lembo radiale o interosseo posteriore, ma anche alla possibilità di eseguire lo sgrassamento durante il tempo di prelievo del lembo. E' possibile prelevare un lembo dalla larghezza di 8-10cm a livello loco-regionale, ma le conseguenze estetiche sono spesso molto evidenti e meno accettate da parte del paziente. Nel gruppo trattato con lembi loco-regionali il risultato estetico è stato giudicato inferiore rispetto all'altro gruppo, in quanto prelievi di grosse quantità di tessuto sull'avambraccio necessitano obbligatoriamente di innesti di cute che risultano cosmeticamente mal accettati.

Nella nostra casistica abbiamo avuto due casi di necrosi totale del lembo microchirurgico, a differenza del gruppo trattato con lembi loco-regionali in cui si è avuto la sopravvivenza del lembo in tutti i pazienti. La perdita di un lembo è sempre un'evenienza estremamente traumatica sia per il paziente che per il chirurgo. Nel caso 3 il lembo è andato incontro a congestione venosa dopo circa 24 ore dall'intervento. Portato in sala operatoria si evidenziava la trombosi di entrambe le vene e l'assenza di flusso arterioso. Venivano eseguiti due innesti di vena e una nuova anastomosi arteriosa. Il lembo riprese una buona circolazione anche se manteneva un certo

edema. La temperatura appariva circa due gradi inferiore alla temperatura cutanea della zona circostante. Dopo circa due settimane si evidenziava la necrosi completa. Il lembo veniva così rimosso, l'area sottostante presentava un buon tessuto di granulazione e veniva per questo eseguito un innesto di cute libero con un buon risultato funzionale.

La seconda necrosi avvenne nel caso 14, ed era dovuto principalmente all'inesperienza dell'equipe chirurgica. Prelevato il lembo muscolo cutaneo per la ricostruzione dell'eminenza ipotenare e cutanea della mano, veniva chiesto all'infermiera di mantenere il lembo in una garza umida in attesa di ottenere un flusso arterioso ottimale dall'arteria ricevente. L'infermiera immergeva invece il lembo completamente in soluzione fisiologica per circa 20 minuti rendendo il muscolo inutilizzabile. Nonostante il tentativo di rivascolarizzazione i tessuti risultavano completamente degenerati. Abbandonato il tentativo di ricostruzione veniva utilizzato un lembo inguinale per ricoprire il difetto cutaneo.

L'affidabilità dei lembi microchirurgici è al giorno d'oggi del 90%, ma il rischio di complicazioni acute che implicano la necrosi del lembo è sempre da tenere in considerazione. L'organizzazione, nonché le capacità tecniche richieste per un intervento di microchirurgia sono decisamente maggiori rispetto ai lembi loco-regionali e questo rappresenta uno dei motivi che orienta drasticamente il metodo ricostruttivo verso soluzioni più semplici.

Il sito donatore ha avuto tempi di guarigione significativamente inferiori nel gruppo dei lembi microchirurgici. In alcuni casi è legato al fatto che alcuni lembi peduncolati come il lembo inguinale hanno necessariamente bisogno di due tempi chirurgici, il primo per la copertura della lesione alla mano e il secondo per l'autonomizzazione del lembo. Questo comporta dei tempi di guarigione decisamente superiori rispetto all'altro gruppo. Anche per i lembi locali di certe dimensioni in cui è necessario utilizzare innesti di cute si è avuto un certo ritardo nella guarigione. In particolare nel paziente numero 6 che aveva ricevuto un kyte flap, parte dell'innesto sul dorso del II dito è andato in necrosi e la ferita è guarita in circa due mesi. In questo caso si è avuta anche disestesia sul polpastrello in quanto l'innervazione proveniva dal territorio del nervo radiale ed il paziente continuava a percepire il tatto sul sito donatore. Questo è un problema che spesso viene risolto spontaneamente in alcuni mesi.

## Casi clinici

### Lembi microvascolari

#### *Casi clinici numero 5*

Un ragazzo di 25aa subiva l'intervento di reimpianto del braccio destro a livello del III medio dell'omero. Dopo un buon recupero della mobilità del gomito e della mano, il paziente sviluppava una notevole contrattura del I spazio intermetarpale (Fig.4a) che limitava notevolmente la capacità di opposizione del I dito e impediva ogni possibilità di pinza bidigitale. Si pianificava per questo il release complete del I spazio, posizionamento in abduzione del pollice che veniva mantenuto mediante l'inserimento di un innesto osseo tra il I e II osso metarpale. Il difetto cutaneo residuo veniva colmato mediante un lembo perforante dell'arteria surale (Fig. 4b-d). Il paziente era in grado di recuperare così una buona presa di pinza con una migliore apertura del I spazio intermetarpale (Fig. 4e-f).

