

# LA DUPLICE ARTRODESI NEL TRATTAMENTO DEL GRAVE PIEDE PIATTO DELL'ADULTO

## INTRODUZIONE

Le artrodesi tarsali rappresentano l'intervento di elezione nelle forme avanzate di piede piatto dell'adulto, situazioni in cui non sono più utilizzabili interventi di conservazione articolare come osteotomie e transfer tendinei.

Le artrodesi utilizzate in questa patologia sono

- la duplice artrodesi (astragalo-calcaneale ed astragalo-scafoidea), oggetto di questa relazione
- la triplice artrodesi (astragalo-calcaneale, astragalo-scafoidea e calcaneo-cuboidea)
- le artrodesi isolate astragalo-calcaneale o astragalo-scafoidea
- la panartrodesi (astragalo-calcaneale, astragalo-scafoidea, calcaneo-cuboidea e tibiotarsica) utilizzata nei casi di coinvolgimento di tutte le articolazioni periastragaliche

Il piede piatto dell'adulto è una entità tuttora controversa nell'inquadramento eziopatogenetico e nella classificazione. Il termine "piede piatto acquisito dell'adulto" (adult acquired flatfoot deformity o AAFD) può generare confusione in quanto nella gran parte dei casi si tratta di una evoluzione in età adulta di forme di piede piatto infantili o giovanili e non di comparsa di piattismo in un piede precedentemente "normale"; estremamente limitativa è la denominazione di "posterior tibial tendon disfunction o PTTD" che riporta la patogenesi ad una insufficienza del tibiale posteriore, peraltro non costante, e che verosimilmente rappresenta un epifenomeno da inquadrare in una patologia più complessa.

Le classificazioni proposte nel tempo non hanno mai trovato un consenso unanime; troppo semplicistica la classificazione di Johnson e Strom (1) modificata da Myerson (2), probabilmente più attendibile ma troppo complessa e di difficile applicazione la classificazione RAM proposta da Raikin (3); anche la recente denominazione di "Progressive Collapsing Foot Deformity o PCFD" e la conseguente classificazione proposta da una consensus conference (4) presenta alcuni punti controversi (5).

La caratteristica principale del piede piatto dell'adulto è l'atteggiamento permanente del piede in una posizione di pronazione condizionata verosimilmente da alterazioni morfologiche di natura congenita, già evidenti nel piede piatto dell'età evolutiva, che interessano le componenti ossee e le parti molli, e che possono progredire nell'età adulta per cause non completamente note ma probabilmente correlate

- ad una progressiva insufficienza dei sistemi di stabilizzazione in particolare del tendine tibiale posteriore e/o delle strutture capsulolegamentose mediali
- a brevità congenita o acquisita del tricipite che determina un aumento di sollecitazioni sull'articolazione astragalo-calcaneoscafoidea ed alla mediotarsica.

Dal punto di vista anatomico l'articolazione astragalo-calcaneo-scafoidea (ACS) è formata da due distinte articolazioni, l'articolazione astragalo-calcaneale posteriore (o sottoastragale posteriore) ed il complesso articolare astragalo-calcaneo-scafoideo.

L' articolazione astragalo-calcaneale posteriore è costituita dalla faccetta inferiore dell'astragalo e dalla corrispondente faccetta superiore talamica del calcagno.

La faccetta astragale presenta un asse maggiore diretto anterolateralmente formando un angolo con il bordo anteriore della troclea di circa  $37^\circ$  (max  $50^\circ$ , min  $26^\circ$ ) **(6)**; la superficie è fortemente concava nella direzione dell'asse maggiore e con una minore concavità nell'asse trasversale.

La faccetta calcaneare presenta una conformazione analoga, con dimensioni simili e corrispondente convessità; presenta una inclinazione in senso anteriore di circa  $65^\circ$ .

L'articolazione astragalo-calcaneale posteriore presenta una capsula ed una sinoviale propria; solo in rari casi esistono comunicazioni tra l'ambiente articolare e la guaina dei tendini peronieri, le guaine dei tendini flessori mediali (in particolare del FLA) o la sinoviale del complesso articolare astragalo-calcaneo-scafoideo.

Il complesso articolare astragalo-calcaneo-scafoideo ("acetabulum pedis" o "coxa pedis") **(7)(8)** è costituito dalla faccetta anteriore per lo scafoide e usualmente da tre faccette plantari rispettivamente per il calcagno (faccetta articolare anteriore e faccetta articolare media) e per la superficie articolare del legamento calcaneo-scafoideo plantare.

Esiste una notevole variabilità individuale in quanto a volte le faccette sono ben distinguibili ma spesso sono fuse una con l'altra realizzando un'unica superficie articolare. In rari casi esiste una continuità cartilaginea tra le faccette anteriori e l'articolazione astragalo-calcaneale posteriore attraverso il seno del tarso; in questi casi si configura ovviamente un unico ambiente articolare tra l'articolazione astragalo-calcaneale posteriore ed il complesso articolare astragalo-calcaneo-scafoideo.

La faccetta anteriore dell'astragalo che si articola con lo scafoide presenta una forma ovoidale convessa su tutti i piani con un asse maggiore obliquo rispetto al piano trasverso di circa  $45^\circ$  (min  $30^\circ$ , max  $65^\circ$ )

Il versante distale risulta formato dalla faccetta posteriore dello scafoide e plantarmente dalle due faccette del calcagno rispettivamente anteriore, che corrisponde al processo anteriore, e media, che corrisponde al sustentaculum tali; queste faccette presentano notevole variabilità in quanto possono risultare fuse in un'unica faccetta o in casi molto rari confluire con la faccetta talamica posteriore.

Il "cotile pedis" è completato nel settore mediale tra scafoide e sustentaculum tali da una formazione fibrocartilaginea rinforzata plantarmente dal legamento calcaneo-scafoideo plantare.

L'insieme realizza una struttura concava a forma di coppa che accoglie la testa dell'astragalo.

