



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI MEDICINA E CHIRURGIA

Corso di Laurea Magistrale in Medicina e Chirurgia

**FRATTURA BIOSSEA AVAMBRACCIO:
SINGOLO ACCESSO VERSUS DOPPIO ACCESSO.
STUDIO PROSPETTICO CLINICO E RADIOGRAFICO**

Relatore:
Chiar.mo Prof. Antonio Pompilio Gigante

Tesi di Laurea di:
Francesco Martini

Correlatore:
Chiar.mo Dott. Procaccini Roberto

A.A. 2019-2020

INDICE

Capitolo 1

Fratture dell'avambraccio

1. Definizione e generalità
2. Anatomia dell'avambraccio
 - a. *Articolazione radio-ulnare distale*
 - b. *Articolazione radio-ulnare prossimale*
 - c. *Membrana interossea*
 - d. *Vascolarizzazione*
 - e. *Innervazione*
3. Principi di biomeccanica dell'avambraccio
4. Classificazione fratture dell'avambraccio
 - a. *Fratture dell'avambraccio prossimale*
 - b. *Fratture dell'avambraccio distale*
 - c. *Fratture diafisarie dell'avambraccio*

Fratture biossee dell'avambraccio

1. Generalità
2. Meccanismo di lesione
3. Diagnosi e management in acuto
4. Terapia
 - a. *Considerazioni generali*
 - b. *Biomeccanica della fissazione dell'avambraccio*
 - c. *ORIF*
 - d. *Innesto osseo*
 - e. *Inchiodamento endomidollare*

f. Management post-operatorio

5. Vie d'accesso:

a. Considerazioni generali e anatomia chirurgica

b. Approccio volare alla diafisi radiale (Henry)

c. Approccio dorsale alla diafisi radiale (Thompson)

d. Approccio alla diafisi ulnare

e. Approccio singolo volare

6. Complicanze:

a. Complicanze immediate

b. Complicanze ritardate

Capitolo 2

Lo studio. Frattura biossea avambraccio: singolo accesso versus doppio accesso. Studio prospettico clinico e radiografico

1. Introduzione

2. Materiali e metodi

a. Tecnica chirurgica

b. Management post-operatorio

c. Follow-up

3. Risultati

4. Discussione e conclusioni

Bibliografia

Capitolo 1

Fratture dell'avambraccio

1. Definizione e generalità

Le fratture dell'avambraccio sono comuni nella popolazione adulta (Black et al, 2009); secondo la documentazione AO del periodo 1980-1996, il 10-14% di tutte le fratture registrate interessavano l'avambraccio (Rüedi et al, 2000). Non esistono nella letteratura scientifica italiana studi epidemiologici sull'incidenza nella popolazione delle fratture dell'avambraccio: uno studio condotto negli Stati Uniti d'America evidenzia come queste rappresentino il 31 per cento di tutte le fratture dell'arto superiore (Chung et al, 2001). Uno studio danese ha mostrato che queste lesioni colpiscono 278 su 100.000 uomini sopra i 50 anni e 1110 su 100.000 donne sopra i 50 anni, con un rapporto donna uomo di 4.0 (Abrahamsen et al, 2015) a favore del sesso femminile, a causa della maggiore incidenza di osteoporosi in questa popolazione (Johnell et al, 2006)

2. Anatomia dell'avambraccio

Per poter ben comprendere il meccanismo eziopatogenetico delle fratture dell'avambraccio, è necessario innanzitutto conoscere l'anatomia funzionale delle due ossa antibrachiali. E ciò è utile non solo per la esatta interpretazione degli spostamenti interframmentari nei vari tipi di fratture, ma anche per potere esprimere un giudizio prognostico e di conseguenza scegliere il tipo di trattamento più idoneo, affinché venga ricostituita non solo l'integrità anatomica, ma in particolare, la curvatura fisiologica delle due ossa, ai fini del recupero di quello che è l'equilibrio dinamico dell'avambraccio.

L'avambraccio è una struttura complessa che coordina una serie di articolazioni per produrre una vasta gamma di movimenti. Agendo da ponte tra l'omero e il polso,

offre ulteriori gradi di libertà all'intero arto superiore, consentendo il controllo del posizionamento e della rotazione durante l'esecuzione di movimenti semplici. La rotazione dell'avambraccio è fondamentale per il corretto funzionamento dell'arto superiore: per esempio, afferrare oggetti e manovrarli con la mano richiede un grado di pronazione dell'avambraccio oltre alla flessione o estensione del polso, mentre altri semplici movimenti di sollevamento richiedono un grado di supinazione dell'avambraccio. Di conseguenza, disturbi della rotazione dell'avambraccio possono avere effetti dannosi sulle attività della vita quotidiana e lavorativa (Mehta et al, 2014). È generalmente accettato che circa 85° di pronazione e 75° di supinazione siano considerati normali. Per le attività di base della vita quotidiana, risultano adeguati 50° di pronazione e supinazione. È stato anche suggerito che una perdita di 20° in pronazione o supinazione è considerata accettabile, poiché i movimenti della spalla possono compensare una perdita sia in pronazione che in supinazione in modo tale che la funzione globale dell'arto non risulti compromessa (Hsu et al, 1993).

L'avambraccio è la porzione dell'arto superiore che si estende dal gomito al polso. La componente scheletrica di questa regione è formata da due ossa: il radio lateralmente e l'ulna medialmente. In queste ossa lunghe prendono origine e si inseriscono molti gruppi muscolari, consentendo movimenti dinamici fisiologici. Forniscono anche una struttura di supporto necessaria per il passaggio di fasci neurovascolari tra la porzione prossimale e distale dell'arto superiore (Walthall et al, 2020. Akhondi et al, 2020. Erwin et al, 2020. Epperson et al, 2020).

Il radio è posizionato lateralmente ed è il più corto delle due ossa. La testa radiale presenta due superfici articolari prossimalmente: una per l'omero distale, formando l'articolazione omero-radiale, ed una per l'incisura radiale dell'ulna formando l'articolazione radio-ulnare prossimale sostenuta dal legamento anulare (Fliegel et al,

2020. Mostafa et al, 2020). Distalmente, il radio si articola con la fila prossimale delle ossa del carpo, inclusi lo scafoide, il semilunare e il piramidale (Tang et al, 2020). Il radio presenta due prominenze ossee primarie, la tuberosità radiale sul versante mediale della porzione prossimale al confine con la regione diafisaria e il processo stiloideo, situato distalmente e lateralmente; entrambi fungono da sito di inserzioni muscolari. Il tubercolo di Lister è una prominenza ossea situata all'estremità distale del radio sul versante dorsale che funge da punto di riferimento anatomico per il tendine estensore lungo del pollice che lo circonda (Patel et al, 2020). L'ulna è considerata l'osso stabilizzatore dell'avambraccio. Prossimalmente, la sua incisura semilunare si articola con la troclea omerale, l'olecrano viene accolto nella fossa olecranica dell'omero e l'incisura radiale dell'ulna si articola con la testa radiale. Distalmente, la testa ulnare non entra direttamente a far parte dell'articolazione radio carpica in quanto fra essa e il carpo si trova il disco articolare, mentre con l'incisura ulnare del radio forma l'articolazione radio-ulnare distale. Le prominenze ossee dell'ulna includono il processo coronoideo e la tuberosità ulnare prossimalmente, e il processo stiloideo dell'ulna distalmente (Kerkhof et al, 2018. Sawyer et al, 2020).

a. Articolazione radio-ulnare distale

L'articolazione radio-ulnare distale comprende l'articolazione tra la testa ulnare e l'incisura ulnare del radio. Gli stabilizzatori intrinseci dell'articolazione radio-ulnare distale comprendono il complesso fibrocartilagineo triangolare del carpo, i legamenti radio-ulnari volare e dorsale, la capsula articolare stessa e il legamento collaterale ulnare (*Figura 1*) (Stuart et al, 2000). Inoltre, la morfologia stessa dell'incisura ulnare contribuisce per circa il 20% alla stabilità dell'articolazione radio-ulnare distale; il diametro maggiore dell'incisura ulnare rispetto alla testa dell'ulna determina una

concavità superficiale, permettendo così all'ulna di traslare sia in direzione volare che dorsale durante la pronosupinazione, in modo da consentire l'incrocio del radio sull'ulna. La traslazione media della testa dell'ulna in pronazione è di 2,8 mm dorsalmente, mentre durante la supinazione trasla in direzione volare di 5,4 mm (Baeyens, 2006).

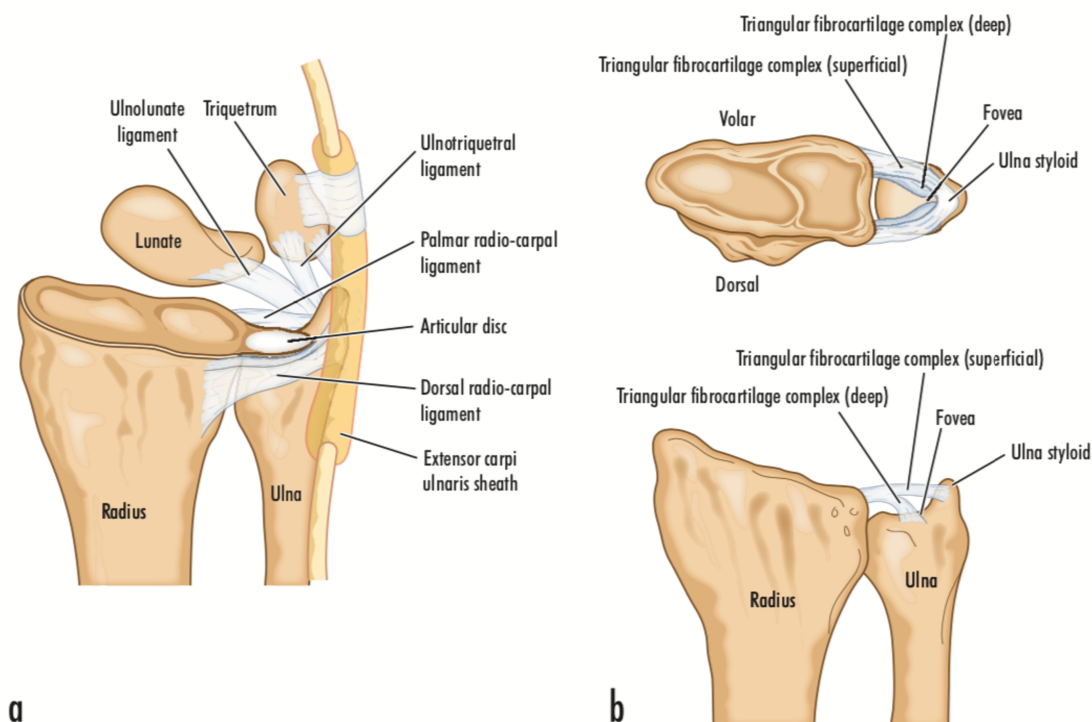


Figura 1. Anatomia dell'articolazione radio-ulnare distale (Mehta et al, 2014)

b. Articolazione radio-ulnare prossimale

L'articolazione radio-ulnare prossimale comprende l'incisura radiale dell'ulna, adiacente al processo coronoideo, e la testa radiale. La testa del radio ruota all'interno di una rientranza formata dall'incisura radiale e dal legamento anulare. Il forte legamento anulare si inserisce ai margini anteriore e posteriore dell'incisura radiale, fornendo stabilità durante la rotazione dell'avambraccio e mantenendo la testa radiale a contatto con l'ulna. Altri legamenti che contribuiscono alla stabilità articolare radio-ulnare prossimale sono il legamento collaterale laterale accessorio, che agisce per stabilizzare il legamento anulare durante lo stress in varo, e il legamento quadrato,

che copre il margine inferiore del legamento anulare e si inserisce sull'ulna (*Figura 2*) (Spinner e Kaplan, 1970).

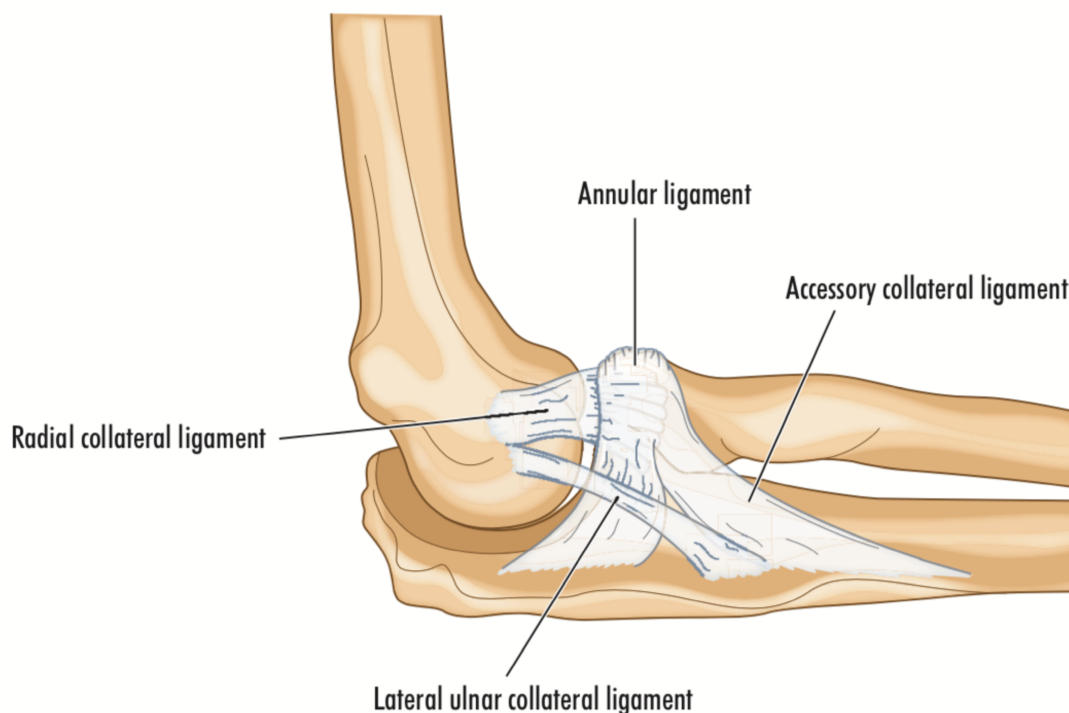


Figura 2. Anatomia dell'articolazione radio-ulnare prossimale (*Mehta et al, 2014*)

c. Membrana interossea

La membrana interossea è un setto fibroso situato tra il radio e l'ulna costituito da una porzione membranosa prossimale, una distale e una banda centrale molto più spessa. Le bande accessorie all'interno di questa struttura sono meno sostanziali e variano in numero e spessore. La membrana interossea origina dal radio e si estende distalmente per una lunghezza media di 10,6 cm fino all'inserzione ulnare (McGinley e Kozin, 2001).

La membrana interossea ha una serie di funzioni che includono: stabilità dell'avambraccio, fornire un piano di clivaggio per i muscoli estensori profondi e flessori profondi dell'avambraccio, trasferire il carico dalla mano e dal radio verso l'ulna e successivamente all'omero. La banda centrale, che fornisce il 71% di stabilità

longitudinale, è la principale struttura che contribuisce alla stabilità della membrana interossea (Moritomo, 2012).

d. Vascolarizzazione

Le arterie ulnari e radiali prevedono l'afflusso primario di sangue all'avambraccio. Sono rami terminali dell'arteria brachiale che emergono a livello della fossa cubitale (Epperson et al, 2020). L'arteria ulnare si sviluppa medialmente vascolarizzando i muscoli dell'avambraccio mediali e centrali così come il nervo ulnare e mediano. I rami collaterali dell'arteria ulnare includono l'arteria interossea comune che successivamente dà origine alle interossee anteriori e posteriori. L'arteria radiale si sviluppa lateralmente vascolarizzando i muscoli dell'avambraccio laterali (Kinose et al, 2018).

In uno studio su cadaveri, l'origine più comune dell'arteria nutritiva del radio era l'arteria interossea anteriore (56%) seguita dall'arteria mediana (25%). In questo stesso studio, l'origine più comune dell'arteria nutritiva dell'ulna era l'arteria ulnare (40%) seguita dall'arteria interossea anteriore (31%) (Kinose et al, 2018). Inoltre, i rami più piccoli che vascolarizzano il radio prossimale hanno origine dall'arteria radiale mentre il radio distale riceve anche vasi penetranti dagli archi arteriosi palmari. L'ulna riceve prossimalmente piccoli vasi dall'arteria ricorrente ulnare e similmente al radio distale, l'ulna distale riceve anche piccoli vasi dalle anastomosi tra arteria radiale, arteria ulnare e arteria interossea anteriore (Giebel et al, 1997).

e. Innervazione

I principali nervi dell'avambraccio sono il nervo mediano, l'ulnare e il radiale. I nervi mediano e ulnare viaggiano nel compartimento anteriore mentre il nervo radiale nel compartimento posteriore. Il nervo mediano dà origine al nervo interosseo anteriore

ed è responsabile dell'innervazione di tutti i muscoli del compartimento anteriore all'infuori del flessore ulnare del carpo e della componente ulnare del flessore profondo delle dita che sono innervati dal nervo ulnare. Il nervo radiale dà origine al nervo interosseo posteriore, noto anche come il ramo profondo del nervo radiale ed è responsabile dell'innervazione dei muscoli del compartimento posteriore (Polcaro et al, 2020. Gragossian et al, 2020. Pester et al, 2020. Pester et al, 2020. Bayot et al, 2020. Sevy et al, 2020).

f. Muscoli

Ci sono venti muscoli nell'avambraccio. L'area viene suddivisa in un compartimento anteriore (flessore) e uno posteriore (estensore) e ciascuno di essi viene suddiviso in un compartimento superficiale e uno profondo (Mitchell et al, 2020).

Il compartimento superficiale della superficie flessoria contiene il muscolo pronatore rotondo, il flessore radiale del carpo, il palmare lungo, il flessore ulnare del carpo e il flessore superficiale delle dita. Tutti questi muscoli originano principalmente dall'epicondilo mediale dell'omero. Il sito di inserzione del pronatore rotondo è la porzione centrale del radio. Sia il flessore radiale del carpo che il flessore ulnare del carpo si inseriscono rispettivamente alla base del secondo e quinto metacarpo (Lung et al, 2020). Il flessore superficiale delle dita attraversa il polso nel tunnel carpale e si inserisce nell'articolazione interfalangea prossimale alla base della falange media delle ultime quattro dita.

Nel compartimento profondo della superficie flessoria ci sono i muscoli flessore profondo delle dita, flessore lungo del pollice e il pronatore quadrato. Sia il muscolo flessore profondo delle dita che il flessore lungo del pollice originano nei tre quarti prossimali della faccia anteriore rispettivamente dell'ulna e del radio. Il flessore profondo delle dita attraversa con i tendini del flessore superficiale delle dita e con il

nervo mediano il tunnel carpale per inserirsi nella falange distale delle ultime quattro dita (Lung et al, 2020). Il pronatore quadrato origina dalla faccia anteromediale dell'ulna distale e si inserisce sulla faccia anterolaterale del radio distale; permette la pronazione dell'avambraccio.