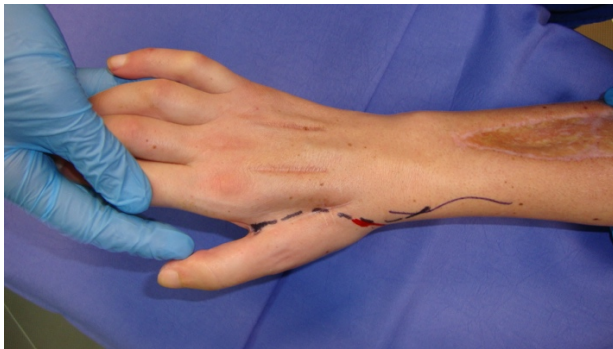


Fig.4a : Postumi reimpianto braccio destro e conseguente contrattura del I spazio

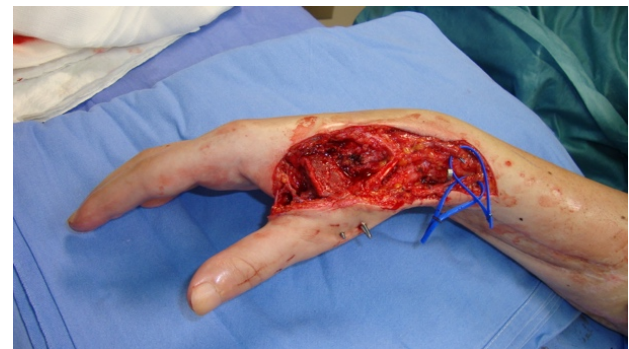
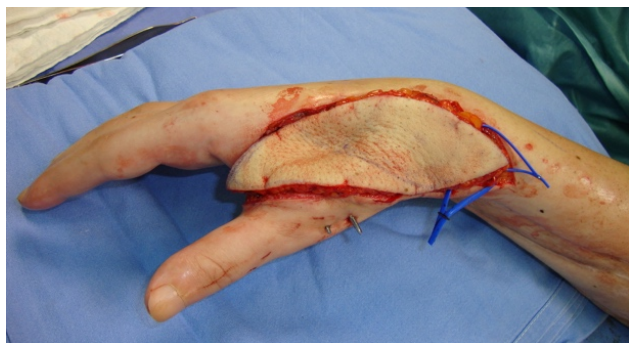


Fig.4b : Release del I spazio ed innesto osseo



Fig.4c-d : Lembo perforante dall'arteria surale



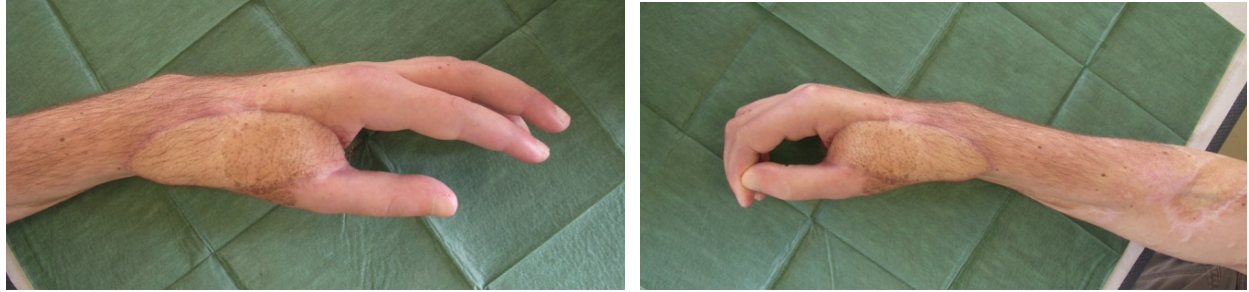


Fig. 4e-f: Risultato post-intervento in cui si evidenzia una migliore apertura del I spazio con buona copertura del difetto cutaneo mediante il lembo perforante surale

### *Caso clinico numero 12*

Una donna di 28 anni si presentava alla nostra osservazione con una dolenzia in regione dorsale alla mano destra accompagnata da lieve tumefazione. Al controllo radiografico si evidenziava un vasto encondroma al III osso metacarpale che interessava l'intera diafisi e la quasi totalità della base e della testa metacarpale (fig. 5a). Si rendeva necessaria l'asportazione radicale della lesione, e per problemi lavorativi e familiari la paziente desiderava avere una guarigione ossea e un recupero funzionali il più rapidi possibili. Si decideva per questo di procedere con l'escissione radicale dell'encondroma e la ricostruzione mediante lembo microvascolare di fibula. Il controllo clinico ai due mesi evidenziava un buon recupero funzionale della capacità di presa a mano piena.