Esiste un complesso sistema legamentoso che stabilizza l'articolazione astragalo-calcaneo-scafoidea e che ne guida i movimenti.

In particolare:

- legamento peroneo calcaneare che stabilizza a ponte l'articolazione
- legamento peroneo-astragalo-calcaneare presente in almeno il 60% dei casi **(9)**
- legamento deltoideo (fasci tibio calcaneari)
- legamento tibio-scafoideo
- legamenti calcaneo-scafoidei supero mediale e inferiore **(10)**
- legamento biforcuto o legamento di Chopart con i due rami calcaneo-scafoideo e calcaneo-cuboideo
- legamento cervicale o legamento astragalo-calcaneale esterno
- legamento del canale del tarso o legamento interosseo
- legamento astragalo calcaneare laterale (subito posteriore al peroneo-calcaneare)
- legamento astragalo-calcaneare posteriore che decorre dal tubercolo posterolaterale dell'astragalo al calcagno
- legamento astragalo-calcaneare mediale

Anche se anatomicamente l'articolazione ACS presenta due distinti settori articolari , dal punto di vista funzionale si comporta come un unico complesso articolare che presenta un unico asse di movimento. Va ricordato che la superficie dell'articolazione astragalo-calcaneale posteriore presenta una conformazione concavo-convessa in forma di conoide mentre il complesso articolare astragalo-calcaneo-scafoideo una conformazione in forma di enartrosi in cui il cotile , per la conformazione a mosaico precedentemente descritta , ha la possibilità di variare il proprio volume in rapporto all'impegno della testa astragalica. I movimenti che avvengono a livello dei due settori articolari sono assolutamente inscindibili ; in un piede normale ad un movimento angolare che si verifica in uno dei due settori articolari corrisponde un movimento di analoga entità nel secondo settore.

L'asse di movimento dell'articolazione ACS è stato studiato da numerosi Autori **(11)(12)(13)** ; esso ha una direzione obliqua sui tre piani dello spazio con una direzione da plantare a dorsale , da posteriore ad anteriore e da laterale a mediale ; idealmente penetra nel piede dall'angolo posterolaterale del calcagno , attraversa il seno del tarso ed emerge medialmente al collo dell'astragalo. La sua obliquità media sul piano sagittale rispetto alla linea orizzontale viene stimata in  $42^\circ$  ed in circa  $16^\circ$  la deviazione in senso mediale ; l'orientamento è comunque molto variabile soprattutto in rapporto alla conformazione ossea delle ossa tarsali.

In virtù dell'obliquità sui tre piani dello spazio dell'asse meccanico il movimento dell'articolazione ACS è necessariamente triplanare con due combinazioni di movimenti eversione-abduzione-flessione dorsale e inversione-adduzione-flessione plantare ; ovviamente nessun movimento di eversione può avvenire senza una contemporanea abduzione e flessione dorsale ed all'opposto nessun movimento di inversione avviene senza adduzione e flessione plantare.

La variabilità di orientamento dell'asse ACS giustifica diverse entità nelle singole componenti del movimento che possono interessare in maniera diversa i tre differenti piani dello spazio a seconda della diversa inclinazione dell'asse stesso ed analogamente condiziona lo sviluppo di eventuali deformità con diversa prevalenza dei diversi piani dello spazio (es. prevalenza di valgismo di calcagno o prevalenza di abduzione del mesoavampiede).

Il complesso articolare astragalo-calcaneo-scafoideo ("coxa pedis") pur facendo parte integrante dell'articolazione ACS partecipa anche all'articolazione mediotarsica e possiede movimenti combinati con la calcaneo-cuboidea , in maniera indipendente dall'articolazione astragalo-calcaneale posteriore. Tali movimenti si sviluppano principalmente attorno all'asse obliquo dell'articolazione mediotarsica che è diretto da plantare a dorsale , da posteriore ad anteriore e da laterale a mediale con una obliquità di circa  $45^\circ$  su tutti i tre piani dello spazio **(14)**.

E' un dato di fatto che in presenza di artrodesi dell'articolazione astragalo-calcaneale (o altro analogo blocco meccanico come ad esempio una sinostosi) l'articolazione mediotarsica , e pertanto il complesso articolare astragalo-calcaneo-scafoideo , sia comunque in grado di effettuare movimenti che si estrinsecano prevalentemente sul piano sagittale. In più la posizione dell'articolazione astragalo-calcaneale condiziona l'entità del movimento residuo alla mediotarsica ; in caso di artrodesi della astragalo-calcaneale in posizione di inversione la mediotarsica risulta bloccata per la discordanza degli assi della astragalo-scafoidea e della calcaneo-cuboidea mentre in posizione di eversione la mediotarsica ha il massimo di movimento per il parallelismo dei suddetti assi.

L'articolazione calcaneo-cuboidea ha invece scarsa influenza sul movimento generale del retro piede funzionando prevalentemente nel dissipare gli stress sul piede calcaneale. Uno studio su 5 piedi da cadavere di Astion e Coll. **(15)** ha evidenziato come l'artrodesi simulata della calcaneo-cuboidea consenta il 67% del movimento dell'articolazione astragalo-scafoidea ed addirittura il 92% dell'articolazione astragalo-calcaneale.

## **PIEDE PIATTO , PIEDE PRONATO E GRANDI DEFORMITA'**

Il termine piede piatto, tuttora ampiamente utilizzato, descrive in maniera piuttosto generica un'ampia gamma di condizioni, alcune assolutamente fisiologiche ed altre francamente patologiche con una infinita serie di situazioni intermedie, caratterizzate da abbassamento della volta plantare ed aumento della superficie di contatto con il suolo. Il piattismo può estrinsecarsi a livello di retropiede ma anche in sede più distale (scafo-cuneiforme e cuneo-metatarsea) riconoscendo un vasto ventaglio di possibili eziopatogenesi come condizioni congenite o acquisite, quali artropatie reumatiche, post-traumatiche, dismetaboliche, ecc..