Il muscolo brachioradiale risiede nel compartimento estensore superficiale dell'avambraccio. Ha origine dalla cresta sopracondiloidea e dall'epicondilo laterale dell'omero, decorre in posizione laterale e a circa metà dell'avambraccio si continua con un tendine per inserirsi al processo stiloideo del radio (Lung et al, 2020). Gli altri muscoli del compartimento superficiale della superficie estensoria sono l'estensore radiale breve del carpo, l'estensore radiale lungo del carpo, l'estensore delle dita, l'estensore del mignolo, l'estensore ulnare del carpo e l'anconeo. Questi muscoli trovano la loro origine nell'epicondilo laterale dell'omero. L'estensore radiale lungo del carpo e il breve si inseriscono nella porzione prossimale del secondo e del terzo metacarpo. I tendini dell'estensore delle dita passano sotto il retinacolo degli estensori e si dividono per inserirsi sulla superficie dorsale delle falangi medie e distali delle ultime quattro dita. L'estensore del mignolo corre insieme all'estensore delle dita e si inserisce sul dorso del quinto dito (Mitchell et al, 2020).

Il compartimento profondo della superficie estensoria contiene l'abduuttore lungo del pollice, l'estensore breve e lungo del pollice, l'estensore dell'indice e il supinatore. Tre di questi originano dall'ulna: l'abduuttore lungo del pollice, l'estensore lungo del pollice e l'estensore dell'indice. Questi tre muscoli si estendono nel dorso della mano e si inseriscono nelle dita. L'abduuttore lungo del pollice si inserisce alla base del primo metacarpo e al trapezio del carpo. L'estensore lungo del pollice corre lungo l'avambraccio fino al polso dove fa una curva stretta attorno al tubercolo di Lister e infine si inserisce nella falange distale del pollice. L'estensore dell'indice corre insieme ai tendini dell'estensore delle dita e si inserisce nel dorso del secondo

dito. L'estensore breve del pollice e il supinatore originano invece dal radio. L'estensore breve del pollice dopo aver attraversato insieme al tendine dell'abduktore lungo del pollice il primo canale del retinacolo dei muscoli estensori, si inserisce alla faccia dorsale della base della falange prossimale del pollice. Il supinatore origina dall'epicondilo laterale dell'omero e dalla faccia posteriore dell'ulna e, dopo aver avvolto il terzo superiore del radio, si inserisce sulla faccia anterolaterale dello stesso osso, nella stessa posizione del pronatore rotondo. Questo muscolo consente la supinazione dell'avambraccio (Kerkhof et al, 2018).

3. Biomeccanica della pronosupinazione

Per spiegare la biomeccanica della pronosupinazione bisogna considerare la forma del radio. Quest'osso presenta tre segmenti, che nel loro insieme ricordano la forma di una manovella: il superiore, formato dal collo ed è obliquo in direzione distale e mediale; l'intermedio, corrisponde alla parte media della diafisi ed è obliquo in direzione distale e laterale; l'inferiore, è formato dalla parte distale della diafisi ed è obliquo in direzione distale e mediale. I segmenti superiore e intermedio formano un angolo ottuso aperto all'esterno il cui vertice è formato dalla tuberosità su cui si inserisce il tendine del bicipite brachiale: nel loro insieme formano la curva supinatoria del radio. I segmenti intermedio e distale formano un angolo ottuso aperto all'interno il cui vertice corrisponde all'inserzione del pronatore rotondo: nel loro insieme formano la curva pronatoria del radio. L'asse di rotazione dell'avambraccio passa per le articolazioni radio-ulnari prossimale e distale e ciò fa sì che gli apici delle due curve del radio si trovino in posizione eccentrica rispetto all'asse stesso. Ci sono due modi per muovere questa manovella: svolgere un tirante avvolto su uno dei segmenti o esercitare una trazione alla sommità di una delle due curve. Entrambe queste modalità entrano in gioco nella rotazione dell'avambraccio.

La supinazione è prodotta da due muscoli: il supinatore, che è avvolto intorno al collo del radio e agisce per svolgimento; il bicipite brachiale, che è inserito sulla tuberosità alla sommità della curva supinatoria e agisce per trazione.

La pronazione è anch'essa prodotta da due muscoli: il pronatore quadrato, che è avvolto intorno all'estremità distale dell'ulna e agisce per svolgimento; il pronatore rotondo, che è inserito sulla diafisi del radio alla sommità della curva pronatoria e agisce per trazione (Grassi et al, 2012).

4. Classificazione fratture dell'avambraccio

La principale patologia che coinvolge il radio e l'ulna deriva dalle fratture, che possono essere classificate a seconda della sede colpita e di specifiche caratteristiche. Secondo la Orthopaedic Trauma Association le fratture dell'avambraccio possono essere distinte in fratture dell'avambraccio prossimale, fratture diafisarie e fratture dell'avambraccio distale (Orthopaedic Trauma Association, 2018).

a. Fratture dell'avambraccio prossimale

Le fratture dell'avambraccio prossimale possono coinvolgere il radio (capitello radiale) o l'ulna a livello articolare o extrarticolare.

Le fratture del radio prossimale extrarticolari possono essere con avulsione della tuberosità bicipitale (R1A1), semplici (R1A2) o comminute (R1A3) (Lapner et al, 2014). Se la frattura è scomposta e instabile, bisogna considerare una lesione del legamento collaterale mediale (lesione in valgo), una lesione sia del collaterale mediale che del laterale (lussazione del gomito) o una lesione della membrana interossea che configura la lesione di Essex-Lopresti (Essex-Lopresti, 1951. Kuhn et al, 2012. Guss et al, 2019).

Le fratture del radio prossimale articolari possono essere parziali (R1B) o complete (R1C). A loro volta possono essere stabili se non si associano a lussazione del gomito o lesioni legamentose, o instabili se sono associate a lussazione del gomito o se fanno parte di una lesione di Essex-Lopresti (Zwingmann et al, 2015).

Le fratture del capitello radiale possono essere anche classificate secondo Mason in: frattura marginale composta (tipo I), frattura marginale scomposta (tipo II), frattura comminuta dell'intera epifisi (tipo III) e frattura-lussazione del gomito (tipo IV) (Jordan et al, 2017).

Le fratture dell'ulna prossimali extrarticolari possono essere con avulsione dell'inserzione tricipitale (U1A1), semplici (U1A2) o comminute (U1A3) (Keener et al, 2010).

Le fratture dell'ulna prossimale articolari possono interessare l'olecrano (U1B1), il processo coronoideo (U1B2) o essere complete (U1C). Le fratture articolari di olecrano sono frequenti in età adulta e avanzata, nella cui patogenesi si possono riconoscere due meccanismi traumatici: diretto e indiretto. Il meccanismo diretto avviene per urto violento con produzione di una frattura comminuta. Quello indiretto per caduta sulla mano a gomito flesso con contrazione simultanea del tricipite: in questo caso la rima di frattura è trasversa oppure obliqua (Nijs, 2015). Traumi di estrema violenza possono causare anche una dislocazione anteriore del frammento ulnare distale (con o senza frattura della coronoide) e del capitello radiale, configurando il quadro di frattura-lussazione (Kuntz et al, 1999). Le fratture del processo coronoideo si osservano quasi esclusivamente in associazione alla lussazione posteriore del gomito; la frattura isolata, per trazione da parte del muscolo brachiale, è rara (Ring et al, 2015).

Una particolare frattura combinata, difficile da trattare, che merita di essere menzionata è la triade terribile: una lussazione del gomito associata a fratture del processo coronoideo e del capitello radiale (Chen et al, 2015).

b. Fratture dell'avambraccio distale

La classificazione della AO (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen) per le fratture dell'avambraccio distale definisce tre grandi categorie: fratture extrarticolari (tipo A), fratture articolari parziali (tipo B) e fratture articolari complete (tipo C). Ciascun tipo si divide in tre gruppi.

Le fratture extrarticolari (tipo A) non coinvolgono la superficie articolare della radiocarpica né della radio-ulnare distale, e comprendono i gruppi: frattura extrarticolare dell'ulna con radio integro (UA1), frattura extrarticolare semplice del radio (RA2) e frattura extrarticolare comminuta del radio (RA3).

Le fratture extrarticolari dell'ulna con radio integro (UA1) presentano tre sottotipi: fratture del processo stiloideo, fratture semplici e fratture comminute.

Le fratture extrarticolari semplici del radio (RA2) contengono tre sottotipi: le fratture senza dislocazione, le fratture con dislocazione dorsale e le fratture con dislocazione volare. Le fratture con dislocazione dorsale sono anche conosciute con il nome di fratture di Colles o Pouteau: si manifestano con un'alterazione del profilo del polso che presenta sul piano sagittale una deformità "a dorso di forchetta" e sul piano frontale una deformità "a baionetta", dovute allo spostamento in direzione rispettivamente dorsale e radiale del frammento dell'epifisi (Summers et al, 2020. Krishnan, 2002). Le fratture con dislocazione volare sono anche note come fratture di Goyrand-Smith o come Colles inverse: presentano una deformità sul piano sagittale opposta alle fratture di Colles, dovuta allo spostamento volare del frammento distale che appare anche pronato rispetto alla diafisi. Mentre le fratture di Colles

sono generalmente stabili, le fratture di Goyrand tendono ad essere più frequentemente instabili (Schroeder et al, 2020).

Le fratture articolari parziali (tipo B) interessano una parte soltanto della superficie articolare, mentre la porzione restante rimane continua con la diafisi. Comprendono i gruppi: frattura sagittale del radio (RB1), frattura del margine dorsale del radio (RB2) e frattura del margine volare del radio (RB3).

Le fratture sagittali del radio (RB1) presentano tre sottotipi: le fratture semplici della colonna laterale del radio distale (RB1.1), le fratture comminute della colonna laterale del radio (RB1.2) e le fratture della colonna mediale del radio distale (RB1.3). Le prime due sono frequentemente associate a lesioni del legamento interosseo scafo-lunato mentre nell'ultima è interessata sia la superficie articolare radio-carpica che la superficie articolare radio-ulnare distale.

Le fratture del margine dorsale del radio (RB2), anche note come fratture di Barton, sono fratture del radio distale che si estendono alla superficie articolare dorsale con associata dislocazione dell'articolazione radio-carpica; tuttavia, poiché non vi è alcuna interruzione dei legamenti radio-carpici, la superficie articolare del radio distale rimane in contatto con la fila carpale prossimale (Barton et al, 2019. Wæver et al, 2018. Mauck et al, 2018). Questo tipo di fratture possono essere ulteriormente suddivise in: semplici (RB2.1), frammentarie (RB2.2), con dislocazione dorsale (RB2.3). Nelle fratture frammentarie è spesso associata una frattura del processo stiloideo radiale. Le fratture di tipo RB2.3 sono simili alle precedenti ma presentano un maggior grado di sublussazione del carpo, in modo tale che spesso è completamente lussata dorsalmente; in questo caso le strutture neurovascolari sono particolarmente a rischio, in particolare il nervo mediano, a causa dell'instabilità e dell'ampio spostamento.

La frattura del margine volare del radio (RB3), anche nota come frattura di Barton inversa, è una frattura articolare del radio distale con dislocazione in cui la superficie articolare del radio rimane in contatto con il carpo; tuttavia, il tipo inverso coinvolge la porzione articolare volare piuttosto che quella dorsale (Szymanski et al, 2020).

Nelle fratture articolari complete (tipo C) la superficie articolare è interrotta e completamente separata dalla diafisi. Comprendono i gruppi: fratture del radio articolari semplici e metafisarie semplici (RC1), fratture del radio articolari semplici e metafisarie complesse (RC2) e fratture del radio articolari pluriframmentarie (RC3).

Fernandez ha elaborato una classificazione basata sul meccanismo di lesione più che sulle caratteristiche radiografiche della frattura, ritenendo che la forza e la direzione dell'agente traumatico siano in relazione con le lesioni associate come le lesioni dei legamenti del polso e le sublussazioni delle ossa carpali (Koshkin et al, 2008). La comprensione del meccanismo delle fratture dell'epifisi distale del radio riveste pertanto grande importanza per un corretto approccio terapeutico globale (Andersen et al, 1996). La classificazione di Fernandez riconosce cinque gruppi principali: fratture da flessione (tipo I), fratture da taglio della superficie articolare (tipo II), fratture da compressione della superficie articolare (tipo III), fratture da avulsione (tipo IV) e fratture combinate (tipo V) (Garbuz et al, 2002).

Le fratture da flessione si verificano quando una caduta sul palmo della mano trasmette a livello di una delle corticali della metafisi del radio una violenta tensione che ne provoca il cedimento, mentre sul lato opposto si realizza una compressione in grado di produrre, oltre all'interruzione della corticale, una comminuzione di grado variabile. Se la caduta avviene ad avambraccio pronato, la compressione agisce sulla corticale dorsale e si realizza una frattura di Colles; se la caduta avviene all'indietro con avambraccio supinato e gomito esteso, la compressione interessa la corticale volare e si realizza una frattura di Goyrand (Jupiter et al, 1997). Le fratture da

taglio si realizzano in genere in pazienti giovani quando un meccanismo simile a quello descritto per la frattura di Goyrand determina il distacco del margine anteriore della superficie articolare del radio provocando una frattura di Barton inversa (Wulf et al, 2007). Le fratture da compressione conseguono in genere a traumi ad alta energia, che trasmettono violente sollecitazioni assiali sulla superficie articolare del radio, provocando fratture articolari complete con grado di comminuzione proporzionale alla forza applicata (Liverneaux, 2018). Le fratture da avulsione derivano dalla trazione esercitata dai legamenti a livello delle inserzioni al radio e possono associarsi a lussazioni perilunari del carpo o radio-carpiche; esse consistono in fratture articolari parziali (Fernandez, 2001).

c. Fratture diafisarie dell'avambraccio

La classificazione più utilizzata per le fratture diafisarie dell'avambraccio è quella proposta dall'AO (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen), che individua tre grandi categorie: le fratture con rima di frattura semplice (tipo A), le fratture pluriframmentarie per la presenza di un terzo frammento a cuneo (tipo B) e le fratture complesse in quanto bifocali o comminute (tipo C) (*Figura 3*).

Le fratture di tipo A comprendono i gruppi: frattura semplice isolata dell'ulna (UA), frattura semplice isolata del radio (RA) e la frattura semplice biossea (RUA3).

Le fratture semplici isolate dell'ulna possono avere una rima di frattura spiroide (UA1), obliqua (UA2) o trasversa (UA3). Le lesioni isolate dell'ulna sono anche note come fratture da manganello, in quanto sono comunemente osservate in difesa contro un trauma chiuso. Generalmente queste fratture semplici isolate dell'ulna si verificano nel terzo medio della diafisi dell'ulna dove presenta una corticale spessa, uno stretto canale midollare ed una forma approssimativamente triangolare in sezione. Queste fratture ulnari possono presentarsi con uno spostamento minimo: se

non viene riconosciuto c'è un elevato rischio di ritardi di consolidazione o pseudoartrosi (Sarmiento et al, 1998).

Le fratture semplici isolate del radio possono avere una rima di frattura spiroide (RA1), obliqua (RA2) o trasversa (RA3). La frattura della diafisi radiale, in assenza di alcun coinvolgimento ulnare, è una lesione insolita; in questo caso è fondamentale escludere la presenza di una lesione di Galeazzi (Reilly, 2002).

Le fratture di tipo B comprendono i gruppi: frattura pluriframmentaria isolata dell'ulna (UB2), frattura pluriframmentaria isolata del radio (RB2) e la frattura biossea con terzo frammento sul radio e/o sull'ulna.

Le fratture di tipo C comprendono i gruppi: fratture complesse dell'ulna indipendentemente dall'integrità o meno del radio (UC2), fratture complesse del radio indipendentemente dall'integrità o meno dell'ulna (RC2) e fratture complesse del radio e dell'ulna.

Le fratture isolate dell'ulna di tipo A e di tipo B, se associate alla dislocazione del capitello radiale al gomito, prendono il nome di lesione di Monteggia (Eglseder et al, 2006). La classificazione più utilizzata è quella di Bado che riconosce quattro tipi in base alla lesione del radio: lussazione anteriore del capitello radiale (tipo I), lussazione posteriore del capitello radiale (tipo II), lussazione antero-laterale del capitello radiale (tipo III), lussazione del capitello radiale associata a frattura della diafisi radiale (tipo IV) (Rehim et al, 2014). È importante riconoscere precocemente la lesione di Monteggia in quanto molto spesso sono presenti complicanze e il paziente deve essere informato del rischio di deficit funzionali residui e della necessità di ulteriori interventi chirurgici (Korner et al, 2004).

Le fratture isolate del radio di tipo A e di tipo B, se associate alla dislocazione della testa dell'ulna al polso, prendono il nome di lesione di Galeazzi. Molto spesso la

dislocazione della testa dell'ulna è posteriore, raramente è anteriore (Giannoulis et al, 2007. Maculé et al, 1994).