Fig.5a: Aspetto radiografico dell'encondroma al III osso metacarpale

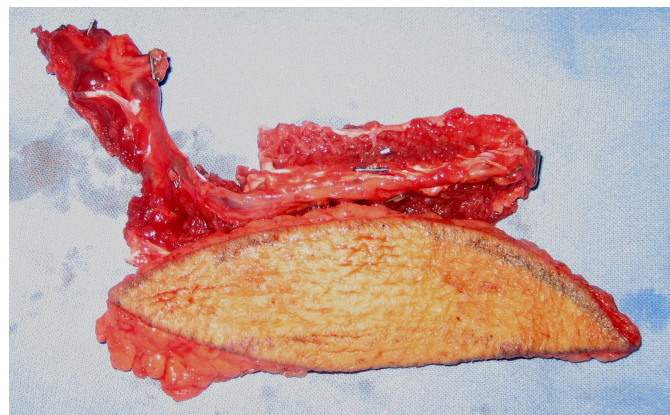


Fig.5b: Prelievo del lembo osteocutaneo di fibula



Fig.5c-d: Dopo circa sette settimane dall'intervento si evidenziava una buona consolidazione ossea nelle proiezioni frontale a laterale



Fig.5e-f: Il controllo clinico a circa due mesi dall'intervento dimostra una buona funzionalità con in flessione estensione delle dita e in particolare del III raggio.

### *Caso clinico numero 18*

Un ragazzo di 24 anni riportava una grave perdita di sostanza dorsale alla mano destra in seguito ad un incidente stradale. Alla lesione cutanea si associava l'esposizione dei tendini estensori e la lesione completa dell'estensore comune per il II dito (Fig. 6a). Dopo pulizia accurata dei tessuti necrotici si pianificava la ricostruzione del tendine estensore mediante innesto tendineo dal palmare lungo (Fig.6b) e copertura cutanea attraverso lembo antero-laterale di coscia (fig.6c-d). L'anastomosi arteriosa si eseguiva sull'arteria radiale, mentre quelle venose su due vene superficiali dell'avambraccio. Non si è avuta alcuna complicazione post-operatoria ed il paziente riacquistava una buona funzionalità in flessione-estensione di tutte le dita, anche se le MF rimanevano leggermente rigide soprattutto nei tentativi di flessione (Fig.6e).



Fig.6a-b: Aspetto iniziale della lesione in cui si evidenzia la vasta perdita di sostanza dorsale della mano associata a lesione dei tendini estensori delle dita. Si pianificava asportazione dei tessuti necrotici e ricostruzione del tendine estensore per il II dito mediante innesto tendineo

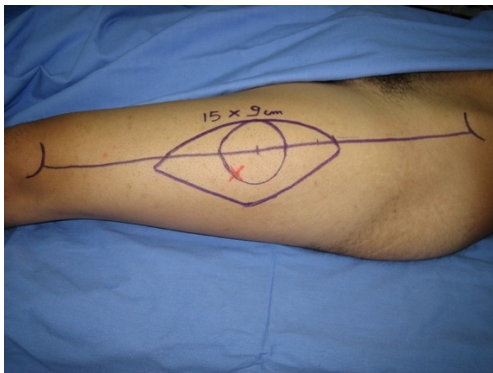


Fig.6c-d: La ricostruzione del difetto cutaneo avveniva mediante un lembo microvascolare antero-laterale di coscia. L'anastomosi arteriosa si eseguiva in maniera termino-terminale sull'arteria radiale, mentre le vene comitanti del lembo si anastomizzavano su due vene superficiali dell'avambraccio.



Fig.6e: Buona copertura cutanea e recupero funzionale. Le articolazioni metacarpo-falangee mantenevano una certa rigidità soprattutto nei tentativi di flessione. Il lembo risultava inoltre piuttosto spesso e si pianificava per questo un intervento di sgrassamento per ridurre lo spessore.

### **Lembi peduncolati**

#### *Caso clinico numero 3*

Una paziente subiva l'amputazione traumatica del pollice al livello dell'articolazione metacarpo-falangea della mano sinistra. In seguito a reimpianto, si sviluppava una contrattura del primo spazio intermetacarpale e flessione forzata della interfalangea (Fig.7a-b). Si provvedeva per questo ad artrodesi in posizione funzionale della interfalangea e allo stesso tempo a release completo del I spazio e copertura del difetto cutaneo mediante lembo interosseo posteriore.

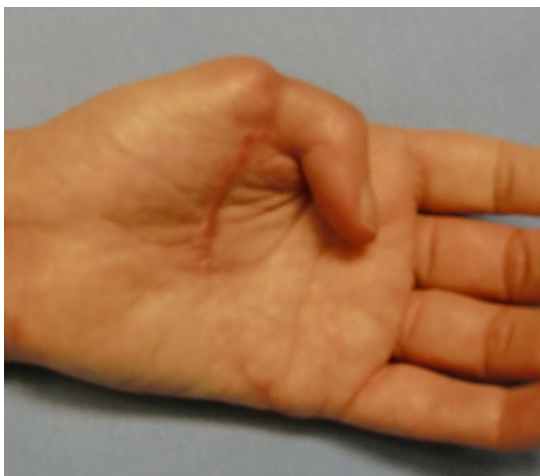


Fig.7a-b: Risultato estetico e funzionale in seguito a reimpianto del I dito alla MF. La paziente sviluppava una notevole contrattura del I spazio intermetacarpale e della IF che richiedeva release dei tessuti molli e artrodesi funzionale della IF.