Il termine piede pronato (16) definisce invece una deformità tridimensionale che si sviluppa sull'asse di movimento dell'articolazione ACS o asse di Henke; la notevole variabilità della direzione di questo asse, più o meno inclinato, spiega la differente morfologia che si riscontra in questi piedi, alcuni con deformità prevalente sul piano frontale, quindi valgo di calcagno, altri con deformità prevalente sul piano trasverso con abduzione del meso-avampiede.

La pronazione è una posizione fisiologica del piede nelle fasi del passo da subito dopo l' "heel strike" fino all'inizio dell' "heel rise", fasi in cui è necessaria una maggiore capacità di assorbire ed ammortizzare l'urto a terra; diventa patologica per un eccessivo movimento in eversione che porta l'articolazione ACS a fondo corsa o anche oltre, oppure per la persistenza di pronazione nella fase propulsiva del passo quando invece è necessario che il piede assuma la massima rigidità.

Le deformità in pronazione si estrinsecano pertanto sull'asse dell'articolazione ACS. Si tratta nella maggior parte dei casi di piedi che presentano costituzionalmente un assetto in pronazione che può accentuarsi negli anni, generalmente dopo la quarta decade; i motivi di questo peggioramento non sono completamente noti ma possono essere presi in considerazione una riduzione del trofismo muscolare, la post-menopausa nel sesso femminile, un aumento ponderale, attività usuranti o eventi traumatici, alterazioni del circolo venoso, ...

Nella maggior parte dei casi l'evento che determina un peggioramento rapido della pronazione è un cedimento delle strutture capsulo legamentose mediali e/o del tendine del tibiale posteriore; quando si verificano questi eventi si innesca di regola un circolo vizioso che comporta un progressivo cedimento meccanico per l'alterato asse di carico sul retropiede.

Un altro fattore che concorre al peggioramento è la brevità del tricipite, costituzionale o acquisita, che, a seguito della minore mobilità in dorsiflessione alla tibiotarsica, determina un aumento di sollecitazioni sulle articolazioni ACS e mediotarsica con loro progressiva destabilizzazione.

Col passare del tempo e del peggioramento della patologia si possono realizzare due situazioni differenti

- una compromissione prevalente delle superfici articolari con usura cartilaginea delle articolazioni astragalo-scafoidea e astragalo-calcaneale e sviluppo di artrosi; in questo caso le articolazioni tendono a perdere movimento e ad irrigidirsi in una posizione sfavorevole con valgismo di retro piede ed avampiede in genere atteggiato in valgismo con sovraccarico del I° raggio
- una compromissione prevalente delle strutture capsulo legamentose e tendinee che realizza una condizione di instabilità articolare che può evolvere fino e vere e proprie lussazioni subtalo; in questo caso le superfici cartilaginee sono relativamente poco alterate ma l'incongruenza articolare può portare a fenomeni di usura ossei sul versante laterale del piede per anomalo contatto tra astragalo e calcagno o tra calcagno e perone.

Quando, nell'ambito delle deformità in pronazione, si può parlare di "grande deformità"?

Consideriamo tre tipologie a gravità crescente di piede pronato

- TIPO I le articolazioni AC e AS sono a fondo corsa ma ancora congruenti: in questi casi in generale la mobilità è buona ed è relativamente agevole una correzione passiva dei rapporti articolari anche se con il passare del tempo le articolazioni progressivamente si deteriorano e tendono ad irrigidirsi
- TIPO II le articolazioni AC e AS sono incongruenti anche se per un certo periodo possono mantenere la possibilità di una soddisfacente correggibilità passiva; tuttavia precocemente

le articolazioni si deteriorano e , anche per adattamento delle parti molli , diventa progressivamente più difficoltosa la correggibilità

- TIPO III le articolazioni AC e AS sono francamente lussate realizzando una vera e propria lussazione subtalare laterale ; in questi casi le superfici articolari sono sempre compromesse e la riducibilità molto difficoltosa

Consideriamo , per l'entità della deformità e per le difficoltà di trattamento , i tipi II e III come "grandi deformità".

Nella valutazione di questi casi altri due parametri vanno tenuti in considerazione , la condizione della tibiotarsica e le possibili perdite di sostanza ossea.

La tibiotarsica va sempre studiata con opportune radiografie in anteroposteriore in carico e con TC ; queste possono evidenziare tre differenti situazioni

- a) tibiotarsica congruente , stabile ed indenne da lesioni condrali
- b) tibiotarsica congruente ma artrosica
- c) tibiotarsica incongruente , generalmente con un "tilt" articolare in valgismo

Ovviamente nelle condizioni (b) e (c) vanno considerati interventi aggiuntivi sulla tibiotarsica , in generale impianto protesico o artrodesi.

Le perdite di sostanza ossea sono conseguenza di lussazione dei capi articolari, di pressioni anomale , ad esempio del calcagno contro il malleolo peroneale , o di usura progressiva per instabilità ; vanno studiate con TC e richiedono spesso l'impiego di innesti.

In queste situazioni l'unico intervento risolutivo è di tipo artrodesizzante , sia per la distruzione cartilaginea , per l'importante incongruenza articolare e l'inefficienza delle parti molli.

Oltre alla patologia degenerativa situazioni analoghe possono essere osservate in caso di artropatie infiammatorie , in particolare nell'artrite reumatoide. Anche in questo caso l'elemento destabilizzante è in molti casi il cedimento del tendine tibiale posteriore e/o delle strutture capsulo legamentose della coxapedis usurate da processi infiammatori.

Analogamente alle forme degenerative si possono osservare situazioni che evolvono verso una rigidità articolare talvolta fino all'anchilosi spontanea , e forme che evolvono verso l'instabilità con sublussazione o lussazione dei capi articolari.

## **LA DUPLICE ARTRODESI : QUANDO E PERCHE'**

L'intervento di artrodesi astragalo-calcaneo-scafoidea (ACS) , proposta da Mann e Beaman (17) nel 1999 presenta un ottimo effetto correttivo nelle deformità in pronazione con un buon compromesso tra efficacia , risparmio articolare e stabilità del montaggio.