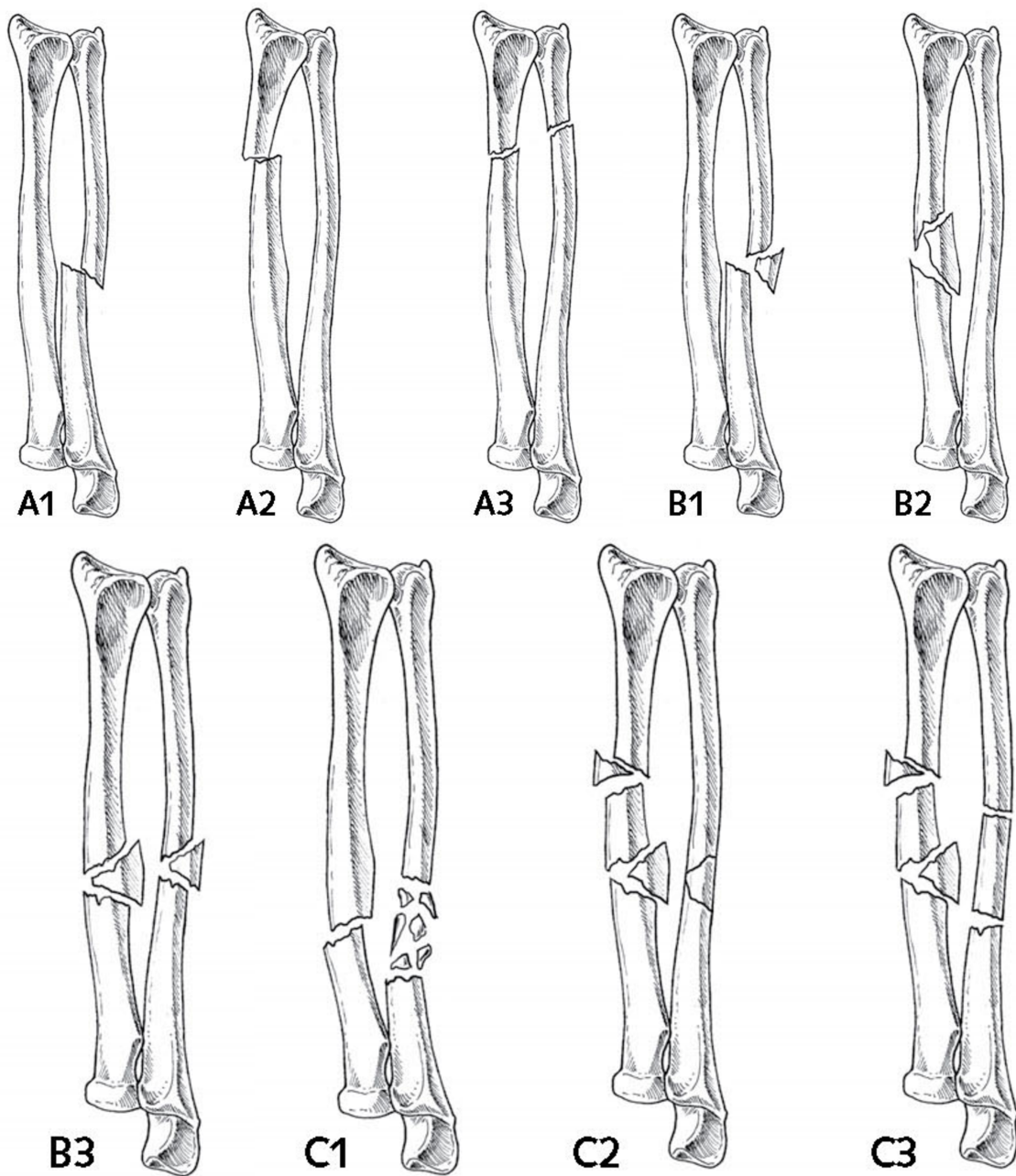


Figura 3. Classificazione AO delle fratture diafisarie dell'avambraccio (*Grassi et al, 2012*)

Fratture biossee dell'avambraccio

1. Generalità

Le fratture biossee dell'avambraccio sono fratture diafisarie che interessano contemporaneamente sia l'ulna che il radio. Secondo la documentazione AO queste rappresentano il 7% di tutte le fratture (Rüedi et al, 2000). Essendo i traumi ad alta energia uno dei meccanismi di danno più frequenti, il 27% delle fratture biossee dell'avambraccio sono esposte e circa il 18% presentano delle lesioni associate (lesione di Essex-Lopresti, lesione di Monteggia o lesione di Galeazzi) (Jupiter et al, 2008).

Le fratture biossee dell'avambraccio seguono la classificazione proposta dall'AO (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen) vista nel capitolo 1.4.c; quando entrambe le ossa sono fratturate, vengono classificate indipendentemente in base alla morfologia di ciascuna frattura. Questo vuol dire che una frattura biossea con rima semplice trasversa ulnare e rima semplice trasversa radiale verrà classificata RA3 UA3, mentre una frattura biossea con frammento a cuneo ulnare e comminuta sul versante radiale sarà classificata RC2 UB2.

Le fratture diafisarie dell'avambraccio devono essere definite anche in base all'altezza della rima di frattura; questo ci permette di definire approssimativamente la scomposizione dei frammenti ossei. Le due diafisi ossee sono state divise in terzi, con il terzo prossimale del radio definito dalla tuberosità all'inizio dell'arco radiale. Il terzo medio si estende distalmente fino al punto in cui l'arco radiale si raddrizza, mentre il terzo distale continua fino alla metafisi. L'ulna invece è dritta quindi più facilmente suddivisa in terzi uguali (Reilly, 2002). Le fratture del terzo prossimale vengono indicate dalla classificazione AO con la lettera (a), quelle del terzo medio con (b) e quelle del terzo distale con (c).

2. Meccanismo di lesione

Il meccanismo di lesione può essere diretto o indiretto. Un trauma diretto si realizza quando un corpo contundente colpisce l'avambraccio agendo perpendicolarmente al suo asse longitudinale e causando in genere una lesione limitata all'osso. Se invece il trauma è determinato da una violenta sollecitazione assiale applicata all'avambraccio attraverso la mano, come accade nel caso di cadute sul polso, si possono associare lesioni delle articolazioni radio-ulnari distali e della membrana interossea (Graham et al, 1998). Le fratture con rima di frattura semplice (tipo A) o a cuneo (tipo B) sono spesso il risultato di meccanismi indiretti, come una caduta sulla mano per esempio durante attività sportive. Le fratture complesse (tipo C) invece sono più rare e sono il risultato di traumi ad alta energia, come incidenti automobilistici, cadute dall'alto, lesioni d'arma da fuoco (Patel et al, 2015). Data l'entità del trauma, le fratture complesse sono maggiormente associate a significativi danni ai tessuti molli e dovrebbero avere la priorità.

La scomposizione rotatoria dei frammenti del radio varia in base alla sede della frattura e dipende dall'azione dei muscoli dell'avambraccio (*Figura 4*). Infatti, le fratture del radio al terzo superiore della diafisi determinano la massima scomposizione in quanto sul frammento prossimale vengono ad agire i due muscoli supinatori, e sul frammento distale i due muscoli pronatori; pertanto il frammento prossimale sarà

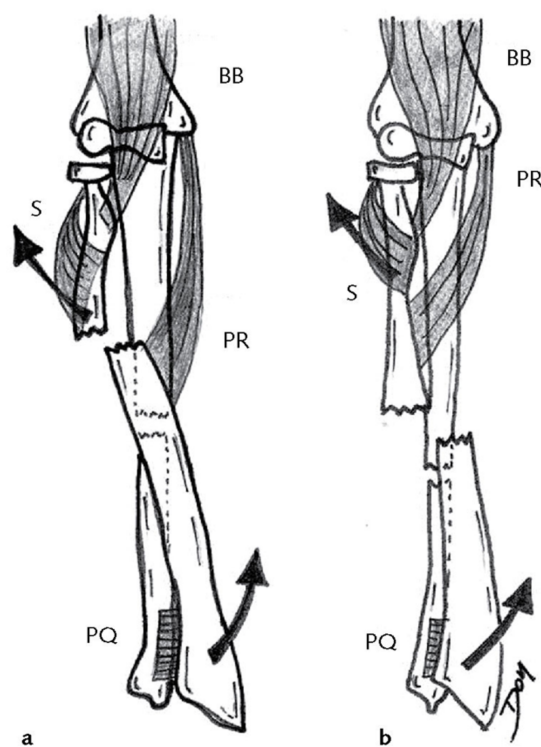


Figura 4. Meccanismo di scomposizione del radio nelle fratture dell'avambraccio (Grassi et al, 2012)

in massima supinazione e il frammento distale in massima pronazione. Nelle fratture che interessano la diafisi del radio al terzo medio, distalmente all'inserzione del pronatore rotondo, la supinazione del frammento prossimale sarà limitata dall'azione del pronatore rotondo, mentre la pronazione del frammento distale sarà parziale in quanto dovuta all'azione del solo pronatore quadrato; nel complesso la deformità rotatoria del radio sarà all'incirca dimezzata in confronto al caso precedente (Grassi et al, 2012).

3. Diagnosi e management in acuto

La diagnosi di frattura ossea dell'avambraccio può essere ovvia data la grave deformità dell'arto che si associa a dolore ed impotenza funzionale. Tuttavia, il planning chirurgico richiede un'anamnesi completa, un attento esame obiettivo e lo studio radiologico dell'arto.

L'anamnesi ci permette di capire il meccanismo del danno ed eventuali lesioni associate; per esempio nei traumi da schiacciamento sono più frequenti lesioni neurovascolari.

Durante l'esame obiettivo deve essere controllato:

- lo stato circolatorio dell'arto, quindi il polso radiale, ulnare e la perfusione della mano;
- lo stato neurologico periferico per evidenziare eventuali lesioni ai nervi;
- lo stato della cute, valutando l'integrità per escludere fratture esposte;
- la presenza di parestesie e forte dolore per escludere una sindrome compartimentale.

I pazienti con fratture esposte devono ricevere antibiotici per via endovenosa e, se necessario, profilassi antitetanica a seconda della storia vaccinale del paziente. La

gestione in acuto prevede la disinfezione e copertura delle ferite con medicazioni sterili, in vista del débridement chirurgico.

Per quanto riguarda lo studio radiologico, le radiografie convenzionali dell'avambraccio su due piani (antero-posteriore e latero-laterale) sono generalmente sufficienti. Devono includere il gomito e il polso (ma non necessariamente nella stessa immagine) per escludere le fratture articolari associate o lesioni specifiche, come la lesione di Monteggia o Galeazzi (Moore et al, 1985. Ring et al, 1998). Raramente sono necessarie ulteriori immagini mediante TC o risonanza magnetica; questo imaging avanzato è generalmente riservato per la valutazione di lesioni patologiche o fratture insolitamente lunghe con estensione intra-articolare (Graham et al, 1998). È stato ideato un protocollo radiografico (Schemitsch et al, 1992) che può essere utilizzato per misurare la posizione e l'entità dell'arco radiale, elementi cruciali della

geometria dell'avambraccio e determinanti dello spazio interosseo. Il braccio è posizionato in una posizione a "rotazione-zero", con la spalla abdotta a 90°, il gomito flesso a 90° e l'avambraccio in rotazione neutrale. In una radiografia antero-posteriore, viene tracciata una linea dalla tuberosità radiale al margine ulnare del radio distale; da questa linea, viene tratteggiata una perpendicolare dal radio nel punto in cui lo spazio interosseo risulta più ampio, e viene misurata (Figura 5). In rari casi, quando l'anatomia ossea non può essere ripristinata, come in caso di gravi fratture comminute, possono essere

utili le radiografie dell'avambraccio controlaterale. Ciò contribuirà a pianificare il ripristino delle



Figura 5. Radiografia a rotazione zero dell'avambraccio (Schulte et al, 2014)

lunghezze radiali e ulnari, mantenendo quindi le corrette relazioni articolari nei casi in cui è difficile ottenere una riduzione anatomica.

Sia le fratture chiuse che esposte sono stabilizzate provvisoriamente con una stecca che arriva sopra il gomito (Schulte et al, 2014).

4. Terapia

a. Considerazioni generali

L'arco radiale e le relazioni tra le articolazioni radio-ulnari prossimale e distale formano un'unità funzionale tridimensionale complessa. Anche piccole deformità causate da una viziosa consolidazione della frattura possono comportare un danno funzionale significativo (Schemitsch et al, 1992). Dato che è fondamentale ottenere un restauro anatomico, qualsiasi frattura diafisaria dell'avambraccio è considerata come una frattura articolare. Per questa ragione, il trattamento delle fratture biossee dell'avambraccio negli adulti è generalmente chirurgico (Rüedi et al, 2000). Infatti, questo deve mirare alla riduzione anatomica con un ripristino della normale lunghezza delle ossa, un allineamento assiale e rotazionale in modo da garantire la completa pronazione e supinazione. È necessario porre particolare attenzione al ripristino della curvatura fisiologica del radio. Nondimeno, lo spazio interosseo può essere considerato esso stesso come un'articolazione che consente la rotazione del radio attorno all'ulna; il ripristino anatomico di questa porzione, che è cruciale per un efficace posizionamento della mano nello spazio, è tra gli obiettivi principali del trattamento (Jupiter et al, 2008).

In considerazione del fatto che le fratture biossee sono instabili, il trattamento ortopedico incruento trova rare indicazioni. Esso è causa di pseudoartrosi o viziosa consolidazione in una percentuale di casi vicina al 30%; inoltre, l'immobilizzazione per almeno tre mesi, necessaria alla consolidazione, comporta un rischio elevato di

rigidità secondarie (Grassi et al, 2012). Il trattamento non chirurgico può essere necessario nei pazienti che non possono tollerare l'anestesia o i politraumatizzati. In questi ultimi, la fissazione definitiva delle fratture dovrà essere ritardata fino al raggiungimento di una stabilizzazione emodinamica; nel frattempo, l'avambraccio e il gomito devono essere immobilizzati in una stecca. Il trattamento ortopedico incruento potrebbe essere preso in considerazione in caso di frattura biossea composta, molto rara nell'adulto; in questo caso le lesioni possono essere gestite con una gessatura ma devono essere monitorate attentamente per evidenziare spostamenti. Nessuno studio ha confrontato la gestione chirurgica e non chirurgica per le fratture biossee dell'avambraccio non dislocate (Schulte et al, 2014).

Sono state proposte varie soluzioni chirurgiche per gestire le fratture biossee dell'avambraccio. La riduzione a cielo aperto e sintesi interna (ORIF) con placca e viti, chiodi endomidollari (IM) e fissazione esterna sono indicate in diverse condizioni. Considerando la probabilità di perdita di funzione dopo queste fratture, la ORIF con placca e viti rappresenta il gold standard della terapia e viene utilizzata pertanto per gestire la maggior parte delle fratture biossee dell'avambraccio (Perrin, 2002). I chiodi endomidollari sono caratterizzati da una distribuzione dello stress che facilita la formazione del callo osseo secondario in caso di fratture comminute (Lil et al, 2012). Al contrario, la fissazione esterna è indicata in caso di gravi lesioni dei tessuti molli o fratture esposte.

Per quanto riguarda il timing chirurgico, come la maggior parte delle fratture diafisarie dello scheletro umano, le fratture dell'avambraccio vengono eseguite al meglio entro 6-8 ore dall'incidente, comprese le fratture esposte. Una fissazione ritardata sembrerebbe aumentare il rischio di sinostosi radio-ulnare (Vince et al, 1987. Oestern, 1983).

Le fratture esposte di grado I secondo la classificazione di Gustilo-Anderson sono trattate secondo i principi delle fratture chiuse con ORIF. Anche le fratture esposte di grado superiore al primo possono essere trattate con fissazione interna, con risultati paragonabili alle fratture chiuse (Chapman et al, 1989. Moed et al, 1986), se viene effettuato un accurato débridement e può essere garantita la copertura da parte dei tessuti molli. È in discussione la necessità di un immediato débridement per le fratture esposte (Werner et al, 2008). Tecniche differenti dalla ORIF devono essere prese in considerazione quando non è possibile ottenere la copertura della placca a causa della perdita dei tessuti molli (IIIB e IIIC secondo Gustilo-Anderson) (Müller et al, 1991); si raccomanda in questo caso la fissazione esterna temporanea. Poiché spesso non è possibile ottenere il consolidamento delle fratture con il solo fissatore esterno (Wild et al, 1982), e la pseudoartrosi e la viziosa consolidazione sono complicanze frequenti con questa tecnica (Josten et al, 1989), sono indicate procedure sequenziali con fissazione secondaria precoce di una placca, solitamente combinata con un innesto. Se la procedura di conversione può essere eseguita entro tre settimane dal trattamento iniziale, non è necessario un intervallo libero senza impianto. Nei difetti dei tessuti molli di grandi dimensioni i lembi microvascolari potrebbero rivelarsi utili.

Le fratture biossee con sindrome compartimentale sono considerate emergenze chirurgiche e devono essere trattate con fasciotomie immediate (Schulte et al, 2014).

b. Biomeccanica della fissazione dell'avambraccio

I principi stabiliti 50 anni fa dal gruppo Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO) sono stati migliorati all'attenzione della teoria dello strain. La teoria dello strain è concentrata all'ottimizzazione delle relazioni stress-deformazione nel sito di

frattura. La fissazione rigida con placche in compressione crea un ambiente di deformazione vicino allo zero, causando la formazione di nuovo osso attraverso la guarigione diretta con callo esterno scarso o assente. Sebbene molte fratture biossee semplici dell'avambraccio possano guarire con questo metodo, la teoria dello strain suggerisce che le fratture gravemente comminute sono gestite al meglio con una fissazione elastica. Lo strain è il grado di deformazione di un materiale sottoposto a un determinato stress, ovvero la variazione della lunghezza di una frattura sotto carico divisa per la lunghezza di riposo della frattura. La deformazione ottimale (dal 2% al 10%) è sufficiente per indurre una guarigione indiretta attraverso la formazione del callo senza consentire il riassorbimento osseo (Perren, 2002).

Il placcaggio in compressione della diafisi radiale e ulnare è appropriato per la gestione di semplici pattern di frattura. L'utilizzo di viti bicorticali e la compressione delle estremità della frattura, consentono la creazione di un ambiente di deformazione quasi zero, favorente alla guarigione ossea diretta. Secondo i principi AO, le placche in compressione sono biomeccanicamente più efficaci se posizionate sul lato di tensione del radio e dell'ulna (AO Foundation, 2014). Sebbene il lato di tensione dipenda da come sono caricate le ossa, la superficie dorsale delle ossa dell'avambraccio può essere generalmente considerata come il lato della tensione, data la leggera concavità volare del radio e dell'ulna. Il placcaggio sul lato della tensione può essere tuttavia sacrificato per consentire alla placca di contornare meglio l'osso e / o per fornire una copertura ottimale dei tessuti molli (Means et al, 2010. AO Foundation, 2014). Storicamente, sono state utilizzate placche in compressione da 4,5 mm per la fissazione di fratture diafisarie del terzo mediale (Anderson et al, 1975) ma l'uso di queste placche non è più raccomandato. Attualmente sono utilizzate placche da 3,5 mm; possono essere più facilmente coperte dal tessuto molle e richiedono fori per viti più piccoli che hanno meno probabilità di propagare le linee

di frattura in caso di rimozione del dispositivo (Chapman et al, 1989. Means et al, 2010). Possono essere utilizzate altre placche in casi selezionati: le linee di frattura oblique lunghe possono essere fissate con il tipo di placche utilizzate per la ricostruzione pelvica o con placche presagomate rigide (Means et al, 2010).

A prescindere dalla scelta della placca, la compressione di una linea di frattura obliqua può essere rafforzata con il posizionamento di una vite per compressione interframmentaria attraverso la placca. Le viti per compressione interframmentaria posizionate all'esterno della placca non riescono a creare una compressione ulteriore, ma solo a neutralizzare il carico (AO Foundation, 2014). Per ridurre al minimo la deformazione, si devono utilizzare tre viti bicorticali prossimali e tre distali alla frattura. Posizionare le viti alle estremità obliquamente, anziché perpendicolarmente alla placca, aumenta la resistenza della struttura (Stoffel et al, 2004).

Le fratture comminute dovrebbero essere affrontate con l'intenzione di ottimizzare piuttosto che minimizzare la deformazione. Un ambiente di deformazione dal 2% al 10%, che favorisce la formazione del callo, può essere creato con una placca a ponte; la lunghezza della placca permette di controllare la rigidità, un minore numero di viti che sono più distanziate, l'uso di materiali per impianti flessibili (ad es. titanio) o una steccatura interna (ad es. placca bloccata) (Perren, 2002. Stoffel et al, 2003. Sanders et al, 2002). È stato dimostrato che l'utilizzo di viti non angolari all'estremità di una placca con viti angolari può ridurre sostanzialmente lo stress all'estremità della placca stessa (Bottlang et al, 2009). La struttura risultante è quindi più resistente ai carichi in flessione. Le placche bloccate hanno l'ulteriore vantaggio di stare lontano dalla superficie dell'osso in guarigione. Le moderne placche in compressione (ad es. placche in compressione dinamiche a contatto limitato) sono progettate allo stesso modo per evitare un'eccessiva compromissione del periostio

(Perren, 2002). Le placche bloccate possono anche fornire una migliore fissazione dell'osso osteoporotico.