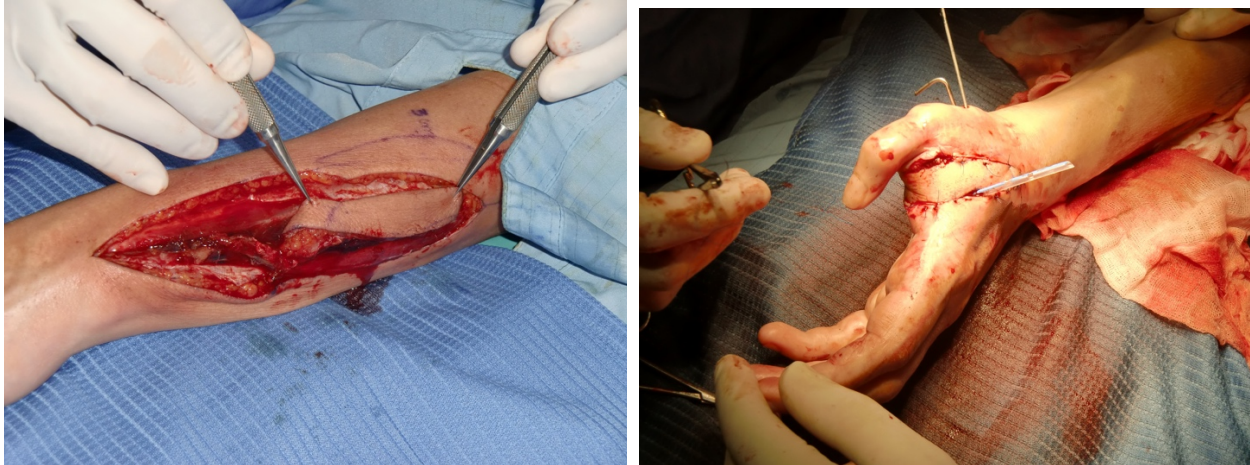


Fig.7c-d: Immagine intra-operatoria che mostra l'elevazione del lembo interosseo posteriore e il suo utilizzo dopo release del I spazio cpon buona copertura cutanea.

#### *Caso clinico numero 4*

Un uomo di 49 anni subiva un trauma da schiacciamento al III dito della mano sinistra che risultava nella necrosi completa del polpastrello (Fig 8a). Giunto alla nostra osservazione si pianificava l'asportazione dell'intera parte necrotica ed il difetto cutaneo veniva ricoperto con un lembo omodigitale reverse dell'arteria digitale (Fig. 8b). Il nervo sensitivo dorsale del III dito veniva incluso nel lembo e rianastomizzato al nervo digitale (Fig. 8c-d). Il paziente otteneva una buona copertura distale ed un buon recupero funzionale (Fig. 8e).



Fig.8a: Necrosi totale del polpastrello del II dito. 8b: dopo escissione della parte necrotica si nota l'esposizione ossea e la pianificazione del lembo omodigitale reverse ed il pivot point sulla falange media.

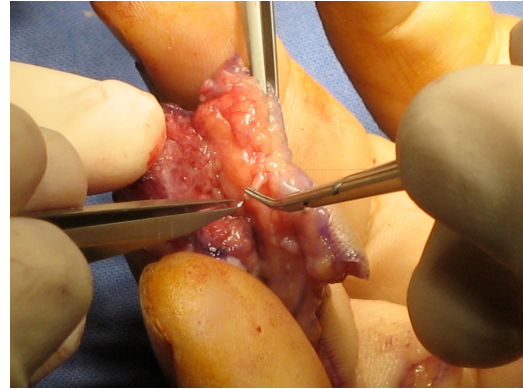
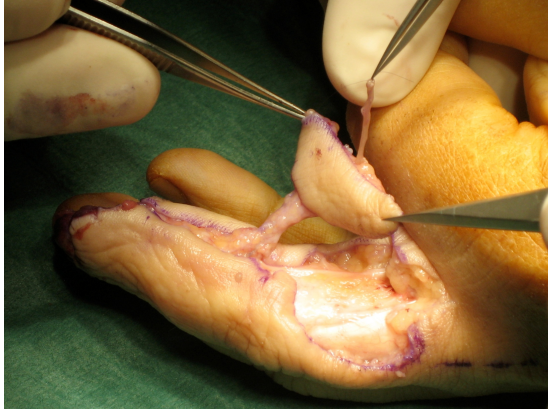


Fig. 8c-d: Immagine intraoperatoria in cui si evidenzia l'elevazione del lembo e il nervo sensitivo dorsale che verrà utilizzato per il recupero della sensibilità dorsale.