E' una procedura molto logica in quanto

- le articolazioni astragalo-calcaneale ed il complesso astragalo-calcaneo-scafoideo rappresentano funzionalmente un'unica articolazione
- entrambe le articolazioni sono interessate da processi degenerativi o infiammatori o da situazioni di instabilità
- le deformità in pronazione si sviluppano sull'asse dell'articolazione ACS ed è attorno a questo asse che deve indirizzarsi la correzione
- altre articolazioni , come la calcaneo-cuboidea, non sono di regola interessate dalla deformità in quanto calcagno , cuboide e scafoide si dislocano al di sotto dell'astragalo mantenendo normali reciproci rapporti

In generale le indicazioni sono rappresentate da piedi pronati di grado avanzato con compromissione delle articolazioni AC e AS per condropatia , artrosi o instabilità articolare.

Può essere proponibile anche in caso di deformità flessibili in caso di

- soggetti anziani in cui trattamenti conservativi come osteotomie e transfer tendinei possono dare risultati insufficienti (18);
- soggetti con eccesso ponderale (19)

- in caso di ripresa per fallimento di precedenti interventi correttivi con conservazione articolare.

Relativamente alla pianificazione operatoria la discussione maggiore è quella relativa alla eventuale associazione dell'artrosi della calcaneocuboidea , cioè l'utilizzo di una triplice artrosi anziché della duplice.

In teoria l'artrosi della calcaneo-cuboidea potrebbe rappresentare un vantaggio in quanto aumenta le superfici di contatto complessive dell'artrosi e aumenta la stabilità del montaggio.

In realtà esistono alcune motivazioni che fanno preferire di evitare l'artrosi calcaneo-cuboidea **(20)**.

a) L'artrosi della calcaneo-cuboidea non è necessaria per ottimizzare la correzione della deformità ; a differenza di quanto avviene nelle deformità in varismo/supinazione nelle quali è indispensabile una resezione articolare della calcaneo-cuboidea , nelle deformità in pronazione la calcaneo-cuboidea non ostacola la correzione ed anzi , una volta effettuata la correzione sull'asse della ACS, le superfici della calcaneo-cuboidea tendono ad allontanarsi sollecitate in distrazione. Per effettuare una efficace artrosi della calcaneocuboidea occorre in queste situazioni inserire un innesto tra calcagno e cuboide per colmare il "gap" residuo cioè realizzare una artrosi in distrazione.

b) Anche se il movimento articolare della calcaneo-cuboidea risulta ridotto dopo un'artrosi della astragalo-scafoidea **(15)** essa conserva circa 2-3° di movimento dei 14° originari ; questo piccolo movimento è comunque in grado di dissipare le forze che gravano sulle articolazioni adiacenti durante la marcia **(21)**.

c) Il tasso di pseudoartrosi alla calcaneo-cuboidea è di circa il 20% **(22)** e non eseguire l'artrosi significa evitare questa possibile complicanza **(23) (24)**.

d) Si riducono i tempi chirurgici.

e) Non esistono evidenze di una evoluzione artrosica nel tempo alla calcaneo-cuboidea dopo intervento di artrosi ACS **(21)** ; addirittura Berlet e Coll. **(25)** hanno dimostrato in una serie di 20 pazienti sottoposti ad artrosi ACS con artrosi della calcaneo-cuboidea un miglioramento dell'aspetto radiografico dell'articolazione attribuito all'effetto di distrazione.

Possibili alternative all'artrosi ACS sono rappresentate dall'artrosi astragalo-scafoidea isolata , dall'artrosi astragalo-calcaneale e dalla triplice artrosi.

L'artrosi astragalo-scafoidea **(26) (27)** ha indubbiamente un ottimo effetto correttivo , del tutto comparabile all'artrosi ACS ; è stato infatti dimostrato che riduce del 75% l'escursione del tendine Tibiale Posteriore. Tuttavia riduce significativamente (dall'80% al 95%) i movimenti che si verificano in corrispondenza della astragalo-calcaneale senza peraltro abolirli del tutto ; è pertanto prevedibile che in situazioni in cui a livello della sottoastragale esistano alterazioni degenerative queste possano peggiorare per un inevitabile sovraccarico meccanico **(28)**.

Inoltre è probabilmente gravata da un maggior tasso di pseudoartrosi rispetto all'artrosi ACS che permette di realizzare montaggi più stabili.

L'artrosi astragalo-calcaneale **(29)** ha il vantaggio di conservare l'asse trasverso della mediotarsica e pertanto di mantenere un maggior grado di movimento sul piano sagittale.

Ha tuttavia un minor effetto correttivo in quanto riduce l'escursione del Tibiale Posteriore di circa il 50% ed ha minore influenza sulla posizione dell'avampiede in situazioni di importante pronazione **(30)**.

La triplice artrosi è maggiormente indicata nelle deformità in supinazione con varismo di calcagno ed adduzione di mesoavampiede in quanto permette di accorciare la colonna laterale con la resezione articolare della calcaneocuboidea ; nelle deformità in pronazione può trovare indicazione in caso di artrosi sintomatica della calcaneo-cuboidea tenendo comunque presenti le considerazioni precedentemente espresse e la necessità quasi costante di ricorrere ad innesti.

## TECNICA CHIRURGICA "OPEN"

## **Programmazione preoperatoria**

Vengono effettuate routinariamente radiografie in carico di entrambi i piedi in proiezione laterale e dorso plantare e radiografie in carico di entrambe le caviglie in proiezione anteroposteriore ; inoltre esame TC del piede e della caviglia interessata. Con queste indagini vengono studiati in particolare i rapporti tra le ossa tarsali , viene valutata la possibile presenza di perdita di sostanza ossea che potrebbe porre indicazione all'impiego di innesti ossei e viene valutata l'articolazione tibiotarsica ; ovviamente alterazioni strutturali a questo livello implicano differenti indicazioni chirurgiche o un eventuale successivo gesto chirurgico alla tibiotarsica.