L'inchiodamento endomidollare (IM) può essere utilizzato per creare un ambiente di deformazione controllato. Similmente alla placca a ponte, i chiodi endomidollari funzionano come dispositivi di condivisione del carico e possono preservare meglio l'afflusso di sangue periostale, come le placche in compressione a contatto limitato. La chiodatura endomidollare comporta anche un minor stress sull'osso causato dai fori per le viti che si viene a creare in caso di rimozione del dispositivo (Means et al, 2010).

c. ORIF

In base alla preferenza del chirurgo varia il posizionamento del paziente. Il posizionamento supino consente un facile accesso all'avambraccio volare e, con il gomito flesso, all'ulna; il posizionamento prono consente l'accesso avambraccio dorsale e all'ulna (Jupiter et al, 2008). L'uso di un tourniquet è funzionale ma non dovrebbe essere una routine senza un'attenta valutazione di ogni singolo caso; dovrebbe essere posizionato il più in alto possibile sul braccio nel caso in cui l'incisione debba essere estesa prossimalmente. Se è previsto l'innesto osseo, viene preparata una cresta iliaca. Se durante l'operazione è necessaria solo una piccola quantità, un'altra possibilità è il condilo laterale dell'omero.

Dopo che sono state adeguatamente esposte, le ossa fratturate vengono guidate in un allineamento anatomico e trattenute in sede con pinze o fili di Kirschner. Lo stripping periostale dovrebbe essere limitato al minimo (circa 1 mm su ciascun frammento principale) e lo stripping circonferenziale deve essere evitato. Una semplice frattura trasversale può essere riallineata tirando ogni frammento principale con l'aiuto di due piccole pinze di riduzione; i frammenti devono essere correttamente

allineati per ripristinare la rotazione completa. In caso di rime di frattura più complesse la riduzione può essere anche eseguita fissando una placca sul frammento principale e posizionando una vite per compressione interframmentaria nell'altro frammento. Nelle fratture comminute di tipo C, può essere utile una distrazione preliminare della frattura mediante un fissatore esterno unilaterale (Rüedi et al, 2000). Nelle fratture biossee dell'avambraccio la riduzione viene inizialmente eseguita sull'osso che presenta la rima di frattura più semplice; la riduzione e successiva fissazione provvisoria della frattura con meno comminuzione ripristina la lunghezza e può facilitare la riduzione dell'altro osso (Jupiter et al, 2008). Quando nessuna delle due fratture è complessa, generalmente si inizia con la riduzione del radio (Sculite et al, 2014).

Ridotto il primo osso, la placca viene fissata provvisoriamente con una / due viti o una pinza di riduzione. L'altro osso viene esposto a sua volta e ridotto; se la riduzione risulta impossibile, la placca sul primo osso viene rimossa o allentata e il secondo osso viene quindi ridotto. Dopo averlo fissato, il chirurgo torna sulla prima placca per completare l'osteosintesi. La rotazione dell'avambraccio deve essere controllata regolarmente durante la procedura (Saragaglia et al, 1991).

Secondo la tecnica AO, le fratture trasversali e oblique corte della porzione mediale della diafisi dell'avambraccio devono essere trattate con placche in compressione da 3,5 mm (*Figura 6*) e viti per compressione interframmentaria se necessarie (AO Foundation, 2014). Questo spesso comporta l'applicazione di placche dritte su una superficie curva, quale quella del radio; pertanto, si dovrebbe evitare la riduzione dell'osso sulla placca e si dovrebbe prevedere una leggera sporgenza delle estremità della placca ai lati del radio. La fissazione di fratture oblique lunghe richiede il modellamento di placche in compressione standard, l'uso di placche simili a quelle utilizzate nella ricostruzione pelvica o l'uso di placche presagomate (Means et al,

2010). Indipendentemente dalla scelta delle placche, gli obiettivi della fissazione della frattura sono gli stessi: opposizione corticale, compressione e ripristino della geometria dell'avambraccio (Schulte et al, 2014).



Figura 6. Frattura biossea trattata con placca in compressione con tre viti bicorticali per ciascun lato di frattura (Schulte et al, 2014)

Le fratture comminute vengono affrontate con l'intenzione di ricreare la geometria nativa dell'avambraccio in un ambiente controllato piuttosto che a deformazione zero. Ciò si ottiene con placca a ponte da 3,5 mm e / o una placca bloccata dopo che la lunghezza, l'allineamento e l'arco radiale sono ripristinati (Perren, 2002). Il riferimento alle radiografie dell'arto controlaterale può aiutare il chirurgo a ricreare l'anatomia nativa usando un distrattore e fissando prima l'osso con meno comminuzione; questo rende l'avambraccio rigido e può determinare una riduzione indiretta dell'altro osso attraverso la membrana interossea (Jupiter et al, 2008. Means et al, 2010). Un fluoroscopio può essere utilizzato intraoperatoriamente per

rappresentare l'intero avambraccio e garantire un corretto allineamento rotazionale del radio; su una radiografia antero-posteriore del radio in supinazione, la tuberosità bicipitale e lo stiloide radiale devono essere rivolti in direzioni opposte (Means et al, 2010).

In alternativa alla fissazione con placche da 3,5 mm, le fratture distali dell'ulna possono essere trattate con placche un terzo tubolari applicate in una configurazione ortogonale 90-90. Queste brevi placche un terzo tubolari o altre placche sottili possono essere usate anche come coadiuvanti su placche più rigide per la fissazione provvisoria o per controllare piccoli frammenti di frattura (Schemitsch et al, 1992).

Il posizionamento delle placche sul lato dorsale (ovvero il lato di tensione) delle ossa dell'avambraccio è da un punto di vista biomeccanico superiore; tuttavia, il posizionamento sulla superficie volare del radio e dell'ulna può offrire una migliore allocazione delle placche e una migliore copertura dei tessuti molli (Jupiter et al, 2008. Means et al, 2010. AO Foundation, 2014). C'è anche una certa flessibilità nel numero di viti utilizzate. Uno studio ha descritto l'uso di sole due viti bicorticali su ciascun lato della frattura; gli autori hanno riportato risultati paragonabili a quelli ottenuti con la fissazione con tre viti bicorticali (Lindvall et al, 2006). In teoria, un minor numero di fori per le viti potrebbe ridurre il rischio di frattura in caso di rimozione del dispositivo (Means et al, 2010).

Una volta fissate entrambe le ossa, l'allineamento viene controllato radiograficamente e clinicamente con l'avambraccio completamente pronato e supinato. Le inserzioni dei muscoli pronatore rotondo e pronatore quadrato possono quindi essere riparate. La fascia di solito non è suturata e la cute viene chiusa se consentito dal gonfiore e dalla perdita di tessuto molle (Jupiter et al, 2008).

d. Innesto osseo

Le indicazioni all'uso dell'innesto osseo nelle fratture biossee dell'avambraccio non sono bene definite (Schulte et al, 2014). In passato la necessità dell'uso di un innesto osseo potrebbe essere stata sopravvalutata. Uno studio raccomandava l'applicazione di un innesto osseo dalla cresta iliaca in fratture con interruzione della corticale ossea maggiore di un terzo della circonferenza o quando la stabilità non poteva essere garantita (Anderson et al, 1975. Anderson, 1993); un altro studio ha riportato risultati positivi con un protocollo simile (Chapman et al, 1989). Tuttavia, nessuno di questi studi ha comparato direttamente le fratture comminute trattate con e senza l'utilizzo di un innesto osseo. Wright ha riesaminato in maniera retrospettiva 101 fratture dell'avambraccio che soddisfacevano i criteri degli studi di Anderson e Chapman per l'utilizzo dell'innesto osseo ma che non sono state trattate con innesti; queste fratture hanno riportato un tasso di unione del 98% (Wright et al, 1997), risultato favorevole se comparato a quelli degli studi di Anderson e Chapman. Lo studio di Wei ha confrontato due gruppi di pazienti con fratture comminute dell'avambraccio: un gruppo è stato trattato con l'utilizzo di un innesto osseo mentre l'altro non ha ricevuto l'innesto; tutti i pazienti di entrambi i gruppi sono andati in contro ad unione della frattura (Wei et al, 1999).

Anche se mancano delle indicazioni precise, l'uso di un innesto osseo dalla cresta iliaca risulta logico nei casi con vera perdita di osso (Means et al, 2010).

e. Inchiodamento endomidollare

L'inchiodamento endomidollare nelle fratture diafisarie di radio e ulna nell'adulto è raramente indicato e il suo ruolo deve essere ancora chiarito. In un contesto scheletrico immaturo dove vi è una certa capacità di rimodellamento, può essere ripristinata approssimativamente la morfologia anatomica anche senza una riduzione a

cielo aperto; per questo motivo, l'utilizzo di chiodi endomidollari flessibili è ampiamente accettato nelle fratture pediatriche dell'avambraccio (Lundy et al, 1999).

La fissazione endomidollare delle fratture biossee dell'avambraccio offre diversi vantaggi teorici rispetto all'ORIF con placca: incisioni più piccole, si può evitare di danneggiare la cute sovrastante, nessun stripping periostale, minore rischio di impingement interno, minore rischio di rifratture, promozione della guarigione con l'ale-saggio del canale midollare (Chapman, 1980) e la possibilità di impiantare un dispositivo che permette la distribuzione del carico in fratture comminute suscettibili (Hong et al, 2006. Jones et al, 2011. Gao et al, 2005).

L'allineamento rotazionale è difficile da controllare con i chiodi endomidollari e spesso sono necessari sistemi di bloccaggio del chiodo stesso con viti. Nonostante i loro vantaggi teorici, i chiodi dell'avambraccio non forniscono compressione e non possono essere utilizzati per indurre una guarigione ossea diretta. Il ripristino della geometria dell'avambraccio, in particolare l'allineamento rotazionale e l'arco radiale, può essere difficile o impossibile con i dispositivi endomidollari. Inoltre, l'inserimento di viti di bloccaggio è associato al rischio di lesioni neurovascolari.

Nell'adulto l'inchiodamento endomidollare delle fratture diafisarie dell'avambraccio è accettabile solo quando la lesione è tale da impedire la riduzione anatomica e l'osteosintesi con placca. Tali circostanze includono lesioni da schiacciamento con grave mutilazione dei tessuti molli, gravi ustioni, lesioni d'arma da fuoco, fratture patologiche e rifrattura dell'ulna dopo la rimozione della placca (Hofmann et al, 2004). I chiodi non possono essere utilizzati in caso di infezione attiva (Van der Reis et al, 1998).

La questione su quale osso affrontare per primo è controversa; da un lato la preferenza potrebbe essere quelle di iniziare con il radio che presenta una forma più complessa, o con l'osso che presenta il pattern di frattura più comminuto al fine di

facilitare la successiva manipolazione dell'avambraccio. D'altra parte, iniziare dalla frattura più semplice o dall'ulna, può aiutare a ripristinare la lunghezza e l'allineamento dell'avambraccio. In alcune circostanze, a seconda della compromissione dei tessuti molli e della morfologia della frattura, è possibile effettuare l'inchiodamento di un osso e la fissazione con placca in compressione dell'altro osso. I chiodi ulnari sono sempre inseriti in maniera anterograda con il punto d'ingresso nell'olecrano; i chiodi radiale sempre per via retrograda tra i tendini estensori vicino al tubercolo di Lister. Alcuni chiodi possono essere piegati per effettuare l'arco radiale. Se la manipolazione a cielo chiuso e il passaggio di un chiodo attraverso il sito della frattura sono impossibili, vengono praticate piccole incisioni per facilitare la riduzione (Schulte et al, 2014).

f. Management post-operatorio

Dopo una fissazione stabile, il trattamento post-operatorio è funzionale. In pazienti inaffidabili può essere utilizzato uno splint palmare o uno splint sugar-tong. L'immobilizzazione gessata può compromettere la gamma di movimenti in un secondo momento e pertanto va evitata. Il braccio operato è elevato. Dopo 24–48 ore è possibile rimuovere il drenaggio. La mobilizzazione attiva di dita, polso e gomito, inclusa la rotazione controllata dell'avambraccio, viene iniziata generalmente il primo giorno post-operatorio. La radiografia sarà effettuata a 6 e 12 settimane dopo l'intervento e dopo 1 anno. Di solito il carico sull'avambraccio è consentito (secondo la valutazione radiografica dopo 6 settimane), circa 8 settimane dopo l'intervento. Va notato che le fratture semplici guariscono senza callo radiopaco. La maggior parte delle attività possono essere riprese dopo 3 mesi dall'intervento, tempo necessario per completare la guarigione clinica. Gli atleti che praticano sport da contatto sono

spesso tenuti ad indossare un tutore fino a 6 mesi dopo l'intervento (Means et al 2010).

La rimozione degli impianti non è obbligatoria ed è raramente indicata in un paziente asintomatico a causa del rischio di complicanze, tra cui lesioni neurovascolari e rifrattura (Bednar et al, 1992. Deluca et al, 1988. Hidaka et al, 1984); la causa della rifrattura è stata attribuita al riassorbimento osseo al di sotto la placca causato dalla necrosi secondaria a disturbi circolatori (Perren et al, 1988. Rosson et al, 1991). Se la rimozione è indicata, deve essere eseguita dopo i primi due anni dalla fissazione interna e solo dopo un'attenta valutazione da parte di un chirurgo esperto. A volte può essere necessario rimuovere solo una placca (di solito quella ulnare, a causa della minore copertura dei tessuti molli). Se si deve rimuovere sia la placca radiale che quella ulnare, si può prendere in considerazione la rimozione a due stadi con un intervallo di almeno 6 mesi (Langkamer et al, 1990).

5. Vie d'accesso

a. Considerazioni generali e anatomia chirurgica

Le fratture biossee dell'avambraccio vengono di solito esposte attraverso due incisioni separate. Il radio può essere esposto con un approccio dorsale (Thompson) o volare (Henry). Questa decisione si basa sulla posizione della frattura e / o sulla presenza di ferite traumatiche che potrebbero limitare l'incisione chirurgica (Schulte et al, 2014). L'ulna è esposta attraverso un'incisione separata lungo il suo margine sottocutaneo per evitare il coinvolgimento della membrana interossea (Sanders et al, 2002). Si è sempre pensato che tentare di ridurre e fissare con ORIF entrambe le ossa con un singolo approccio chirurgico aumentasse il rischio di lesioni nervose e di sinostosi radio-ulnare (Vince et al, 1987. Bauer et al, 1991), tuttavia

recentemente è stato ideato un singolo approccio volare per trattare le fratture bio-see dell'avambraccio (Procaccini et al, 2019).

Per ridurre al minimo le lesioni intraoperatorie, il chirurgo deve conoscere bene l'anatomia dell'avambraccio e deve sentirsi a suo agio con i differenti approcci. L'anatomia dell'avambraccio è complessa, non solo per il numero di muscoli, nervi e strutture vascolari al suo interno, ma anche perché queste strutture cambiano di posizione durante la rotazione dell'avambraccio (Catalano et al, 2011). I muscoli dell'avambraccio sono divisi in 4 compartimenti: il volare superficiale, il volare profondo, l'estensore superficiale e l'estensore profondo. Il nervo mediano passa tra i due capi del pronatore rotondo e attraversa l'avambraccio tra il muscolo flessore superficiale delle dita e il flessore profondo delle dita, accompagnato dall'arteria mediana (Rodríguez-Niedenführ et al, 1999). Successivamente, circa 5 cm sopra il retinacolo dei flessori al polso, il nervo emerge nella mano tra il flessore delle dita superficiale e il flessore radiale del carpo. Con l'approccio chirurgico descritto da Procaccini et al, il nervo mediano e l'arteria mediana non sono a rischio di danno iatrogeno in quanto si trovano al di sotto del muscolo flessore delle dita e protetti al di sopra dai compartimenti muscolari volari profondo e superficiale. Il nervo ulnare entra nel compartimento anteriore dell'avambraccio tra i due capi del flessore ulnare del carpo e giace lungo il bordo ulnare dello stesso muscolo insieme all'arteria ulnare; corre tra il flessore profondo delle dita lateralmente e il flessore ulnare del carpo medialmente. Al polso, passa superficialmente al retinacolo dei flessori ma coperto dal legamento carpale volare. Durante la riduzione e fissazione con placca dell'ulna, il nervo e l'arteria ulnare potrebbero essere danneggiati; pertanto è importante esplorare il nervo ulnare, posizionare e trattenere adeguatamente il divaricatore manuale. Riguardo al nervo interosseo posteriore, deve essere effettuata un'attenta dissezione tra i capi muscolo supinatore durante l'approccio dorsale secondo

Thompson. L'approccio singolo volare non presenta mai lesioni iatrogeni a questo nervo in quanto si trova lontano dal campo chirurgico. In contrasto, l'approccio singolo può danneggiare il ramo superficiale del nervo radiale; questo giace al di sotto del muscolo brachioradiale nella porzione centrale dell'avambraccio e, durante la riduzione e fissazione della placca nel radio, si deve prestare attenzione a ritrarre il nervo radialmente con l'arteria radiale e il muscolo sovrastante. Durante questa fase, il chirurgo deve mostrare all'assistente dove posizionare il divaricatore al fine di evitare lesioni iatrogene (Procaccini et al, 2019).

b. Approccio volare alla diafisi radiale (Henry)

La diafisi radiale è coperta volarmente in direzione prossimo-distale dai muscoli supinatore, pronatore rotondo, flessore superficiale delle dita, flessore lungo del pollice, pronatore quadrato e brachioradiale. L'approccio volare secondo Henry usufruisce del piano internervoso tra il pronatore rotondo e il brachioradiale (Henry, 1970). L'incisione si estende distalmente tra il muscolo flessore radiale del carpo e l'arteria radiale (Figura 7). Per l'esposizione della porzione prossimale del radio, il supinatore deve essere elevato in senso radiale insieme al nervo interosseo posteriore per evitare lesioni nervose. L'avambraccio deve essere completamente supinato mentre il muscolo supinatore è elevato; questo sposta il nervo interosseo posteriore più dorsalmente. La supinazione dell'avambraccio consente anche l'accesso alla superficie volare del radio e aiuta a distinguere i muscoli flessori del lato ulnare dal brachioradiale e dagli estensori del lato radiale. L'inserzione del pronatore rotondo sul radio deve essere parzialmente elevata prima del posizionamento della placca. Distalmente, il flessore lungo del pollice viene elevato radialmente, mentre il pronatore quadrato ulnarmente (Orbay et al, 2001). Un approccio strato

per strato che preserva le origini e le inserzioni muscolari aiuta ad evitare lesioni neurovascolari.