Fig. 8e: Un mese dopo l'intervento si nota un buon processo di guarigione del lembo. La parte donatrice tenderà a riprendere forma dopo diversi mesi.

## Conclusioni

In tabella IX vediamo in sintesi un elenco dei vantaggi e degli svantaggi dei lembi loco-regionali rispetto ai lembi micro-chirurgici.

**Tab. IX**

<b>Lembi Loco-Regionali/peduncolati a distanza</b>	<b>Lembi Microchirurgici</b>
Possono eseguirsi in anestesia plessica	Richiedono un anestesia generale
Sono tecnicamente meno impegnativi	Richiedono una notevole esperienza da parte del chirurgo in campo microchirurgico
I tempi operatori sono solitamente ridotti	Un intervento microchirurgico richiede di solito non meno di 4-5 ore
Non richiedono più di due giorni di ricovero ospedaliero	Necessitano di almeno 4 o 5 giorni di ricovero ospedaliero
La quantità di tessuto a disposizione è spesso limitata	Nelle grandi perdite di sostanza permettono il prelievo di una notevole quantità di tessuto
Nelle ricostruzioni digitali complesse è spesso difficile riprodurre un tessuto simile	I prelievi digitali dal piede consentono una ricostruzione molto simile al tessuto originale
La dissezione può creare un ulteriore danno in un arto che ha già subito una perdita di sostanza	La dissezione sul sito ricevente è minima e consente di preservare tutti i tessuti circostanti intatti
I lembi peduncolati a distanza necessitano di un secondo tempo operatorio per la loro autonomizzazione	I lembi microchirurgici non necessitano di altri interventi e consentono una mobilizzazione precoce

Dall'analisi dei risultati possiamo evincere che nelle lesioni digitali estese i lembi microvascolari delle dita consentono una ricostruzione estremamente fedele al tessuto originale comportando un danno sul sito donatore assolutamente accettabile con dei tempi di guarigione relativamente veloci. Per lesioni simili i lembi locali necessitano di una dissezione del sito ricevente adiacente a un dito traumatizzato portando a dei tempi di guarigione superiori e un risultato estetico spesso inferiore rispetto ai lembi microvascolari. Un discorso simile è valido per le grandi perdite di sostanza dorsali della mano. Per lesioni più circoscritte i lembi locali offrono un'ottima alternativa con tempi operatori radicalmente inferiori ai lembi microchirurgici, e un impegno anestesiológico inferiore.

## Bibliografia

1. Germann G, Sherman R, Levin LS. Decision-making in reconstructive surgery. Heidelberg Springer; 2000
2. Rockwell WB, Lister GD. Soft tissue reconstruction. Coverage of hand injuries. *Orthop Clin North Am.* 1993 Jul;24(3):411-24.
3. Levin LS, Erdmann D. Primary and secondary microvascular reconstruction of the upper extremity. *Hand Clin* 2001;17:447-55
4. Zenn MR, Hoffmann L, Latrenta G, Htchkiss R. Variations in digital nerve anatomy. *JHand Surg Am* 1992 Nov;17(6):1033-6.78-86;
5. Yeo CJ, Sebastin SJ, Chong AK. Fingertip injuries. *Singapore Med J.* 2010 Jan;51(1)
6. Da Anastasi, Capitani et all., *Trattato di Anatomia Umana*, Edi-Ermes, 2012; pagina 28
7. Jassinowski A. Die Arteriennhat: Eine experimentelle Studie. Inaug Diss Dorpat. 1889
8. Murphy JB. Resection of arteries and veins injured in continuity end-to-end suture: Experimental and clinical research. *Med Rec.* 1897;51:73-88
9. Carrel A. La technique operatoire des anastomoses vasculaires et la transplantation des visceres. *Lyon Med.* 1902;98:859-863.
10. Tamai S. History of microsurgery. *Plast Reconstr Surg.* 2009 Dec;124(6Suppl):e282-94.
11. Nylen CO. The microscope in aural surgery: Its first use and later development. *Acta Otolaryngol Suppl.* 1954;116:226–240.
12. Widstrand A, ed. *Svenska Laekare i ord och bild-Portraetgalleri med biografiska uppgifler oever nu levande svenska laekare.* Stockholm, Sweden: Biografiskt Galleri A-B; 1939.
13. Stahle J. Carl Olof Nylen (1892–1978): Den foerste att tillaempa otomikroskopi. *Sven Oenh-Tidskr.* 2005;3:44.
14. Holmgren G. Some experiences in surgery of otosclerosis. *Acta Otolaryngol.* 1923;5:460–466.
15. Malt RA, McKhann CF. Replantation of severed arms.