## **Posizionamento e preparazione del paziente**

Il paziente viene posizionato in posizione supina sul letto operatorio ; vengono sistemati rialzi al di sotto della natica omolaterale al fine di avere la rotula allo zenith. Il bacino viene bloccato con opportuni accessori in modo da poter basculare se necessario il lettino in senso laterale.

Viene posizionato il laccio emostatico alla coscia ed effettuata spremitura con fascia di Esmack.

Nella preparazione del campo operatorio è indispensabile includere tutta la gamba ed il ginocchio in modo da poter controllare la corretta posizione del piede.

## **Accesso chirurgico**

Normalmente viene utilizzato un doppio accesso mediale per l'articolazione astragalo-scafoidea e laterale per la astragalo-calcaneale posteriore.

Utilizziamo un'incisione mediale è piuttosto obliqua dall'alto in basso e da prossimale a distale che inizia prossimalmente sulla proiezione dorsale del collo dell'astragalo e si porta verso il basso e distalmente incrociando la testa dell'astragalo, l'articolazione astragalo-scafoidea , lo scafoide per terminare in corrispondenza del settore plantare dell'articolazione scafo-cuneiforme.

Si incide in maniera corrispondente il sottocutaneo isolando e rispettando la vena marginale origine della grande safena.

A questo punto si incide longitudinalmente la capsula articolare astragalo-scafoidea dorsalmente al tendine del Tibiale Posteriore che può venire visualizzato se necessario. La capsula viene scollata dallo scafoide e dalla testa e dal collo dell'astragalo esponendo l'articolazione astragalo-scafoidea ; in questa fase può essere utile inserire delle leve di Hohmann all'interno dell'articolazione per meglio esporre la testa dell'astragalo che deve essere ben visibile per almeno i 2/3 mediali . Si asportano se presenti osteofiti , in genere dorsali , e si esegue sinoviectomia secondo necessità.

Alcuni AA. descrivono una incisione mediale più rettilinea che corre dall'apice del malleolo mediale allo scafoide tra i tendini di Tibiale Anteriore e di Tibiale Posteriore (**20**) ; questa incisione ha il vantaggio di poter essere estesa distalmente nel caso si debbano associare artrodesi della scafo-cuneiforme e/o della cuneo-metatarsea.

Un'altra alternativa è una incisione più dorsale tra i tendini di Tibiale Anteriore ed Estensore Lungo dell'Alluce che permette ovviamente un'ottima visione dell'articolazione , con esclusione della porzione affatto plantare , ed una facile fissazione.

L'incisione laterale decorre invece obliqua in corrispondenza del seno del tarso nella direzione delle pliche di flessione. Nel sottocutaneo si coagulano vasi venosi ; i rami del nervo peroneo superficiale decorrono appena più dorsali all'incisione e non corrono particolari rischi ; il nervo surale risulta invece più plantare rispetto all'incisione ed anch'esso non richiede di venire isolato.

Si incide il tessuto sottocutaneo con la stessa direzione dell'incisione cutanea e si divarica dorsalmente e prossimalmente il tessuto adiposo evidenziando il retinacolo degli estensori e il ventre muscolare del pedidio.

Si incide il retinacolo degli estensori lungo il decorso delle fibre e si scolla il ventre del pedidio dalle inserzioni calcaneali ; a questo punto si ha accesso al seno del tarso che viene liberato dal tessuto adiposo scheletrizzando il processo laterale dell'astragalo ed il pavimento del seno del tarso. Se necessario si isolano e si divaricano plantarmente i tendini peronieri nella parte plantare dell'incisione.

A questo punto si evidenzia la rima articolare dell' articolazione astragalo-calcaneale posteriore che viene artrotomizzata nel suo settore anteriore , prospiciente al seno del tarso , e laterale fino al

legamento peroneo-calcaneale. Anche in questo caso si procede se necessario ad eseguire sinoviectomia ed asportazione di eventuali osteofiti

Va ancora ricordata la possibilità di eseguire l'intervento con un'unica incisione, mediale o laterale. L'accesso singolo mediale (31) (32) (33) (34) ha il vantaggio di evitare l'accesso laterale che talvolta, essendo sottoposto a forze di trazione, va incontro a problemi di cicatrizzazione. Viene utilizzata una incisione che inizia posteriormente al malleolo mediale e si estende al cuneiforme mediale; in profondità decorre dorsalmente al tendine del tibiale posteriore. Per visualizzare correttamente le articolazioni, in particolare la faccetta posteriore, è necessario un completo release periarticolare ed una adeguata distrazione articolare. Il rischio maggiore è quello di indebolire il legamento deltoideo con la possibilità di un valgo di tibiotarsica: per evitare questa complicanza viene consigliato a fine intervento un controllo radiografico in valgo-stress.

L'accesso singolo laterale (35) prevede un'incisione laterale piuttosto ampia con la quale è possibile accedere alla sottoastraglica, alla astragalo-scafoidea e nel caso anche alla calcaneocuboidea: è una procedura piuttosto criticata in quanto espone a rischi di problemi di cicatrizzazione e non permette una buona visualizzazione della astragalo-scafoidea in quanto si stima che solo il 38% dell'articolazione sia accessibile (36).

### **Preparazione delle superfici articolari**

Una volta esposte le superfici articolari si procede alla loro preparazione asportando le residue cartilagini articolari; utilizziamo per questa operazione degli scalpelli molto affilati con i quali si espone l'osso sub condrale asportando con cura la cartilagine articolare. Per questo tempo chirurgico può essere utile applicare dei distrattori articolari al fine di meglio evidenziare le superfici da cruentare. Normalmente è abbastanza agevole preparare le superfici della astragalo-calcaneale posteriore in quanto l'articolazione, anche se lievemente concava-convessa, è di facile accesso e visualizzazione. L'astragalo-scafoidea può presentare invece qualche difficoltà, specialmente nel settore più laterale; a questo riguardo, oltre all'impiego di distrattori, occorre utilizzare scalpelli di piccole dimensioni e sgorbie di adatta curvatura per la preparazione della superficie concava dello scafoide.