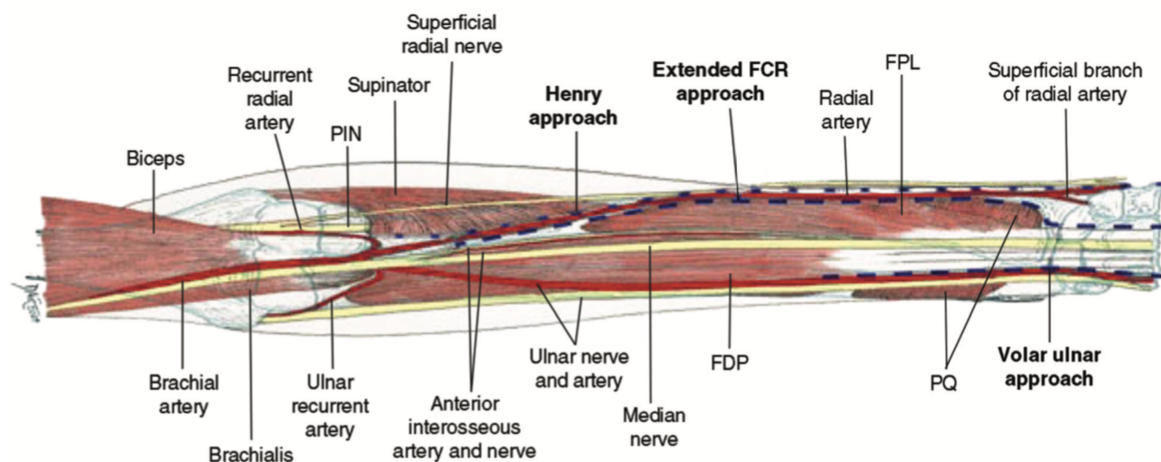


Figura 7. Illustrazione dell'approccio volare secondo Henry (Catalano et al, 2011)

L'approccio volare è l'ideale per la gestione di fratture del terzo medio e distale della diafisi radiale, quando sono pianificate fasciotomie o quando le esposizioni potrebbero essere estese (Jupiter et al, 2008). L'approccio di Henry può essere utilizzato anche per fratture segmentali della diafisi radiale del terzo medio che richiedono la fissazione della placca al terzo prossimale. Man mano che la dissezione procede prossimalmente, diventa più profonda e difficile; a livello dell'inserzione del bicipite può essere necessario applicare clip per vasi prima di dividere rami arteriosi più robusti, compreso il ramo ricorrente radiale. Una lunga placca può inserita al di sotto delle origini e inserzioni dei muscoli flessore lungo del pollice, pronatore rotondo e supinatore per evitarne il completo distacco. Come detto in precedenza, il supinatore deve essere liberato radialmente con l'avambraccio completamente supinato per evitare di danneggiare il nervo interosseo posteriore (Catalano et al, 2011).

Nelle fratture biossee con comminuzione del radio o quando l'orientamento rotazionale è difficile da determinare, il placcaggio ulnare può fornire un punto di riferimento stabile sia per la lunghezza che per la rotazione. È importante seguire i piani anatomici intermuscolari, piuttosto che tentare di navigare immaginando la posizione

del braccio, perché i frammenti prossimali e distali possono essere marcatamente ruotati l'uno dall'altro (Catalano et al, 2011).

c. Approccio dorsale alla diafisi radiale (Thompson)

Per le fratture del terzo prossimale e medio del radio è preferibile usare l'approccio dorsale descritto da Thompson (Thompson, 1918). Il radio è più superficiale a livello dorsale, quindi il chirurgo non lavora in un varco profondo come nell'approccio volare. Inoltre, l'approccio dorsale evita la necessità di dissezione attorno ai vasi radiali ricorrenti e permette un placcaggio prossimale al collo radiale. Il placcaggio con un approccio volare è complicato a causa della posizione della tuberosità radiale e della dissezione profonda richiesta per accedere al collo radiale (Catalano et al, 2011).

La dissezione procede tra gli estensori del polso e delle dita (es. tendini del radiale breve del carpo e dell'estensore comune delle dita) (Figura 8). Le fibre muscolari dell'estensore comune delle dita originano parzialmente dalla fascia del compartimento estensore superficiale a circa 4 cm distalmente dall'epicondilo laterale; queste fibre devono essere rilasciate dalla fascia per continuare la dissezione prossimalmente.

A livello dell'epicondilo laterale, l'estensore radiale breve del carpo si trova in profondità rispetto all'origine dell'estensore comune delle dita e all'origine distale dell'estensore radiale lungo del carpo. Prossimalmente, la dissezione profonda del radio comporta l'elevazione del supinatore nel punto di inserzione e la riflessione ulnare del muscolo. L'avambraccio deve essere pronato durante l'esposizione del radio dorsale in modo che il nervo interosseo posteriore si sposti leggermente più distalmente e radialmente. È necessario prestare molta attenzione durante la manipolazione del supinatore in quando il nervo interosseo posteriore viaggia tra i due

capi del muscolo per entrare nel compartimento dorsale dell'avambraccio. L'identificazione del nervo interosseo posteriore può risultare difficile a causa dell'arborizzazione variabile e del piccolo calibro dei rami nervosi sul bordo del supinatore. La supinazione dell'avambraccio facilita la localizzazione del piano internervoso tra il pronatore rotondo e il supinatore; l'approccio secondo Thompson è difficile da applicare nel paziente con pronazione preoperatoria $<60^\circ$ dal neutrale a causa della limitata capacità di posizionamento intraoperatorio dell'avambraccio (Catalano et al, 2011).

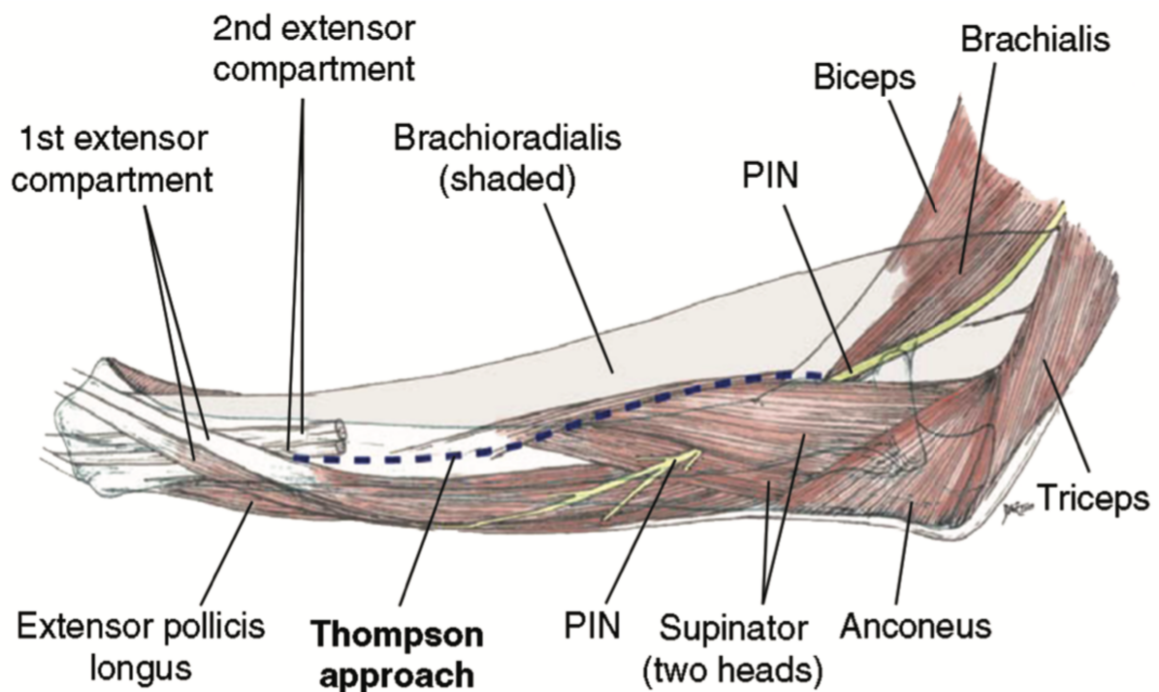


Figura 8. Illustrazione approccio dorsale secondo Thompson (Catalano et al, 2011)

Bisogna identificare e seguire il nervo interosseo posteriore ed eseguire una dissezione attenta distalmente al corpo del supinatore, dove i rami del nervo possono essere facilmente lesionati. Con un dito si può delicatamente palpare il supinatore lungo il radio in direzione prossimale e distale per localizzare il nervo interosseo posteriore e il suo percorso all'interno del muscolo stesso; questa manovra facilita la dissezione sicura del supinatore. È necessario evitare un'eccessiva retrazione

dei rami distali del nervo (ossia verso l'estensore comune delle dita) per prevenire deficit motori post-operatori (Catalano et al, 2011).

d. Approccio alla diafisi ulnare

Di tutte le esposizioni dell'arto superiore, l'esposizione della diafisi ulnare è la più semplice. L'unica importante struttura neurovascolare che attraversa il bordo sottocutaneo dell'ulna è il ramo cutaneo dorsale del nervo ulnare, vicino al processo stiloideo. Il piano internervoso tra i muscoli estensore ulnare del carpo e flessore ulnare del carpo, può essere identificato come uno spesso setto fasciale che è più evidente distalmente. Questo approccio è utilizzato per gestire tutte le fratture dell'ulna ad eccezione delle fratture del processo coronoideo (Catalano et al, 2011). Per le fratture del terzo prossimale dell'ulna, posizioniamo la placca sul versante laterale (radiale); il posizionamento sul versante mediale dell'ulna prossimale richiederebbe la dissezione e protezione del nervo ulnare all'interno e distalmente al tunnel cubitale. Nell'esperienza di Catalano et al, le placche sottocutanee richiedono molto spesso la rimozione. L'una prossimale ha un'angolazione di 4° gradi in valgo; la placca deve essere modellata per accogliere questa curva (Keats et al, 1966). Per le fratture del terzo medio e distale dell'ulna, è preferibile posizionare la placca a livello volare piuttosto che a livello ulnare per prevenire l'irritazione tendinea; raramente è necessario modellare la placca alla diafisi ulnare. Tuttavia, alcuni pazienti presentano una curvatura volare dell'ulna distale, che può impedire la riduzione anatomica se viene utilizzata una placca dritta. In questo scenario, la placca può essere inserita sul versante dorsale o, più prossimalmente, a livello volare (Thompson, 1918).

e. Approccio singolo volare

L'avambraccio del paziente è in posizione supina e l'incisione viene eseguita sul palmare lungo; 1 cm prossimalmente alla piega flessoria del polso e radialmente al palmare lungo. L'incisione si estende prossimalmente e parallelamente a questo tendine, e termina lateralmente al palmare lungo; la lunghezza dipende dalla posizione delle fratture. Dopo aver diviso la fascia, viene esposto l'intervallo tra il flessore radiale del carpo e il palmare lungo. Da una singola incisione, per esporre il radio e l'ulna si utilizzano due finestre: la finestra mediale (ulnare) e la laterale (radiale) (Procaccini et al, 2019). La finestra mediale consente una riduzione diretta del frammento ulnare; quella laterale consente il posizionamento ottimale della placca sul radio (Mares et al, 2012).

Bisogna considerare l'avambraccio come un'unità, compreso il gomito e l'articolazione radio-carpica; le fratture biossee necessitano una ricostruzione anatomica esatta, essenziale per una pronazione e supinazione senza restrizioni (Stuermer et al, 2009). Nonostante la maggior parte delle fratture della diafisi delle ossa lunghe richiedano un'osteosintesi elastica, la frattura dell'avambraccio deve essere fissata con una tecnica rigida, utilizzando placche in compressione con o senza viti per compressione interframmentaria (Hertel et al, 1996). La fissazione rigida con placche in compressione crea un ambiente a deformazione circa zero, causando la guarigione dell'osso per via diretta senza formazione del callo. Sebbene molte fratture semplici biossee dell'avambraccio possano guarire in questo modo, la teoria della deformazione suggerisce che le fratture gravemente comminute sono gestite meglio con una fissazione elastica, anche se potrebbe formarsi un callo osseo a ponte con disturbi nella pronazione e supinazione (Schulte et al, 2014). Esiste una discussione in corso riguardo al posizionamento volare o dorsale della placca; gli studi dimostrano risultati contraddittori riguardo i tassi di complicanze. Tuttavia, sono riportati

più casi di tendiniti in paziente con una placca nel radio dorsale. Inoltre, una placca ulnare posta troppo lontana sulla superficie dorsale può causare un'irritazione del tendine estensore ulnare del carpo (Disseldorp et al, 2016). In contrasto, una placca volare e distale potrebbe determinare un impingement se posizionata troppo radialmente (Hazel et al, 2015). Considerati questi risultati, nell'approccio singolo volare è preferibile applicare le placche nella superficie volare del radio e dell'ulna, garantendo una copertura ottimale dei tessuti molli (Procaccini et al, 2019).

Per accedere alla finestra laterale (radiale) viene aperta la guaina del tendine flessore radiale del carpo e il tendine viene retratto radialmente insieme all'arteria radiale e al brachioradiale con dei divaricatori. Il flessore superficiale delle dita e il flessore lungo del pollice sono retratti ulnarmente prestando molta attenzione per coprire e proteggere il nervo mediano dai tessuti molli. Successivamente, il muscolo pronatore quadrato viene rilasciato dalla diafisi radiale. Con la necessità di esposizione prossimale del radio, il muscolo flessore radiale del carpo può essere retratto ulnarmente e la dissezione continuare tra il pronatore rotondo e il brachioradiale lungo la diafisi radiale. Prossimalmente, l'avambraccio può essere pronato per visualizzare l'inserzione del pronatore rotondo, il quale può essere elevato per raggiungere il pieno accesso al radio in caso di fratture prossimali (Figura 9) (Procaccini et al, 2019).

La finestra mediale (ulnare) utilizza il piano internervoso tra il flessore ulnare del carpo e il flessore superficiale delle dita. Questo intervallo consente un'adequata esposizione ossea e previene la denervazione muscolare. Il flessore superficiale delle dita e il flessore profondo delle dita vengono rilasciati lungo il bordo ulnare e poi elevati radialmente per evitare la denervazione. A questo punto, è obbligatorio raggiungere e isolare il fascio neurovascolare ulnare che appare sotto il flessore ulnare del carpo. Il chirurgo deve mostrare all'assistente come piazzare e

mantenere il divaricatore per evitare lesioni neurovascolari. L'arteria e il nervo ulnare con il flessore ulnare del carpo sono trascinati attentamente verso la superficie ulnare per coprire e proteggere il nervo cutaneo mediale dell'avambraccio (Figura 10) (Procaccini et al, 2019).

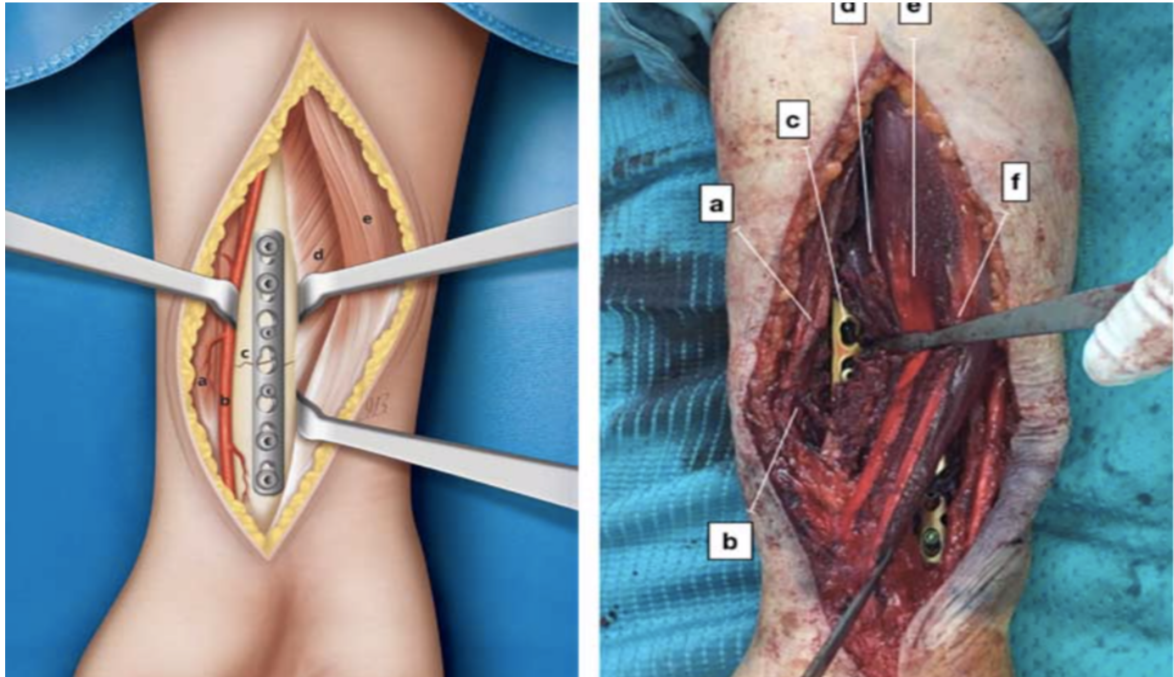


Figura 9. Finestra laterale: a) brachioradiale, b) arteria radiale, c) radio, d) flessore lungo del pollice, e) flessore radiale del carpo, f) palmare lungo (Procaccini et al, 2019)

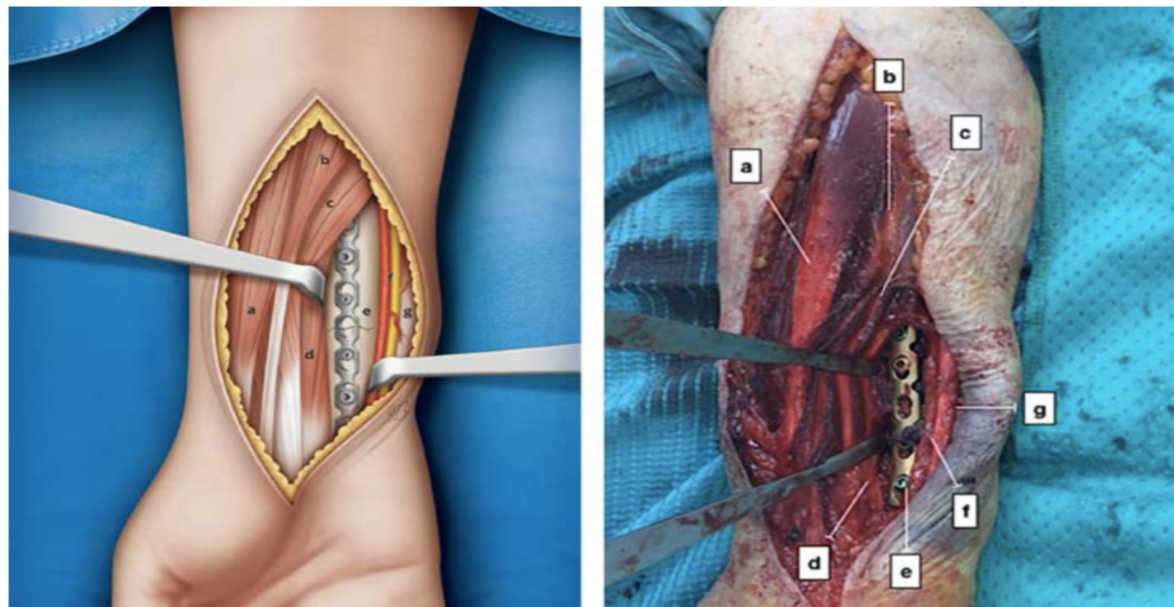


Figura 10. Finestra mediale: a) flessore radiale del carpo, b) palmare lungo, c) flessore superficiale delle dita, d) flessore profondo delle dita, e) ulna, f) arteria e nervo ulnare, g) flessore ulnare del carpo (Procaccini et al, 2019)

Le arterie radiale e ulnare possono essere inavvertitamente danneggiate, rispettivamente durante la finestra laterale e mediale. Tuttavia, il rischio di lesioni dell'arteria radiale riflette teoricamente il rischio dell'approccio volare secondo Henry, viste le similitudini delle due tecniche. Al contrario, il fascio neurovascolare ulnare potrebbe essere ipoteticamente danneggiato dalla fissazione interna dell'ulna; questa rappresenta un'importante differenza con l'approccio classico dell'ulna dove l'arteria e il nervo ulnare sono distanti dal campo operatorio. Una dissezione subperiostale sulla superficiale volare del radio troppo distalmente può potenzialmente interrompere il legamento volare del carpo. Se l'incisione viene eseguita distalmente alla piega flessoria del polso può verificarsi un danno al ramo cutaneo palmare del nervo mediano; la dissezione deve preservare la fascia antibrachiale e non deve estendersi oltre la linea bistiloidea, dove distalmente emerge il ramo cutaneo palmare. Un posizionamento della placca sulla superficie volare distale dell'ulna, troppo radialmente, può causare impingement post-operatorio; tuttavia, la finestra ulnare permette un'ottima visione del campo chirurgico e, con il fluoroscopio, il chirurgo potrà posizionare la placca nel modo migliore. È ben accertato che le infezioni post-operatorie di fratture dell'avambraccio chiuse sia raro (Mih et al, 1994); l'approccio singolo può contribuire a ridurre ulteriormente il tasso d'infezioni dato che le incisioni sono dimezzate (Procaccini et al, 2019).