- JAMA. 1964;189:716–722.
16. Kleinert HE, Kasdan ML. Anastomosis of digital vessels. *J Ky Med Assoc.*
  17. Chen ZW, Chien YC, Bao YS. Salvage of the forearm following complete traumatic amputation: Report of a case. *Chin Med J.* 1963;82:632.
  18. Komatsu S, Tamai S. Successful replantation of a completely cut-off thumb. *Plast Reconstr Surg.* 1968;42:374–377.
  19. Harii K, Ohmori K, Ohmori S. Successful clinical transfer of ten free flaps by microvascular anastomoses. *Plast Reconstr Surg.* 1974;53:259–270
  20. Strauch B, Bloomberg AE, Lewin ML. An experimental approach to mandibular replacement: Island vascular composite rib grafts. *Br J Plast Surg.* 1971;24:334–341.
  21. Buncke HJ Jr, Buncke CM, Schulz WP. Immediate Nicoladoni procedure in the Rhesus monkey, or hallux-to-hand transplantation, utilising microminiature vascular anastomoses. *Br J Surg.* 1966;19:332–337.
  22. Chen ZW, Yang DY, Chang DS. *Microsurgery.* New York: Springer; 1982:143.
  23. Cobbett JR. Free digital transfer. *J Bone Joint Surg (Br.)* 1969; 51:677–679.
  24. Dubernard JM, Owen E, Herzberg G, et al. Human hand allograft: Report on first 6 months. *Lancet* 1999;353:1315–1320.
  25. Devauchelle B, Badet L, Lengele B, et al. First human face allograft: Early report. *Lancet* 2006;368:203–209.
  26. The International Registry on Hand and Composite Tissue allotransplantation. Petruzzo P, Dubernard JM. *Clin Transpl.* 2011:247-53
  27. Courtney TK, Webster BS. Disabling occupational morbidity in the United States. An alternative way of seeing the Bureau of labor Statistics' data. *J Occup Environ Med* 1999Jan;41(1):60-9
  28. Sorock G, Lombardi D, Courtney T, et al. Epidemiology of occupational acute traumatic hand injuries: a literature review. *Safety Sci.* 2001;38:241-56
  29. Kiil J. The epidemiology of replantation cases. *Scand J Plast Reconstr Surg.* 1982;19:78-80
  30. Moberg E. Reconstructive hand surgery in tetraplegia, stroke, and cerebral palsy: some basic concepts in physiology and neurology *J Hand Surg Am.* 1976

- Jul;1(1):29-34.
31. Burkhalter W. Mutilating injuries of the hand. *Hand Clin.* 1986 Feb;2(1):45-68.
  32. Hentz VR, Chase RA. The philosophy of salvage and repair for acute hand injuries. In: Walford FG, editor. *Acute hand injuries: a multispecialty approach.* St- Louis: Mosby; 1979.
  33. Entin MA. Salvaging the basic hand. *Surg Clin North Am.* 1968 Oct;48(5):1063-81
  34. Cooney WP 3rd, Chao EY. Biomechanical analysis of static forces in the thumb during hand function. *J Bone Joint Surg Am.* 1977 Jan;59(1):27-36.
  35. Cooney WP, Linscheid RL, An KN. Opposition of the thumb: an anatomic and biomechanical study of tendon transfers. *J Hand Surg Am.* 1984 Nov;9(6):777-86.
  36. Imaeda T, An KN, Cooney WP 3rd Functional anatomy and biomechanics of the thumb. *Hand Clin.* 1992 Feb;8(1):9-15. Review
  37. Napier JR The attachments and function of the abductor pollicis brevis. *J Anat.* 1952 Oct;86(4):335-41
  38. Dell'oca RL, Hentz VR. Thumb reconstruction. In: Goldwyn RM, Cohen MN, editors. *The unfavorable result in plastic surgery.* Philadelphia: JB Lippincott; 2001. p. 805-29.
  39. Urbaniak JR. Thumb reconstruction by microsurgery. *Instr Course Lect.* 1984;33:425-46
  40. Morrison WA, O'Brien BM, MacLeod AM, Thumb reconstruction with a free neurovascular wrap-around flap from the big toe. *J Hand Surg Am.* 1980 Nov;5(6):575-83
  41. Morrison WA. Thumb reconstruction: a review and philosophy of management. *J Hand Surg Br.* 1992 Aug;17(4):383-90. Review
  42. Matev IB. *Reconstructive surgery of the thumb.* Essex, England: Pilgruims Press; 1983.
  43. Murray JF, Carman W, MacKenzie J. K. Transmetacarpal amputation of the index finger: a clinical assessment of hand strength and complications. *J Hand Surg Am.* 1977Nov;2(6):471-81
  44. Karle B, Wittemann M, Germann G. Functional outcome and quality of life after