La preparazione delle superfici articolari può essere eseguita altrettanto agevolmente con frese motorizzate sferiche o ovalari.

Una volta asportata accuratamente la cartilagine articolare si saggia la congruenza delle superfici in posizione di riduzione; se giudicata soddisfacente eseguiamo delle perforazioni dell'osso sub condrale con punta da trapano o filo di Kirschner del diametro di 2.5 mm al fine di ottenere piccoli frustoli ossei nello spazio articolare e di avere delle superfici di artrosi ben cruentate e vascolari.

### **Riduzione e stabilizzazione**

E' ovviamente fondamentale il corretto posizionamento dell'artrosi che deve avvenire ricercando la maggior superficie di contatto tra le superfici articolari e una corretta posizione del piede.

Anche nei casi di deformità importante, una volta preparate le superfici articolari, risulta agevole riportare il calcagno e lo scafoide al di sotto ed al davanti dell'astragalo.

Consigliamo di iniziare il posizionamento dell'artrosi dall'articolazione astragalo-scafoidea in quanto il corretto posizionamento della testa dell'astragalo a fronte dello scafoide è garanzia di un corretto montaggio. Ottenuta una soddisfacente congruenza astragalo-scafoidea, situazione che è facilmente verificabile a vista, si procede ad una stabilizzazione temporanea con uno o due fili di Kirschner.

A questo punto dall'accesso laterale si controlla la posizione e la congruenza della astragalo-calcaneale; se medialmente l'articolazione astragalo-scafoidea è ben ridotta, si riscontra un contatto ottimale anche alla astragalocalcaneale. Occorre verificare che i margini laterali di astragalo e calcagno siano ben allineati e che la faccetta articolare del calcagno sia dislocata anteriormente di circa 5 mm rispetto alla corrispondente faccetta astraglica; questo assicura che l'articolazione ACS sia in una posizione neutra.

Si controlla ovviamente, in maniera visiva e manuale, la posizione generale del piede rispetto alla gamba e la posizione di retropiede ed avampiede verificando con un controllo fluoroscopico

## **Fissazione**

Le viti sono il mezzo di sintesi maggiormente utilizzato.

Il montaggio più raccomandato prevede due viti per la astragalo-calcaneale infisse in maniera divergente, anche se non esistono dati in letteratura che dimostrino superiorità rispetto ad una singola vite (37) (38) (39); anche la scelta della direzione, dall'astragalo al calcagno o viceversa, sembra non presentare particolari differenze, anche se le viti infisse dall'astragalo al calcagno sembrano assicurare una maggiore forza di compressione (40).

Per l'articolazione astragalo-scafoidea sono raccomandate viti (singola, doppia o tripla ovviamente di diametri diversi) o in alcune situazioni cambre o placche (41).

Ricordiamo anche la possibilità di utilizzare una vite scafo-calcaneale, proposta da Kiesau e Coll. (42) per aumentare la stabilità del montaggio e ridurre i rischi di pseudoartrosi.

Utilizziamo una o due viti per la astragalo-calcaneale ed una per la astragaloscafoidea; le viti per la astragalo-calcaneale vengono posizionate dalla tuberosità posteriore del calcagno verso il corpo dell'astragalo. Inseriamo invece la vite per la astragalo-scafoidea dall'angolo inferiore e distale dello scafoide, adiacente all'articolazione scafo-cuneiforme, con una direzione da distale a prossimale, da plantare a dorsale e da mediale a laterale; in questo modo la vite risulta essere centrale rispetto al collo dell'astragalo con una direzione grossomodo analoga.

Utilizziamo quasi sempre viti standard da spongiosa diametro 6.5 mm ma ovviamente possono essere utilizzate viti con diverse caratteristiche (cannulate, a doppia filettatura,...) purché adeguate.

Questa sintesi assicura in genere un'ottima stabilità; in alcuni casi preferiamo aggiungere una cambra dorsale alla astragalo-scafoidea per controllare eventuali rotazioni.

In caso di perdita di sostanza ossea sul versante laterale, evenienza non eccezionale in caso di deformità importanti, si posizionano innesti ossei che preleviamo di preferenza dalla cresta iliaca.

A fine intervento occorre saggiare l'articolazione in flessione ed estensione della tibiotarsica ed eseguire un allungamento del tendine di Achille o mioentesico del tricipite se la dorsiflessione non supera l'angolo retto di circa 10°-15°.

La ricostruzione è agevole, con punti staccati. Rilasciamo il laccio prima della chiusura per completare l'emostasi. Non applichiamo drenaggi.

A fine intervento viene confezionato un gambaletto in resina aperto a valve.

## **Decorso post-operatorio**

La dimissione avviene in generale in II giornata. Viene mantenuta una doccia o un tutore senza carico per 6 settimane con medicazioni periodiche.

Allo scadere delle 6 settimane viene effettuato un controllo radiografico; se non ci sono problemi si inizia mobilizzazione in scarico per due settimane e carico progressivo alle 8 settimane dall'intervento effettuando un intenso programma di rieducazione funzionale (recupero articolare, rinforzo muscolare, rieducazione alla deambulazione, controllo dell'edema,...).

## **GESTI CHIRURGICI ASSOCIATI**

Alcune procedure vengono in molti casi associate alla tecnica usuale.