Questa tecnica è riservata alle fratture biossee dell'avambraccio del terzo medio e distale; le fratture del terzo prossimali sono evitate perché sarebbe necessaria un'eccessiva manipolazione dei tessuti molli. Infatti, deve essere preso in considerazione che, dirigendosi prossimalmente, i tendini lasciano il posto alle masse muscolari dell'avambraccio; pertanto sarà più difficile raggiungere le ossa. Nondimeno, il tempo chirurgico sarà maggiore, così come il rischio di infezioni e di lesioni neurovascolari. Le fratture esposte di grado I, II e IIIA secondo Gustilo-Anderson, che

sono trattate con irrigazione, débridement e seguite dalla ORIF, possono essere approcciate con il singolo approccio volare. Le lesioni di Monteggia, Galeazzi e Essex-Lopresti sono escluse da questa tecnica in quanto le lesioni non sono esclusive delle diafisi radiale e ulnare (Procaccini et al, 2019).

6. Complicanze

a. Complicanze immediate

Tra le complicanze immediate va ricordata l'esposizione che può fare seguito ai traumi ad alta energia, nei quali si possono associare lesioni nervose e vascolari. In questi casi esiste un aumento del rischio di infezione e i tempi di consolidamento sono aumentati per via dello scollamento dei tessuti molli con devascularizzazione dei frammenti della frattura.

Un'altra importante complicanza precoce è rappresentata dalla sindrome compartimentale, che consegue soprattutto a gravi schiacciamenti, a traumi da arma da fuoco o ad alta energia.

Le paralisi secondarie interessano soprattutto il nervo interosseo posteriore e possono essere dovute alla compressione da edema o ematoma al passaggio attraverso il muscolo supinatore. Anche le lesioni iatrogene neurovascolari sono una possibile complicanza; a seconda del tipo di approccio utilizzato cambiano le strutture che possono essere danneggiate (Grassi et al, 2012).

b. Complicanze ritardate

Tra le complicanze ritardate sono da ricordare le rifratture dopo la rimozione della placca, le infezioni post-operatorie, le pseudoartrosi, le viziose consolidazioni e le sinostosi radio-ulnare.

Dopo la fissazione della placca, i pazienti possono richiedere la rimozione dell'impianto: la rifrattura è tra i rischi noti della rimozione del dispositivo. Il tasso di incidenza riportato è tra il 3,5% (Rosson et al, 1991) e il 25% e ci sono evidenze che l'utilizzo di piastre da 3,5 mm ha notevolmente ridotto il tasso di rifrattura (Chapman et al, 1989). Uno studio ha esaminato 175 pazienti trattati con placche in compressione del radio e / o dell'ulna; in 62 pazienti le placche sono state rimosse in media 19 mesi dopo l'intervento. Di questi pazienti, il 58% non ha riportato miglioramenti dopo la rimozione dell'impianto, il 9% ha riportato un peggioramento, mentre nell'11% dei pazienti si sono verificate rifratture. Il tasso di complicanze è risultato significativamente più alto nei pazienti che hanno rimosso l'impianto rispetto al gruppo di pazienti che lo ha lasciato in sede (Mih et al 1994). Diversi autori non raccomandano la rimozione ordinaria delle placche, in particolare nel primo anno dalla fissazione (Jupiter et al, 2008. Means et al, 2010. Deluca et al, 1988. Rumball et al, 1990). La rimozione degli impianti deve essere basata da prove radiografiche di guarigione nel sito di frattura (Means et al, 2010). Oltre ad una rimozione troppo precoce dell'impianto, sono stati indentificati altri fattori di rischio delle rifratture: fratture comminute, fratture esposte, difetti ossei e interventi non adeguati (stripping eccessivo o compressione inadeguata). Dopo la rimozione del dispositivo, si consiglia l'uso di un tutore e la limitazione delle attività per 6 settimane (Rumball et al, 1990. Rosson et al, 1991).

Le infezioni post-operatoria a seguito della fissazione di fratture biossee chiuse ed esposte dell'avambraccio sono rare (Chapman et al, 1989. Anderson et al, 1975. Moed et al, 1968. Mih et al, 1994). In caso di infezione, la rimozione del dispositivo viene eseguita a seconda del caso, con la consapevolezza che la stabilità aiuta la guarigione del tessuto infetto (Jupiter et al, 2008).

I tassi di pseudoartrosi riportati in letteratura variano dal 3,7% (Oestern et al, 1983) al 10,3%. In tutte le pseudoartrosi devono essere escluse infezioni; le pseudoartrosi asettiche possono essere trattate con innesto osseo e / o con una revisione della fissazione. In uno studio, 35 pazienti con pseudoartrosi dell'avambraccio sono stati trattati con placca e innesto di osso spongioso: è stato riportato un tasso di unione a 6 mesi del 100% (Ring et al, 2004). Risultati comparabili sono stati raggiunti con innesti di osso compatto (Moroni et al, 1997. Davey et al, 2002). Un altro studio ha utilizzato chiodi endomidollari bloccati e un innesto osseo dalla cresta iliaca in 15 pazienti con fratture dell'avambraccio non guarite; nonostante è stato riportato un elevato tasso di unione (96%), i chiodi endomidollari non producono risultati superiori a quelli ottenuti con la fissazione con placca (Hong et al, 2006). Uno studio condotto su 15 pazienti con pseudoartrosi infette dell'avambraccio, ha utilizzato un protocollo di trattamento costituito da débridement, fissazione ritardata e antibiotici per via endovenosa. È stato effettuato un innesto osseo tricorticale di cresta iliaca e le ferite sono state lasciate aperte per guarire di seconda intenzione; ad un follow-up medio di 5 anni, tutte le fratture erano guarite e le infezioni debellate (Prasarn et al, 2010).

Le viziose consolidazioni compromettono lo spazio interosseo e possono limitare la rotazione dell'avambraccio. Inoltre, provocano uno squilibrio della muscolatura, che potenzialmente provoca dolore all'articolazione radio-ulnare e perdita della forza di presa (Schemitsch et al, 1992). Chapman et al e Anderson et al non hanno riportato specificatamente nei loro studi i tassi di viziosa consolidazione; tuttavia, i risultati funzionali positivi di questi lavori, suggeriscono che le viziose consolidazioni sintomatiche sono rare. Può essere accettabile una correzione lievemente incompleta dell'allineamento dell'avambraccio; da uno studio su cadaveri emerge che un disallineamento del radio o dell'ulna di circa 10° in qualsiasi direzione può essere ben

tollerato (Matthews et al, 1982). Quando è richiesta la correzione dell'allineamento, possono essere effettuate osteotomie e riposizionamento di placche a secondo dello studio radiografico, TC, e dell'avambraccio controlaterale (Schemitsch et al, 1992).

La sinostosi post-operatoria del radio e dell'ulna è rara con un doppio accesso chirurgico, una riduzione accurata, evitando l'innesto osseo nello spazio interosseo e con una mobilizzazione precoce. La sua incidenza, come riportato in letteratura, varia dal 2,6% (Oestern et al, 1983) al 6,6% (Bauer et al, 1991). Il rischio di questa complicanza può essere maggiore in caso di fratture del terzo prossimale, lesioni della membrana interossea, infezioni, marcato danno ai tessuti molli, chirurgia ritardata e concomitante trauma cranico che porta ad una maggiore propensione alla formazione di osso eterotopico (Garland et al, 1983. Jupiter et al, 2008. Stern et al, 1983). Sono stati proposti diversi metodi per trattare le sinostosi: irradiazione a basse dosi, indometacina, interposizione del muscolo anconeale e di innesto di grasso (Means et al, 2010. Abrams et al, 1993. Jupiter et al, 1998).

Capitolo 2

Lo studio. Frattura biossea avambraccio: singolo accesso versus doppio accesso. Studio prospettico clinico e radiografico

1. Introduzione e obiettivo dello studio

Le fratture biossee dell'avambraccio sono fratture diafisarie che coinvolgono contemporaneamente sia l'ulna che il radio. Secondo la documentazione AO queste rappresentano il 7% di tutte le fratture (Rüedi et al, 2000). Le fratture con rima di frattura semplice (tipo A) o a cuneo (tipo B) sono spesso il risultato di meccanismi di traumi indiretto, mentre le fratture complesse (tipo C) sono il risultato di traumi ad alta energia (Patel et al, 2015). Sono facilmente diagnosticabili vista la evidente deformazione del braccio all'atto ispettivo, tuttavia un completo iter diagnostico preoperatorio prevede due radiografie secondo i due piani ortogonali comprendenti il gomito e il polso per escludere lesioni associate.

Vista l'importanza biomeccanica del complesso anatomico dell'avambraccio, il trattamento delle fratture biossee dell'avambraccio negli adulti è generalmente chirurgico: è necessario porre particolare attenzione al ripristino anatomico dello spazio interosseo e della curvatura fisiologica del radio (Jupiter et al, 2008). Considerando la probabilità di perdita di funzione dopo queste fratture, la riduzione a cielo aperto e sintesi interna (ORIF) con placca e viti rappresenta il gold standard della terapia e viene utilizzata pertanto per gestire la maggior parte delle fratture biossee dell'avambraccio (Perren, 2002). Il placcaggio in compressione della diafisi radiale e ulnare è appropriato per la gestione di semplici pattern di frattura; l'utilizzo di viti bicorticali e la compressione delle estremità della frattura, consentono la creazione di un ambiente di deformazione quasi zero, favorente la guarigione ossea diretta

(AO Foundation, 2014); attualmente sono utilizzate placche da 3,5 mm con sei viti bicorticali, tre prossimali e tre distali alla frattura (Stoffel et al, 2004). Le fratture comminute dovrebbero essere affrontate con l'intenzione di ottimizzare piuttosto che minimizzare la deformazione; un ambiente di deformazione dal 2% al 10%, che favorisce la formazione del callo osseo, può essere creato con l'utilizzo di placche a ponte (Sanders et al, 2002).

Le fratture biossee dell'avambraccio sono sempre state esposte attraverso due incisioni separate. Il radio può essere esposto con un approccio dorsale (Thompson) o volare (Henry); questa decisione si basa sulla posizione della frattura e / o sulla presenza di ferite traumatiche che potrebbero limitare l'incisione chirurgica (Schulte et al, 2014). L'ulna è esposta attraverso un'incisione separata lungo il suo margine sottocutaneo (Sanders et al, 2002). Secondo la letteratura, tentare di approcciare le fratture biossee dell'avambraccio con una singola incisione chirurgica aumenterebbe il rischio di lesioni nervose e di sinostosi radio-ulnare (Vince et al, 1987. Bauer et al, 1991). Recentemente, è stato ideato un singolo approccio volare per esporre le fratture biossee dell'avambraccio (Procaccini et al, 2019).

L'obiettivo del seguente studio è confrontare i risultati anatomici e funzionali tra la tecnica a singolo accesso e quella a doppio accesso.

2. Materiali e metodi

Studio osservazionale retrospettivo: sono stati inclusi i pazienti con frattura biossea di avambraccio sottoposti a intervento chirurgico presso la Clinica di ortopedia e traumatologia dell'Azienda Ospedaliera Universitaria "Ospedali Riuniti" di Ancona dal 1° gennaio 2004 al 31 marzo 2015.

I criteri di inclusione sono stati: pazienti adulti con età maggiore di 14 anni e fratture biossee delle diafisi dell'avambraccio classificate come AO 2.2 A3, B3, C1, C2, C3 (vedi Figura 3).

Sono stati esclusi dallo studio i pazienti con lesioni neurovascolari associate alla frattura, con lesioni di Monteggia, Galeazzi e Essex-Lopresti e le fratture esposte.

Sono stati individuati due gruppi in base all'accesso chirurgico utilizzato: in un gruppo di 27 pazienti le fratture sono state esposte con un doppio accesso chirurgico, un altro gruppo di 20 pazienti con un singolo accesso volare. L'età media era rispettivamente di 40 ± 5 e di 38 ± 5 .

	Doppio accesso	Singolo accesso
Pazienti totali	27	20
Maschio	17	12
Femmina	10	8
Età media $\pm$ DS	40 ± 5	38 ± 5

Tabella 1. Generalità

Tra i due gruppi non si osserva nessuna differenza statisticamente significativa ($P > 0,05$) per numero di pazienti e loro età media.

a. Tecnica chirurgica

Dopo un'attenta valutazione preoperatoria con radiografie in proiezione antero-posteriore e latero-laterale dell'arto interessato, i pazienti hanno subito un'operazione chirurgica in media dopo 3,5 giorni dal trauma. La tecnica utilizzata per trattare le fratture è stata la riduzione a cielo aperto e sintesi interna (ORIF) con placca e viti. A tutti i pazienti è stato applicato un tourniquet emostatico. In un gruppo di pazienti le fratture sono state esposte con il classico doppio accesso chirurgico: il radio è stato esposto con l'approccio dorsale secondo Thompson e l'ulna è stata approcciata lungo il suo bordo sottocutaneo. Nell'altro gruppo, le fratture sono state approcciate seguendo il singolo accesso volare ideato da Procaccini et al.

Effettuate le incisioni e preservate le strutture neurovascolari per evitare lesioni iatrogene, il primo tempo chirurgico ha interessato la frattura con il minor grado di comminuzione. Una volta ridotta ed aver applicato una fissazione temporanea, il secondo tempo chirurgico si è interessato a ridurre e fissare definitivamente la frattura con il maggior grado di comminuzione; successivamente, la prima fissazione temporanea è stata resa definitiva.

Sono state utilizzate placche a stabilità angolare da 3,5 mm con tre viti bicorticali per ciascun lato di frattura nel radio, tre viti bicorticali nel versante prossimale della frattura ulnare e due / tre viti bicorticali nel versante distale.

b. Management post-operatorio

Il drenaggio è stato rimosso in seconda giornata. In quindicesima giornata è stato rimosso il cast ed applicato un tutore con flessione-estensione a tolleranza e blocco della pronosupinazione fino al quarantesimo giorno dall'intervento. Dopo la rimozione del tutore, è stato permesso un ROM libero senza carichi aggiuntivi per ulteriori venti giorni.

c. Follow-up

Dopo l'intervento chirurgico i pazienti sono stati inseriti in un programma di follow-up a 1, 3, 6 e 12 mesi. A ogni visita sono stati misurati tramite score la qualità della vita e il recupero funzionale dell'avambraccio; è stata inoltre valutata la guarigione della frattura e la presenza di eventuali complicanze associate all'intervento. Gli score utilizzati sono: VAS, SF-12, Mayo wrist e Mayo elbow.

La visual analogue scale (VAS) è uno strumento di misurazione delle caratteristiche soggettive del dolore provato dal paziente. La scala va da 0 a 10: al valore 0 corrisponde nessun dolore, a 10 il peggiore dolore che si possa immaginare.

Il 12-item Short Form Survey (SF-12) è una versione semplificata del SF-36 che utilizza 12 domande per misurare sia la componente fisica che mentale dal punto di vista del paziente. La scala va da 0 a 100: più basso è il punteggio, maggiore è la disabilità.

Il Mayo wrist score permette di studiare la disabilità del polso: contiene 4 items che verificano il dolore, lo stato funzionale, il ROM e la forza di presa del polso. Il punteggio va da 0 (disabilità massima) a 100.

Il Mayo elbow score dà indicazione sulla disabilità del gomito approfondendo il dolore, la motilità, la stabilità e la funzionalità. Il punteggio massimo è 100 che corrisponde ad un eccellente recupero.

La guarigione della frattura è stata valutata con l'utilizzo di radiografie in proiezione antero-posteriore e latero-laterale. Dato che le placche in compressione non portano alla formazione di callo osseo (Perren, 2002), la consolidazione RX viene misurata in percentuale come scomparsa della visibilità della linea di frattura (Eastaugh-Waring et al, 1986).

Sempre con l'utilizzo della radiografia è stato possibile individuare l'eventuale ossificazione della membrana interossea o della sinostosi radio-ulnare.

Attraverso l'anamnesi e l'esame clinico è stato possibile riscontrare eventuali intolleranze ai mezzi di sintesi e la presenza di lesioni neurovascolari iatrogene; queste ultime sono state studiate con analisi strumentali più elaborate.

3. Risultati

In tabella si riportano le medie di ogni score in entrambi i gruppi di trattamento durante tutto il periodo di follow-up (Tabella 2).