- ray amputation versus amputation through the proximal phalanx of the index finger. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 2002 Jan;34(1):30-5.
45. Ejeskär A, Ortengren R. Isolated finger flexion force--a methodological study. *Hand.* 1981 Oct;13(3):223-30
  46. Hazelton FT, Smidt GL, Flatt AE, Stephens RI. The influence of wrist position on the force produced by the finger flexors. *J Biomech.* 1975 Sep;8(5):301-6.
  47. Tubiana R, Thomine J, Mackin E. Movements of the hand and wrist. In : Tubiana R, Thomine J, Mackin E. Examination of the hand and wrist. St Louis: Mosby; 1996. p.40-125
  48. Brown PW. Less than ten--surgeons with amputated fingers. *J Hand Surg Am.* 1982 Jan;7(1):31-7.
  49. Wei FC, Colony LH. Microsurgical reconstruction of opposable digits in mutilating hand injuries. *Clin Plast Surg.* 1989 Jul;16(3):491-504.
  50. Penteado CV, Masquelet Ac, Chevrel JP. The anatomic basis of the fasciocutaneous flap of the posterior interosseous artery. *Surg Radiol Anat* 1986;8:209-215
  51. Zancolli EA, Angrigiani C. Posterior interosseous island forearm flap. *J Hand Surg* 1988;13B:130-135
  52. Puri V, Mahendru S, Rana R. Posterior interosseous artery flap, fasciosubcutaneous pedicle technique: a study of 25 cases. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2007;60(12):1331-7. Epub 2007 Aug 23
  53. Acharya AM, Bhat AK, Bhaskaranand K. The reverse posterior interosseous artery flap: technical considerations in raising an easier and more reliable flap. *J Hand Surg Am.* 2012 Mar;37(3):575-82. doi: 10.1016/j.jhsa.2011.12.031
  54. Lu KH. The forearm radial arterial turnover flap and its clinical applications. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi.* 1982 Nov;20(11):695-7, 704
  55. N. Weinzweig, L. Chen, Z.W. Chen The distally based radial forearm fasciosubcutaneous flap with preservation of the radial artery: an anatomic and clinic approach. *Plast Reconstr Surg,* 94 (5) (1994), pp. 675–684
  56. S.F. Jeng, F.C. Wei. The distally based forearm island flap in hand reconstruction. *Plast Reconstr Surg,* 102 (2) (1998), pp. 400–406

57. Hilgenfeldt O (1950) Operativer daumenersatz. Enkeverslag, Stuttgart.
58. Holevich J. A new method of restoring sensibility to the thumb.  
J Bone Joint Surg Br. 1963 Aug;45:496-502.
59. Foucher G, Braun JB. A new island flap transfer from the dorsum of the index to the thumb. Plast Reconstr Surg. 1979 Mar;63(3):344-9.
60. McGregor IA, Jackson IT. The groin flap. Br J Plast Surg. 1972 Jan;25(1):3-16.
61. Slavin SA, Upton J, Kaplan WD, Van den Abbeele AD. An investigation of lymphatic function following free-tissue transfer. Plast Reconstr Surg. 1997 Mar;99(3):730-41; discussion 742-3.
62. Song YG, Chen GZ, Song YL. The free thigh flap: a new free flap concept based on the septocutaneous artery. Br J Plast Surg. 1984;37(2):149-59
63. Adani R, Tarallo L, Marcoccio I, Cipriani R, Gelati C, Innocenti M. Hand reconstruction using the thin anterolateral thigh flap. Plast Reconstr Surg. 2005;116(2):467-73. discussion 474-467
64. Gedeboou TM, Wei FC, Lin CH. Clinical experience of 1284 free anterolateral thigh flaps.  
Handchir Mikrochir Plast Chir. 2002;34 (4):239-44.
65. Javid M, Cormack GC. Anterolateral thigh free flap for complex soft tissue hand reconstructions. J Hand Surg (Edinb, Scotl). 2003;28(1):21-7.
66. Cavadas PC, Sanz-Giménez-Rico JR, Gutierrez-de la Cámara A, Navarro-Monzonis A, Soler-Nomdedeu S, Martínez-Soriano F. The medial sural artery perforator free flap. Plast Reconstr Surg. 2001 Nov;108(6):1609-15; discussion 1616-7.
67. Thione A, Valdatta L, Buoro M, Tuinder S, Mortarino C, Putz R. The medial sural artery perforators: Anatomic basis for a surgical plan. Ann Plast Surg. 2004;53:250-255.
68. Kim HH, Jeong JH, Seul JH, Cho BC. New design and identification of the medial sural perforator flap: an anatomical study and its clinical applications. Plast Reconstr Surg. 2006 Apr 15;117(5):1609-18.
69. Carl Nicoladoni and the concept of toe-to-hand transfer at the turn of the nineteenth century. Huemer GM. Plast Reconstr Surg. 2005 Apr 15;115(5):1432-3