- Allungamento del tricipite: viene messo in atto se a fine intervento non è possibile dorsiflettere il piede a 10°-15° oltre l'angolo retto; nella maggior parte dei casi viene utilizzato l'allungamento mioentesico del gastrocnemio, più raramente l'allungamento percutaneo del tendine di Achille
- Osteotomia di medializzazione tuberosità posteriore calcagno: viene utilizzata per migliorare ulteriormente l'asse di carico e proteggere le strutture mediali in quanto riduce le forze che agiscono sul legamento deltoideo del 56% (43) (44)
- Artrodesi della colonna mediale (scafo-cuneiforme e cuneo-metatarsea I<sup>^</sup>): indicate in caso di instabilità di suddette articolazioni, in generale già evidente nella clinica e nelle radiografie preoperatorie, o in caso di avampiede varo residuo

- Allungamento mioentesico dei peronieri , specie del breve , se l'eccessiva tensione del complesso muscolotendineo ostacola la correzione ; alternativa può essere il transfer del peroneo breve sul lungo

## **TECNICA CHIRURGICA ARTROSCOPICA**

Sulla scorta dei buoni risultati ottenuti con l'artrodesi artroscopica di tibiotarsica sono state effettuate esperienze relative all'artrodesi artroscopica di astragalo-calcaneale , duplice e triplice (45) (46) (47).

Analogamente ad ogni trattamento artroscopico viene minimizzato il danno chirurgico sui tessuti molli riducendo potenzialmente il rischio di complicanze , come problemi cicatriziali e pseudoartrosi , ed i tempi di guarigione e migliorando il confort post-operatorio.

Le indicazioni ideali sono in pazienti con compromissione dei tessuti molli come ad esempio soggetti anziani , patologie infiammatorie , uso di steroidi o farmaci immunosoppressori , lesioni post-traumatiche con cute cicatriziale o comunque compromessa. Rappresentano controindicazioni situazioni con deformità molto gravi o con perdita di sostanza ossea.

Normalmente l'intervento viene eseguito con paziente in decubito supino con arto intraruotato.

Vengono utilizzati due accessi senotarsici di cui il primo (portale posterolaterale) situato in corrispondenza dell'angolo di Gissane ed il secondo (portale anterolaterale) in corrispondenza della porzione superiore del processo anteriore del calcagno ; questi due accessi sono estremamente sicuri relativamente a strutture neurovascolari (48). E' anche possibile utilizzare degli accessi posteriori per eseguire l'artrodesi astragalo-calcaneale (posterolaterale e posteromediale) ma la posizione prona mal si adatta ad eseguire il tempo chirurgico sull'articolazione astragalo-scafoidea.

Viene di regola utilizzato un artroscopio da 4.5 mm a 30°.

Si procede inizialmente alla cruentazione della faccetta posteriore con opportuno strumentario motorizzato lavorando con direzione da anteriore a posteriore seguendo la curvatura della faccetta.

Successivamente , utilizzando gli stessi portali , si ricercano le faccette anteriore e media , questa volta con direzione da posteriore ad anteriore ; attraverso i due portali è anche possibile accedere all'articolazione astragalo-scafoidea cruentando i due terzi laterali dell'articolazione. Se si preferisce decorticare anche il versante mediale dell'articolazione è opportuno utilizzare un accesso supplementare dorsomediale o dorsolaterale prestando molta attenzione a non lesionare i nervi della regione (peroneo profondo e peroneo superficiale).

La sintesi viene effettuata con viti percutanee in maniera usuale.

## **PROBLEMI E COMPLICANZE**

- a) Pseudoartrosi : il tasso di consolidazione è stimato nel 91,75% su una metaanalisi di 315 casi con un tempo di consolidazione medio stimato in 17,96 settimane (49) ; l'articolazione più a rischio di pseudoartrosi è la astragalo-scafoidea
- b) Problemi cutanei quali deiscenza della ferita chirurgica , ritardo di cicatrizzazione o necrosi dei lembi : interessano prevalentemente le incisioni laterali per via della tensione cui è sottoposta la cute dopo la correzione osteoarticolare; la prevenzione consiste nel ridurre la lunghezza dell' incisione chirurgica laterale e di minimizzare il trauma chirurgico evitando trazioni o compressioni sui lembi della ferita
- c) Artrosi e/o instabilità della tibiotarsica: si tratta di una complicanza grave che richiede quasi sempre una ripresa chirurgica con artrodesi o impianto protesico. Si manifesta quasi sempre con una instabilità mediale della tibiotarsica con tilt astragalico ed aumento delle forze di compressione sul versante laterale dell'articolazione e sulla faccetta malleolare laterale (Fig. 9).

Le cause possono essere ricondotte ad un cedimento delle strutture legamentose mediali , spesso già compromesse , e/o ad una eccessiva tensione delle strutture muscolotendinee posteriori.

La prevenzione consiste in una preliminare accurata valutazione dell'articolazione con rx in carico ed eventualmente sotto stress e nell'allungamento del tricipite.

Un altro punto importante è il corretto allineamento dell'arto ; la presenza di ginocchio valgo è elemento che aumenta gli stress meccanici in valgo alla tibiotarsica ed andrebbe preliminarmente corretto prima di ogni trattamento del piede.

- d) Artrosi e/o instabilità della scafo-cuneiforme e della cuneo-metatarsea : Anche in questo caso riteniamo come possibile causa una eccessiva tensione del tricipite che determina in fase propulsiva un sovraccarico delle articolazioni del mesopiede ed in particolare della scafo cuneiforme con apertura plantare , instabilità ed evoluzione artrosica. I pazienti lamentano dolore in fase propulsiva al mesopiede

## **RISULTATI**

I risultati del trattamento del piede pronato con duplice artrodesi sono mediamente buoni.

Rispetto alla triplice artrodesi i risultati sono sovrapponibili a fronte di una maggiore semplicità dell'intervento e di minori complicanze (21) (25) (31) (32) (33) (46) (50) (51) (52) (53) ; rimandiamo agli articoli citati la disamina dettagliata dei risultati.

Nella nostra esperienza , su una casistica di 147 interventi eseguiti nel periodo gennaio 2002-dicembre 2012 , abbiamo riscontrato nella maggior parte dei casi un notevole miglioramento della sintomatologia dolorosa e della qualità della vita con ripresa di una autonomia di marcia soddisfacente ; il punteggio AOFAS è passato da 43,2 nel preoperatorio a 75,8 nel post-operatorio. Ovviamente il gruppo dei casi più gravi (piede pronato degenerativo tipo II e III) è stato quello gravato da un maggior tasso di complicanze.