Confrontando i due gruppi di trattamento mediante test statistico, non sono emerse differenze statisticamente significative tra i due gruppi ($P > 0,05$) eccetto che per la

consolidazione RX della frattura. Infatti, è emerso che l'approccio singolo delle fratture biossee è associato a una più rapida consolidazione del sito di frattura nei primi 3 mesi di follow-up rispetto al doppio approccio ($P<0,001$).

	Follow-up 1 mese	Follow-up 3 mesi	Follow-up 6 mesi	Follow-up 12 mesi
VAS				
Doppio accesso	8	6	3	1
Singolo accesso	9	5	2	1
SF-12				
Doppio accesso	23	36	46	57
Singolo accesso	22	35	44	58
Mayo wrist				
Doppio accesso	43	54	77	93
Singolo accesso	41	53	72	96
Mayo elbow				
Doppio accesso	33	52	73	93
Singolo accesso	32	48	72	96
Consolidazione RX (%)				
Doppio accesso	47	75	100	100
Singolo accesso	75	98	100	100

Tabella 2. Media degli score per ogni gruppo durante il periodo di follow-up

Inoltre, è stata valutata nei due gruppi la prevalenza di: ossificazione della membrana interossea e sinostosi radio-ulnare, intolleranza ai mezzi di sintesi e lesioni neurovascolari iatrogene. I risultati sono riportati in Tabella 3.

	Prev. (n=27)	Prev. %	IC95%	Prev. (n=20)	Prev. %	IC95%
	Doppio accesso			Singolo accesso		
Ossificazione membrana interossea / sinostosi radio-ulnare	1	3,7 %	-3,4 – 10,8%	1	5,0 %	-4,6 – 14,6%
Intolleranza ai mezzi di sintesi	9	33,3%	15,6 – 51,1%	0	0 %	0 %
Lesioni neurovascolari iatrogene	1	3,7 %	-3,4 – 10,8%	0	0 %	0 %

Tabella 3. Complicanze post-chirurgiche

Non è emersa nessuna differenza statisticamente significativa tra i due gruppi di trattamento per quanto riguarda la prevalenza di lesioni neurovascolari iatrogene e dell'ossificazione della membrana interossea o delle sinostosi radio-ulnare risultava ($P>0,05$).

Invece, nei pazienti trattati con doppio accesso chirurgico è emersa una maggiore prevalenza, statisticamente significativa ($P<0,05$), di intolleranza ai mezzi di sintesi: in questi pazienti le placche sono state rimosse dopo un periodo medio di 14 ± 2 mesi, e 1 paziente (11,1%) ha presentato una rifrattura post-rimozione.

4. Discussione e conclusioni

In letteratura è generalmente accettato che le fratture biossee dell'avambraccio dell'adulto vengano trattate con una riduzione a cielo aperto e sintesi interna (ORIF) con placca e viti (Perren, 2002) e che le ossa siano approcciate con due incisioni separate (Bauer et al, 1991). In particolare, il radio può essere esposto con l'approccio dorsale secondo Thompson o con l'approccio volare secondo Henry a seconda del sito di frattura, mentre l'ulna viene esposta con un'incisione separata lungo il suo margine sottocutaneo (Schulte et al, 2014). Recentemente è stata ideata una nuova tecnica chirurgica: con una singola incisione volare è possibile esporre le fratture biossee dell'avambraccio medio e distale (Procaccini et al, 2019). Dallo studio emerge che le due tecniche presentano un'efficacia clinica sovrapponibile senza una differenza statisticamente significativa tra i due gruppi.

In aggiunta, il gruppo le cui fratture sono state esposte con il singolo accesso volare, mostra una significativa riduzione del tempo medio di consolidazione della frattura ossea. La guarigione ossea dipende da una serie di fattori, come la gravità del trauma, la qualità della riduzione della frattura, la tecnica di fissazione e la presenza di comorbidità nel paziente (Buckwalter et al, 1996). Nei primi giorni successivi alla

frattura, il flusso sanguigno verso l'area interessata è marcatamente ridotto a causa della rottura dei vasi e della vasocostrizione fisiologica dei vasi periostali e midollari in risposta al trauma (Grundnes et al, 1992). Tuttavia, durante la fase di riparazione della frattura la circolazione intraossea ed extraossea subisce un repentino aumento raggiungendo il picco di flusso nei ratti a 2-4 settimane dalla lesione, per poi diminuire gradualmente (Mohanti et al, 1983). Un ulteriore trauma locale o sistemico può ridurre ulteriormente il flusso sanguigno e compromettere la guarigione delle fratture; è stato dimostrato in modelli animali che traumi moderati dei tessuti molli riducono l'afflusso di sangue per i primi giorni dopo la frattura (Claes et al, 2006). Un altro aspetto importante della guarigione ossea riguarda l'infiammazione: la frattura scatena una serie di eventi (rottura dei vasi, danno cellulare e tissutale) che promuovono la cascata infiammatoria (Kolar et al, 2010). Le prime cellule che sono reclutate sono i neutrofili polimorfonucleati, che si accumulano rapidamente durante le prime ore: hanno una breve vita (circa 1 giorno), ma secernono diverse chemochine (come CCL2 e IL-6) che attraggono i macrofagi (Chung et al, 2006). Si ritiene che i neutrofili polimorfonucleati abbiano un impatto negativo sul processo di guarigione della frattura, mentre i macrofagi sembrano avere un'influenza positiva (Bastian et al, 2011). La cascata infiammatoria nel sito della frattura rappresenta un evento regolato sia dal punto di vista temporale che spaziale; alterazioni di questo processo, sia in eccesso che in difetto, possono inficiare la guarigione ossea (Claes et al, 2012). Uno studio su modelli murini evidenzia che uno stato settico porta allo sviluppo di calli ossei immaturi e biomeccanicamente non funzionali (Reikerås et al, 2005). Allo stesso modo, uno stato infiammatorio locale esagerato compromette la guarigione ossea (Grundnes et al, 2000). L'approccio classico delle fratture biossee dell'avambraccio presenta degli svantaggi, rispetto al singolo approccio volare, che possono compromettere una rapida guarigione ossea: richiede l'esecuzione di due

incisioni cutanee, una maggiore manipolazione di tessuti molli e di conseguenza un tempo operatorio più lungo. Infatti, la manipolazione prolungata dei tessuti molli può determinare dei danni al microcircolo con riduzione del flusso sanguigno ed un'eccessiva infiammazione locale. Le due incisioni chirurgiche ed il tempo operatorio maggiore aumentano il rischio di infezione della ferita e successiva infezione sistemica.

Dallo studio emerge che il gruppo trattato con il singolo accesso chirurgico presenta meno complicanze: si evidenzia infatti una maggiore incidenza di intolleranza ai mezzi di sintesi nell'utilizzo di una doppia via di accesso chirurgico. Mentre con l'approccio dorsale secondo Thompson la placca viene posizionata sul versante dorsale del radio, con il singolo approccio volare le placche sono posizionate sul versante volare delle ossa. Questo può farci pensare che la posizione della placca sia un fattore determinante sull'insorgenza di complicanze. Negli ultimi decenni c'è stato un dibattito riguardo il posizionamento più appropriato della placca nel radio. Gli studi hanno però mostrato dei risultati contraddittori riguardo ai tassi di complicanze. Nello studio di Disseldorp et al, 301 pazienti sono stati valutati dopo un intervento di osteosintesi con placca e viti del radio: non sono state riscontrate differenze significative nei tassi di complicanze tra l'approccio volare e l'approccio dorsale. Queste osservazioni sono compatibili con una meta-analisi che ha confrontato i tassi di complicanze tra l'approccio dorsale e volare con diversi tipi di placche: il tasso complessivo di complicanze è stato del 23,9% per l'approccio volare e del 24,2 % per quello dorsale ($p > 0,05$) (Wei et al, 2013). Tuttavia, le analisi dei sottogruppi hanno mostrato una maggiore incidenza di complicanze neurologiche nei gruppi con approccio volare ed un rischio significativamente più elevato di tendiniti nel gruppo con placca dorsale (Wei et al, 2013).

Il risultato contrastante del nostro studio con la letteratura può essere interpretato in vari modi. Un fattore importante è dato dal numero dei pazienti che hanno partecipato allo studio, di molto inferiore rispetto a quelli presenti in letteratura. Tuttavia, va considerato che il singolo accesso volare permette, attraverso la finestra radiale e ulnare, un approccio sicuro e relativamente agevole alla superficie volare delle due ossa: questo consente di salvaguardare tutte le strutture del compartimento anteriore dell'avambraccio ed un corretto posizionamento delle placche. Inoltre, come già accennato, la manipolazione limitata dei tessuti molli permetterebbe di creare un ambiente con un'inflammatione fisiologica e controllata, evitando complicanze derivanti da un'inflammatione eccessiva.

In conclusione, questo studio suggerisce che nel trattamento delle fratture biossee dell'avambraccio la tecnica di singolo accesso volare rappresenta una valida alternativa al doppio accesso. Ulteriori studi sono necessari per stabilire eventuali differenze in termini di outcome clinico e complicanze.

Bibliografia

- Abrahamsen B, Jørgensen NR, Schwarz P. Epidemiology of forearm fractures in adults in Denmark: national age- and gender-specific incidence rates, ratio of forearm to hip fractures, and extent of surgical fracture repair in inpatients and outpatients. *Osteoporos Int*. 2015;26(1):67–76. doi:10.1007/s00198-014-2831-1
- Abrams RA, Simmons BP, Brown RA, Botte MJ. Treatment of posttraumatic radioulnar synostosis with excision and low-dose radiation. *J Hand Surg Am*. 1993;18(4):703-707. doi:10.1016/0363-5023(93)90322-T
- Akhondi H, Varacallo M. Anterior Interosseous Syndrome. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020.
- Anderson LD. Compression plate fixation and the effect of different types of internal fixation on fracture healing. *Instr Course Lect*. 1993;42:3-18.
- Anderson LD, Sisk D, Tooms RE, Park WI 3rd. Compression-plate fixation in acute diaphyseal fractures of the radius and ulna. *J Bone Joint Surg Am*. 1975;57(3):287-297.
- Andersen DJ, Blair WF, Steyers CM Jr, Adams BD, el-Khoury GY, Brandser EA. Classification of distal radius fractures: an analysis of interobserver reliability and intraobserver reproducibility. *J Hand Surg Am*. 1996;21(4):574–582. doi:10.1016/s0363-5023(96)80006-2
- AO Foundation: AO Foundation surgery reference. <https://www2.aofoundation.org/wps/portal/surgery>. Accessed April 11, 2014.
- Baeyens JP, Van Glabbeek F, Goossens M, Gielen J, Van Roy P, Clarys JP. In vivo 3D arthrokinematics of the proximal and distal radioulnar joints during active pronation and supination. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2006;21 Suppl 1:S9–S12. doi:10.1016/j.clinbiomech.2005.09.008
- Barton DW, Griffin DC, Carmouche JJ. Orthopedic surgeons' views on the osteoporosis care gap and potential solutions: survey results. *J Orthop Surg Res*. 2019;14(1):72. Published 2019 Mar 6. doi:10.1186/s13018-019-1103-3

- Bastian O, Pillay J, Alblas J, Leenen L, Koenderman L, Blokhuis T. Systemic inflammation and fracture healing. *J Leukoc Biol.* 2011;89(5):669-673. doi:10.1189/jlb.0810446
- Bayot ML, Nassereddin A, Varacallo M. Anatomy, Shoulder and Upper Limb, Brachial Plexus. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020.
- Bauer G, Arand M, Mutschler W. Post-traumatic radioulnar synostosis after forearm fracture osteosynthesis. *Arch Orthop Trauma Surg.* 1991;110(3):142-145. doi:10.1007/bf00395796
- Bednar DA, Grandwilewski W. Complications of forearm-plate removal. *Can J Surg.* 1992;35(4):428-431.
- Black WS, Becker JA. Common forearm fractures in adults. *Am Fam Physician.* 2009;80(10):1096–1102.
- Bottlang M, Doornink J, Byrd GD, Fitzpatrick DC, Madey SM: A nonlocking end screw can decrease fracture risk caused by locked plating in the osteoporotic diaphysis. *J Bone Joint Surg Am* 2009;91 (3):620-627.
- Buckwalter, J. A., Einhorn, T. A., Bolander, M. E. & Cruess, R. L. in *Rockwood and Green's Fractures in Adults*, 4th edn (eds Rockwood, C. A. Jr. *et al.*) 261–304 (Lippincott-Raven, Philadelphia, 1996).
- Catalano LW 3rd, Zlotolow DA, Hitchcock PB, Shah SN, Barron OA. Surgical exposures of the radius and ulna. *J Am Acad Orthop Surg.* 2011;19(7):430-438. doi:10.5435/00124635-201107000-00006
- Chapman MW. Closed intramedullary bone-grafting and nailing of segmental defects of the femur. A report of three cases. *J Bone Joint Surg Am.* 1980;62(6):1004-1008.
- Chapman MW, Gordon JE, Zissimos AG. Compression-plate fixation of acute fractures of the diaphyses of the radius and ulna. *J Bone Joint Surg Am.* 1989;71(2):159-169.

- Chen NC, Ring D. Terrible Triad Injuries of the Elbow. *J Hand Surg Am*. 2015;40(11):2297–2303. doi:10.1016/j.jhsa.2015.04.039
- Chung KC, Spilson SV. The frequency and epidemiology of hand and forearm fractures in the United States. *J Hand Surg Am*. 2001;26(5):908-915.
- Chung R, Cool JC, Scherer MA, Foster BK, Xian CJ. Roles of neutrophil-mediated inflammatory response in the bony repair of injured growth plate cartilage in young rats. *J Leukoc Biol*. 2006;80(6):1272-1280. doi:10.1189/jlb.0606365
- Claes L, Maurer-Klein N, Henke T, Gerngross H, Melnyk M, Augat P. Moderate soft tissue trauma delays new bone formation only in the early phase of fracture healing. *J Orthop Res*. 2006;24(6):1178-1185. doi:10.1002/jor.20173
- Claes L, Recknagel S, Ignatius A. Fracture healing under healthy and inflammatory conditions. *Nat Rev Rheumatol*. 2012;8(3):133-143. Published 2012 Jan 31. doi:10.1038/nrrheum.2012.1
- Davey PA, Simonis RB. Modification of the Nicoll bone-grafting technique for non-union of the radius and/or ulna. *J Bone Joint Surg Br*. 2002;84(1):30-33. doi:10.1302/0301-620x.84b1.11799
- Deluca PA, Lindsey RW, Ruwe PA. Refracture of bones of the forearm after the removal of compression plates. *J Bone Joint Surg Am*. 1988;70(9):1372-1376.
- Disseldorp DJ, Hannemann PF, Poeze M, et al. Dorsal or volar plate fixation of the distal radius: does the complication rate help us to choose? *J Wrist Surg*. 2016;5:202–210
- Eastaugh-Waring SJ, Joslin CC, Hardy JR, Cunningham JL. Quantification of fracture healing from radiographs using the maximum callus index. *Clin Orthop Relat Res*. 2009;467(8):1986–91.
- Eglseder WA, Zadnik M. Monteggia fractures and variants: review of distribution and nine irreducible radial head dislocations. *South Med J*. 2006;99(7):723–727. doi:10.1097/01.smj.0000224749.40702.32

- Epperson TN, Varacallo M. Anatomy, Shoulder and Upper Limb, Brachial Artery. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020.
- Erwin J, Varacallo M. Anatomy, Shoulder and Upper Limb, Wrist Joint. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020.
- ESSEX-LOPRESTI P. Fractures of the radial head with distal radio-ulnar dislocation; report of two cases. *J Bone Joint Surg Br*. 1951;33B(2):244–247.
- Fernandez DL. Distal radius fracture: the rationale of a classification. *Chir Main*. 2001;20(6):411–425. doi:10.1016/s1297-3203(01)00067-1
- Fliegel BE, Varacallo M. Anatomy, Shoulder and Upper Limb, Elbow Annular Ligament. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020.
- Gao H, Luo CF, Zhang CQ, Shi HP, Fan CY, Zen BF. Internal fixation of diaphyseal fractures of the forearm by interlocking intramedullary nail: short-term results in eighteen patients. *J Orthop Trauma*. 2005;19(6):384-391. doi:10.1097/01.bot.0000157911.76433.db
- Garbuz DS, Masri BA, Esdaile J, Duncan CP. Classification systems in orthopaedics. *J Am Acad Orthop Surg*. 2002;10(4):290–297. doi:10.5435/00124635-200207000-00007
- Garland DE, Dowling V. Forearm fractures in the head-injured adult. *Clin Orthop Relat Res*. 1983;(176):190-196.
- Giannoulis FS, Sotereanos DG. Galeazzi fractures and dislocations. *Hand Clin*. 2007;23(2):153–v. doi:10.1016/j.hcl.2007.03.004
- Giebel GD, Meyer C, Koebke J, Giebel G. Arterial supply of forearm bones and its importance for the operative treatment of fractures. *Surg Radiol Anat*. 1997;19(3):149–153. doi:10.1007/bf01627964
- Gragossian A, Varacallo M. Radial Nerve Injury. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020.