70. Lutz BS, Wei FC Basic principles on toe-to-hand transplantation. *Chang Gung Med J.* 2002 Sep;25(9):568-76. Review
71. Foucher G, Nagel D, Briand E Microvascular great toenail transfer after conventional thumb reconstruction. *Plast Reconstr Surg.* 1999 Feb;103(2):570-6
72. Hierner R, Berger AK Long-term results after vascularised joint transfer for finger joint reconstruction *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2008 Nov;61(11):1338-46. Epub 2007 Nov9.
73. Woo SH, Lee GJ, Kim KC, Ha SH, Kim JS Cosmetic reconstruction of distal finger absence with partial second toe transfer *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2006;59(4):317-24.
74. Wei FC, Lutz BS, Cheng SL, Chuang DC. Reconstruction of bilateral metacarpal hands with multiple-toe transplantations *Plast Reconstr Surg.* 1999 Nov;104(6):1698-704.
75. Lambrinaudi C. Use and abuse of toes. *Postgrad Med J* 8:459-464, 1932
76. Mann RA, Hagy JL. The function of the toes in walking, jogging and running. *Clin Orthop Relat Res* 142:24-29, 1979
77. Hughes J, Clark P, Klenerman L. The importance of the toes in walking. *J Bone Joint Surg* 72B(2):245-251), 1990
78. Hutton WC, Dhanendran M. A study of the distribution of load under the normal foot during walking. *Int Orthop* 3:153-157, 1979
79. Hicks JH. The mechanics of the foot II. The plantar aponeurosis and the arch. *J Ana* 88:25,1954
80. Grundy M, Tosh PA, Mc Leish RD, Smidt L. An investigation of the centres of pressure under the foot while walking *J Bone Joint Surg* 57B(1):98-103, 1975
81. Hutton WC, Scott JRR, Stokes IAF. The mechanics of the foot. In L Klenerman (Ed). *The Foot and Its Disorders* (p.41). Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1973
82. Elftman H. Forces and energy changes in the leg during walking. *Am Physiol* 125:339, 1939
83. Serrafian, SK. *Anatomy of the foot and ankle*, Philadelphia, JB Lippincott, 1983; p.418-422

84. Simon SR, Mann RA, Hagy JL, Larsen LJ. Role of the posterior calf muscles in normal gait. *J Bone Joint Surg.* 60A:465, 1978
85. Lipton HA, May JW, Simon S. Preoperative and postoperative gait analyses patients undergoing great toe-to-thumb transfer. *J Hand Surg*1987;12A(1):66-69
86. Frykman GK, O'Brien BMcC, Morrison WA, MacLeod AM. Functional evaluation of the hand and foot after one-stage toe-to-hand transfer 1986;11A(1):9-17
87. Poppen KN, Mann RA, O'Konski M, Buncke HJ. Amputation of the great toe. *Foot Ankle* 1981;1(6):333-337
88. Poppen NK, Norris TR, Buncke HJ Jr. Evaluation of sensibility and function with microsurgical free tissue transfer of the great toe to the hand for thumb reconstruction *J Hand Surg* 1983;8(5):516-531
89. Mann RA, Poppen NK, O'Konski M. Amputation of the great toe. A clinical and biomechanical study. *Clin Orthop Relat Res* 1988;226:192-205
90. Bosch M, Granell F, Faig-Martí J, Henríquez A. First metacarpal lengthening following traumatic amputation of the thumb: long-term follow-up. *Chir Main.* 2004 Dec;23(6):284-8.
91. Yajima H, Tamai S, Yamauchi T, Mizumoto S. Osteocutaneous radial forearm flap for hand reconstruction. *J Hand Surg Am.* 1999 May;24(3):594-603
92. Ishida O, Taniguchi Y, Sunagawa T, Suzuki O, Ochi M. Pollicization of the index finger for traumatic thumb amputation. *Plast Reconstr Surg.* 2006 Mar;117(3):909-14.
93. Koshima I, Etoh H, Moriguchi T, Soeda S. Sixty cases of partial or total toe transfer for repair of finger losses. *Plast Reconstr Surg.* 1993 Dec;92(7):1331-8; discussion 1339-41.
94. Foucher G, Lenoble E, Smith D. Free and island vascularized joint transfer for proximal interphalangeal reconstruction: a series of 27 cases. *J Hand Surg Am.* 1994 Jan;19(1):8-16.
95. Shibata M, Seki T, Yoshizu T, Saito H, Tajima T. Microsurgical toenail transfer to the hand. *Plast Reconstr Surg.* 1991 Jul;88(1):102-9; discussion 110
96. Woo SH, Lee GJ, Kim KC, Ha SH, Kim JS. Cosmetic reconstruction of distal

- finger absence with partial second toe transfer. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2006;59(4):317-24
97. Michon J, Dolich B. The metacarpal hand. *Hand.* 1974, 6: 285–90.
98. Wei FC, El-Gammal TA, Lin CH, Chuang CC, Chen HC, Chen SHT. Metacarpal hand: classification and guidelines for microsurgical reconstruction with toe transplants. *Plast Reconstr Surg.* 1997, 99:122–8.
99. Del Piñal F, Herrero F, García-Bernal FJ, Jado E, Ros MJ. Minimizing impairment in laborers with finger losses distal to the proximal interphalangeal joint by second toe transfer. *Plast Reconstr Surg.* 2003 Sep 15;112(4):1000-11