- Graham TJ, Fischer TJ, Hotchkiss RN, Kleinman WB. Disorders of the forearm axis. *Hand Clin.* 1998;14(2):305–316.
- Grassi FA, Pazzaglia UE, Pilato G, Zatti G, Manuale di ortopedia e traumatologia (2 edizione), cap.14, Edra S.p.A., 2012
- Grundnes O, Reikerås O. Blood flow and mechanical properties of healing bone. Femoral osteotomies studied in rats. *Acta Orthop Scand.* 1992;63(5):487-491. doi:10.3109/17453679209154720
- Grundnes O, Reikeraas O. Effects of macrophage activation on bone healing. *J Orthop Sci.* 2000;5(3):243-247. doi:10.1007/s007760050159
- Guss MS, Rettig ME. The Essex-Lopresti Injury. *Bull Hosp Jt Dis* (2013). 2019;77(1):33–38.
- Hazel A, Nemeth N, Bindra R. Anatomic considerations for plating of the distal ulna. *J Wrist Surg.* 2015;4:188–193.
- Henry AK: *Extensile Exposure*, ed 2. Baltimore, MD, Williams & Wilkins, 1970, p 100.
- Hertel R, Pisan M, Lambert S, et al. Plate osteosynthesis of diaphyseal fractures of the radius and ulna. *Injury.* 1996;27:545–548.
- Hidaka S, Gustilo RB. Refracture of bones of the forearm after plate removal. *J Bone Joint Surg Am.* 1984;66(8):1241-1243.
- Hofmann A, Hessmann MH, Rudig L, Kühle R, Rommens PM. Intramedulläre Nagelosteosynthese der Ulna in der Revisionschirurgie [Intramedullary osteosynthesis of the ulna in revision surgery]. *Unfallchirurg.* 2004;107(7):583-592. doi:10.1007/s00113-004-0790-2
- Hong G, Cong-Feng L, Hui-Peng S, Cun-Yi F, Bing-Fang Z. Treatment of diaphyseal forearm nonunions with interlocking intramedullary nails. *Clin Orthop Relat Res.* 2006;450:186-192. doi:10.1097/01.blo.0000214444.87645.75

- Hsu ES, Patwardhan AG, Meade KP, Light TR, Martin WR (1993) Cross-sectional geometrical properties and bone mineral contents of the human radius and ulna. *J Biomech* **26**: 11–18
- Johnell O, Kanis JA (2006) An estimate of the worldwide prevalence and disability associated with osteoporotic fractures. *Osteoporos Int* 17(12):1726–1733
- Jones DB Jr, Kakar S. Adult diaphyseal forearm fractures: intramedullary nail versus plate fixation. *J Hand Surg Am.* 2011;36(7):1216-1219. doi:10.1016/j.jhsa.2011.03.020
- Jordan RW, Jones AD. Radial Head Fractures. *Open Orthop J.* 2017;11:1405–1416. Published 2017 Nov 30. doi:10.2174/1874325001711011405
- Josten CH, Lies A, Knopp W (1989) Verfahrenswechsel bei offener distaler Unterarmfraktur. *Hefte Unfallheilkd*; 201:116–119.
- Jupiter JB, Fernandez DL. Comparative classification for fractures of the distal end of the radius. *J Hand Surg Am.* 1997;22(4):563–571. doi:10.1016/S0363-5023(97)80110-
- Jupiter J, Kellam J: Diaphyseal fractures of the forearm, in Jupiter J, Browner B, eds: *Skeletal Trauma*, ed 4. Philadelphia, PA, Saunders Elsevier, 2008, pp 1459-1502
- Jupiter JB, Ring D. Operative treatment of post-traumatic proximal radioulnar synostosis. *J Bone Joint Surg Am.* 1998;80(2):248-257. doi:10.2106/00004623-199802000-00012
- Keats TE, Teeslink R, Diamond AE, Williams JH. Normal axial relationships of the major joints. *Radiology.* 1966;87(5):904-907. doi:10.1148/87.5.904
- Keener JD, Chafik D, Kim HM, Galatz LM, Yamaguchi K. Insertional anatomy of the triceps brachii tendon. *J Shoulder Elbow Surg.* 2010;19(3):399–405. doi:10.1016/j.jse.2009.10.008
- Kerkhof FD, van Leeuwen T, Vereecke EE. The digital human forearm and hand. *J Anat.* 2018;233(5):557–566. doi:10.1111/joa.12877

- Kinose S, Kanaya Y, Kawasaki Y, et al. Anatomic characterization of the radial and ulnar nutrient arteries in humans. *Ann Anat.* 2018;216:23–28. doi:10.1016/j.aanat.2017.10.004
- Kolar P, Schmidt-Bleek K, Schell H, et al. The early fracture hematoma and its potential role in fracture healing. *Tissue Eng Part B Rev.* 2010;16(4):427-434. doi:10.1089/ten.TEB.2009.0687
- Korner J, Hoffmann A, Rudig L, et al. Monteggia-Verletzungen im Erwachsenenalter Eine kritische Analyse von Verletzungsmuster, Management und Ergebnissen [Monteggia injuries in adults: Critical analysis of injury pattern, management, and results]. *Unfallchirurg.* 2004;107(11):1026–1040. doi:10.1007/s00113-004-0825-8
- Koshkin AB, Sergeev SV, Matveev VS, Grishanin OB. Distal forearm fractures: the analytical approach for treatment. *Ortop Traumatol Rehabil.* 2008;10(4):324–330.
- Krishnan J. Distal radius fractures in adults. *Orthopedics.* 2002;25(2):175–180.
- Kuhn S, Burkhart KJ, Schneider J, et al. The anatomy of the proximal radius: implications on fracture implant design. *J Shoulder Elbow Surg.* 2012;21(9):1247–1254. doi:10.1016/j.jse.2011.11.008
- Kuntz DG Jr, Baratz ME. Fractures of the elbow. *Orthop Clin North Am.* 1999;30(1):37–61. doi:10.1016/s0030-5898(05)70060-2
- Langkamer VG, Ackroyd CE. Removal of forearm plates. A review of the complications. *J Bone Joint Surg Br.* 1990;72(4):601-604.
- Lapner M, King GJ. Radial head fractures. *Instr Course Lect.* 2014;63:3–13.
- Lil NA, Makkar DS, Aleem A A. Results of Closed Intramedullary Nailing using Talwarkar Square Nail in Adult Forearm Fractures. *Malays Orthop J.* 2012;6(3):7-12. doi:10.5704/MOJ.1207.013

- Lindvall EM, Sagi HC: Selective screw placement in forearm compression plating: Results of 75 consecutive fractures stabilized with 4 cortices of screw fixation on either side of the fracture. *J Orthop Trauma* 2006;20(3):157-163.
- Liverneaux PA. New trends in distal radius fractures. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2018;28(8):1457–1458. doi:10.1007/s00590-018-2222-y
- Lundy DW, Busch MT. Intramedullary fixation of unstable forearm fractures in children. *J South Orthop Assoc*. 1999;8(4):269-274.
- Lung BE, Bisogno M. Anatomy, Shoulder and Upper Limb, Forearm Brachioradialis Muscle. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020.
- Lung BE, Burns B. Anatomy, Shoulder and Upper Limb, Hand Flexor Digitorum Profundus Muscle. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020.
- Lung BE, Siwiec RM. Anatomy, Shoulder and Upper Limb, Forearm Flexor Carpi Ulnaris Muscle. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020.
- Maculé Beneyto F, Arandes Renú JM, Ferreres Claramunt A, Ramón Soler R. Treatment of Galeazzi fracture-dislocations. *J Trauma*. 1994;36(3):352–355. doi:10.1097/00005373-199403000-00012
- Mares O, Graves MA, Bosch C, Chammas M, Lazerges C. A new single volar approach for epiphyseal ulnar and radial-sided comminutive fracture of the distal radius: the mediolateral windows approach. *Tech Hand Up Extrem Surg*. 2012;16(1):37-41. doi:10.1097/BTH.0b013e3182351dfc
- Matthews LS, Kaufer H, Garver DF, Sonstegard DA. The effect on supination-pronation of angular malalignment of fractures of both bones of the forearm. *J Bone Joint Surg Am*. 1982;64(1):14-17.
- Mauck BM, Swigler CW. Evidence-Based Review of Distal Radius Fractures. *Orthop Clin North Am*. 2018;49(2):211–222. doi:10.1016/j.ocl.2017.12.001
- McGinley JC, Kozin SH. Interosseous membrane anatomy and functional mechanics. *Clin Orthop Relat Res*. 2001;(383):108–122. doi:10.1097/00003086-200102000-00013

- Means K, Graham T: Disorders of the forearm axis, in Wolfe S, Hotchkiss R, Pederson W, Kozin S, eds: Green's Operative Hand Surgery, ed 6. Philadelphia, PA, Elsevier, 2010, 837-868.
- Mehta N, MacFarlane RJ, Brown D. Traumatic disorders of forearm rotation: anatomy, biomechanics and treatment. *Br J Hosp Med (Lond)*. 2014;75(2):72–77. doi:10.12968/hmed.2014.75.2.72
- Mih AD, Cooney WP, Idler RS, Lewallen DG. Long-term follow-up of forearm bone diaphyseal plating. *Clin Orthop Relat Res*. 1994;(299):256-258.
- Mitchell B, Whited L. Anatomy, Shoulder and Upper Limb, Forearm Muscles. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020.
- Moed BR, Kellam JF, Foster RJ, Tile M, Hansen ST Jr. Immediate internal fixation of open fractures of the diaphysis of the forearm. *J Bone Joint Surg Am*. 1986;68(7):1008-1017.
- Mohanti RC, Mahakul NC. Vascular response in fractured limbs with and without immobilisation: an experimental study on rabbits. *Int Orthop*. 1983;7(3):173-177. doi:10.1007/BF00269502
- Moore TM, Klein JP, Patzakis MJ, Harvey JP Jr. Results of compression-plating of closed Galeazzi fractures. *J Bone Joint Surg Am*. 1985;67(7):1015–1021.
- Moritomo H. The distal interosseous membrane: current concepts in wrist anatomy and biomechanics. *J Hand Surg Am*. 2012;37(7):1501–1507. doi:10.1016/j.jhsa.2012.04.037
- Moroni A, Rollo G, Guzzardella M, Zinghi G. Surgical treatment of isolated forearm non-union with segmental bone loss. *Injury*. 1997;28(8):497-504. doi:10.1016/s0020-1383(97)00044-2
- Mostafa E, Varacallo M. Anatomy, Shoulder and Upper Limb, Humerus. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020.
- Müller ME, Allgöwer M, Schneider R, et al. (1991) Manual of Internal Fixation. 3rd ed. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag.

- Nijs S, Graeler H, Bellemans J. Fixing simple olecranon fractures with the Olecranon Osteotomy Nail (OleON). *Oper Orthop Traumatol*. 2011;23(5):438–445. doi:10.1007/s00064-011-0112-0
- Oestern HJ, Tscherne H. Ergebnisse der AO-Sammelstudie über Unterarmschaftfrakturen [Results of a collective AO follow-up of forearm shaft fractures]. *Unfallheilkunde*. 1983;86(3):136-142.
- Orbay JL, Badia A, Indriago IR, et al. The extended flexor carpi radialis approach: a new perspective for the distal radius fracture. *Tech Hand Up Extrem Surg*. 2001;5(4):204-211. doi:10.1097/00130911-200112000-00004
- Orthopaedic Trauma Association, Fracture and dislocation classification compendium 2018, JOT Jan 2018 32;1
- Perren SM. Evolution of the internal fixation of long bone fractures. The scientific basis of biological internal fixation: choosing a new balance between stability and biology. *J Bone Joint Surg Br*. 2002;84(8):1093-1110. doi:10.1302/0301-620x.84b8.13752
- Patel AA, Buller LT, Fleming ME, Chen DL, Owens PW, Askari M. National trends in ambulatory surgery for upper extremity fractures: a 10-year analysis of the US National Survey of Ambulatory Surgery. *Hand (N Y)*. 2015;10(2):254–259. doi:10.1007/s11552-014-9703-1
- Patel M, Varacallo M. Anatomy, Shoulder and Upper Limb, Forearm Bones. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020.
- Perren SM, Cordey J, Rahn BA, Gautier E, Schneider E. Early temporary porosis of bone induced by internal fixation implants. A reaction to necrosis, not to stress protection?. *Clin Orthop Relat Res*. 1988;(232):139-151.
- Pester JM, Varacallo M. Ulnar Nerve Block Techniques. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020.
- Pester JM, Varacallo M. Median Nerve Block Techniques. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020.

- Polcaro L, Charlick M, Daly DT. Anatomy, Head and Neck, Brachial Plexus. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020.
- Prasarn ML, Ouellette EA, Miller DR. Infected nonunions of diaphyseal fractures of the forearm. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2010;130(7):867-873. doi:10.1007/s00402-009-1016-4
- Procaccini R, Martiniani M, Farinelli L, Luciani P, Specchia N, Gigante A. A New Single Volar Approach for Both-Bone Fractures of the Forearm: The Mediolateral Windows Approach Extended [published online ahead of print, 2019 Dec 24]. *Tech Hand Up Extrem Surg*. 2019;10.1097/BTH.0000000000000277. doi:10.1097/BTH.0000000000000277
- Rehim SA, Maynard MA, Sebastin SJ, Chung KC. Monteggia fracture dislocations: a historical review. *J Hand Surg Am*. 2014;39(7):1384–1394. doi:10.1016/j.jhsa.2014.02.024
- Reikerås O, Shegarfi H, Wang JE, Utvåg SE. Lipopolysaccharide impairs fracture healing: an experimental study in rats. *Acta Orthop*. 2005;76(6):749-753. doi:10.1080/17453670510045327
- Reilly TJ. Isolated and combined fractures of the diaphysis of the radius and ulna. *Hand Clin*. 2002;18(1):179–194. doi:10.1016/s0749-0712(02)00014-8
- Ring D, Allende C, Jafarnia K, Allende BT, Jupiter JB. Ununited diaphyseal forearm fractures with segmental defects: plate fixation and autogenous cancellous bone-grafting. *J Bone Joint Surg Am*. 2004;86(11):2440-2445.
- Ring D, Horst TA. Coronoid Fractures. *J Orthop Trauma*. 2015;29(10):437–440. doi:10.1097/BOT.0000000000000326
- Ring D, Jupiter JB, Waters PM. Monteggia fractures in children and adults. *J Am Acad Orthop Surg*. 1998;6(4):215–224. doi:10.5435/00124635-199807000-00003

- Rodríguez-Niedenführ M, Sañudo JR, Vázquez T, Nearn L, Logan B, Parkin I. Median artery revisited. *J Anat.* 1999;195 (Pt 1)(Pt 1):57-63. doi:10.1046/j.1469-7580.1999.19510057.x
- Rosson JW, Shearer JR. Refracture after the removal of plates from the forearm. An avoidable complication. *J Bone Joint Surg Br.* 1991;73(3):415-417.
- Rüedi TP, Murphy WM, AO Principles of Fracture Management, Thieme Stuttgart New York; 2000
- Rumball K, Finnegan M. Refractures after forearm plate removal. *J Orthop Trauma.* 1990;4(2):124-129. doi:10.1097/00005131-199004020-00004
- Sanders R, Haidukewych GJ, Milne T, Dennis J, Latta LL: Minimal versus maximal plate fixation techniques of the ulna: The biomechanical effect of number of screws and plate length. *J Orthop Trauma* 2002;16(3):166-171.
- Saragaglia D, Tourne Y, Montbarbon E, Carpentier E, Faure C, Butel J. L'ostéosynthèse des fractures de l'avant-bras par plaque P.C.D. "Petits fragments" de l'instrumentation A.O. A propos de 283 plaques vissées [Osteosynthesis of forearm fractures using a P.C.D. "Small fragments" plate from A.O instruments. Apropos of 283 screwed plates]. *J Chir (Paris).* 1991;128(1):3-7.
- Sarmiento A, Latta LL, Zych G, McKeever P, Zagorski JP. Isolated ulnar shaft fractures treated with functional braces. *J Orthop Trauma.* 1998;12(6):420–424. doi:10.1097/00005131-199808000-00009
- Sawyer E, Varacallo M. Anatomy, Shoulder and Upper Limb, Hand Ulnar Bursa. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020.
- Schemitsch EH, Richards RR. The effect of malunion on functional outcome after plate fixation of fractures of both bones of the forearm in adults. *J Bone Joint Surg Am.* 1992;74(7):1068–1078.
- Schroeder JD, Varacallo M. Smith's Fracture Review. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020.

- Schulte LM, Meals CG, Neviaser RJ. Management of adult diaphyseal both-bone forearm fractures. *J Am Acad Orthop Surg*. 2014;22(7):437–446. doi:10.5435/JAAOS-22-07-437
- Sevy JO, Varacallo M. Carpal Tunnel Syndrome. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020.
- Spinner M, Kaplan EB. The quadratus ligament of the elbow--its relationship to the stability of the proximal radio-ulnar joint. *Acta Orthop Scand*. 1970;41(6):632–647. doi:10.3109/17453677008991554
- Stern PJ, Drury WJ. Complications of plate fixation of forearm fractures. *Clin Orthop Relat Res*. 1983;(175):25-29.
- Stoffel K, Stachowiak G, Forster T, Gächter A, Kuster M. Oblique screws at the plate ends increase the fixation strength in synthetic bone test medium. *J Orthop Trauma*. 2004;18(9):611-616. doi:10.1097/00005131-200410000-00006
- Stoffel K, Dieter U, Stachowiak G, Gächter A, Kuster MS. Biomechanical testing of the LCP--how can stability in locked internal fixators be controlled?. *Injury*. 2003;34 Suppl 2:B11-B19. doi:10.1016/j.injury.2003.09.021
- Stuart PR, Berger RA, Linscheid RL, An KN. The dorsopalmar stability of the distal radioulnar joint. *J Hand Surg Am*. 2000;25(4):689–699. doi:10.1053/jhsu.2000.9418
- Stuermer EK, Sehmisch S, Frosch KH, et al. The Elastic Bridge Plating of the Forearm Fracture: A Prospective Study. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2009;35(2):147-152. doi:10.1007/s00068-008-8002-3
- Summers K, Fowles SM. Colles' Fracture. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020.
- Szymanski JA, Carter KR. Barton's Fracture. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020.
- Tang A, Varacallo M. Anatomy, Shoulder and Upper Limb, Hand Carpal Bones. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020.

- Thompson JE. ANATOMICAL METHODS OF APPROACH IN OPERATIONS ON THE LONG BONES OF THE EXTREMITIES. *Ann Surg*. 1918;68(3):309-329. doi:10.1097/00000658-191809000-00012
- Van der Reis WL, Otsuka NY, Moroz P, Mah J. Intramedullary nailing versus plate fixation for unstable forearm fractures in children. *J Pediatr Orthop*. 1998;18(1):9-13.
- Vince KG, Miller JE. Cross-union complicating fracture of the forearm. Part II: Children. *J Bone Joint Surg Am*. 1987;69(5):654-661.
- Wæver D, Madsen ML, Rölfing JHD, et al. Distal radius fractures are difficult to classify. *Injury*. 2018;49 Suppl 1:S29–S32. doi:10.1016/S0020-1383(18)30299-7
- Walthall J, Varacallo M. Long Arm Splinting. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020.
- Wei J, Yang TB, Luo W, Qin JB, Kong FJ. Complications following dorsal versus volar plate fixation of distal radius fracture: a meta-analysis. *J Int Med Res*. 2013;41(2):265-275. doi:10.1177/0300060513476438
- Wei SY, Born CT, Abene A, Ong A, Hayda R, DeLong WG Jr. Diaphyseal forearm fractures treated with and without bone graft. *J Trauma*. 1999;46(6):1045-1048. doi:10.1097/00005373-199906000-00011
- Werner CM, Pierpont Y, Pollak AN. The urgency of surgical débridement in the management of open fractures. *J Am Acad Orthop Surg*. 2008;16(7):369-375. doi:10.5435/00124635-200807000-00002
- Wild JJ Jr, Hanson GW, Bennett JB, Tullos HS. External fixation use in the management of massive upper extremity trauma. *Clin Orthop Relat Res*. 1982;(164):172-176.
- Wright RR, Schmeling GJ, Schwab JP. The necessity of acute bone grafting in diaphyseal forearm fractures: a retrospective review. *J Orthop Trauma*. 1997;11(4):288-294. doi:10.1097/00005131-199705000-00012

Wulf CA, Ackerman DB, Rizzo M. Contemporary evaluation and treatment of distal radius fractures. *Hand Clin.* 2007;23(2):209–vi. doi:10.1016/j.hcl.2007.03.003

Zwingmann J, Bode G, Hammer T, Südkamp NP, Strohm PC. Radial head prosthesis after radial head and neck fractures - current literature and quality of evidence. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2015;82(3):177–185.