## **CONCLUSIONI**

L'articolazione ACS, anche se anatomicamente suddivisa in due distinti settori, deve essere funzionalmente considerata come unità articolare in quanto dotata di un unico asse di movimento.

Le deformità in pronazione si sviluppano attorno a questo asse.

L'intervento di artrodesi ACS trova indicazione ideale nei casi di gravi deformità in pronazione di origine degenerativa o infiammatoria con artropatia o grave instabilità articolare.

Dal punto di vista tecnico consideriamo estremamente importanti la preparazione accurata dei capi articolari , l'esatto posizionamento per evitare ipo o ipercorrezioni , la stabilizzazione con sintesi interna.

Nella programmazione e nell'esecuzione vanno accuratamente considerati l'eventuale presenza di artropatia alla tibiotarsica o in sedi distali e la retrazione o brevità del tricipite.

I risultati sono complessivamente buoni anche in caso di deformità importanti con un tasso di complicanze maggiori relativamente basso.

Un inconveniente da non sottovalutare specie nei soggetti molto anziani sono i tempi di recupero piuttosto lunghi.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 ) Johnson KA, Strom DE: Tibialis posterior tendon dysfunction. Clin Orthop Relat Res (1989) 239:196–206
- 2 ) Myerson MS : Adult acquired flatfoot deformity: treatment of dysfunction of the posterior tibial tendon. Instr Course Lect (1997) 46:393–405
- 3 ) Raikin, S.;Winters, B.; Daniel, J. The RAM classification: A novel, systematic approach to the adult-acquired flatfoot. Foot AnkleClin. 2012, 17, 169–181.
- 4 ) Myerson M., Thordarson D.B., Johnson J.E., Hintermann B., Sangeorzan B.J., Deland J.T., Schon L.C., Ellis S.J., de Cesar Netto C.: Classification and Nomenclature: Progressive Collapsing Foot Deformity ; Foot Ankle Int. 2020 Oct;41(10):1271-1276.
- 5 ) Zhu M., Maher M.A., Gu W., Hunt K.J., Myerson M., Li S.: Content validation of the progressive collapsing foot deformity classification ; J Foot Ankle. 2023;17(3):156-62
- 6 ) SarrafianS.K.: Anatomy of the foot and ankle ; Philadelphia , J.B.Lippincott Co. , 1983.
- 7 ) McConaill M.A.: The postural mechanism of the human foot ; Proc Roy. Irisch Acad. , 1945, 50B, 265
- 8 ) Pisani G.: Trattato di chirurgia del Piede ; Torino , Minerva Medica Ed. , 1990.
- 9 ) Rouvière J., Canela Lazaro M.: Le ligament péronéo-astragalo-calcanéen ; Ann. Anat. Pathol. Anat. Norm., 1932, 9, 754.
- 10 ) Barclay-Smith E.: The astragalo-calcaneo-navicular joint ; J. Anat. Phisiol. , 1896 , 30, 390.
- 11 ) Manter JT.: Miovements of the subtalar and transverse tarsal joints ; Anat Rec., 1941 , 80, 397
- 12 ) Isman RE., Inman VT.: Anthropometric studies of the human foot and ankle ; University of California , 1968, Berkeley , Technical Report.
- 13 ) Inman TV.: The joints of the ankle ; Baltimore ; Williams Wilkins , 1976
- 14 ) Hicks JH.: The mechanics of the foot ; the joints ; Anat , 1953 , 87, 345
- 15 ) Astion DJ, Deland JT, Otis JC, et al. Motion of the hindfoot after simulated arthrodesis.J Bone Joint Surg Am 1997;79(2):241–6.
- 16 ) Giannini BS, Ceccarelli F, Benedetti MG, et al. Surgical treatment of flexible flatfoot in children a four-year follow-up study. J Bone Joint Surg Am 2001;83-A Suppl 2 Pt 2:73–9.
- 17 ) Mann RA, Beaman DN. Double arthrodesis in the adult. Clin Orthop Relat Res 1999;365:74–80.

- 18 ) Conti MS, Jones MT, Savenkov O, et al. Outcomes of reconstruction of the stage II adult-acquired flatfoot deformity in older patients. *Foot Ankle Int* 2018;39(9): 1019–27.
- 19 ) Soukup DS, MacMahon A, Burket JC, et al. Effect of obesity on clinical and radiographic outcomes following reconstruction of stage ii adult acquired flatfoot deformity. *Foot Ankle Int* 2016;37(3):245–54.
- 20 ) Burns PR., Powers NS.: Double versus Triple Arthrodesis for Flatfoot Deformity: when , why and how?. *Clin Podiatr Med Surg* 40 , 2023 , 315-32
- 21 ) Sammarco VJ, Magur EG, Sammarco GJ, Bagwe MR.: Arthrodesis of the subtalar and talonavicular joints for correction of symptomatic hindfoot malalignment ; *Foot Ankle Int.* 2006 Sep;27(9):661-6.
- 22 ) Bednarz PA., Monroe MT., Manoli A. II: Triple arthrodesis in adults using rigid internal fixation : an assessment of outcome ; *Foot Ankle Int* , 1999 , 20 , 356-63.
- 23 ) Conti SF, Wong YS. Osteolysis of structural autograft after calcaneocuboid distraction arthrodesis for stage II posterior tibial tendon dysfunction. *Foot Ankle Int* 2002;23(6):521–9.
- 24 ) Thomas RL, Wells BC, Garrison RL, et al. Preliminary results comparing two methods of lateral column lengthening. *Foot Ankle Int* 2001;22(2):107–19.
- 25 ) Berlet GC, Hyer CF, Scott RT, et al. Medial double arthrodesis with lateral column sparing and arthrodiastasis: a radiographic and medical record review. *J Foot Ankle Surg* 2015;54(3):441–4.
- 26 ) Chen C.H., Huang P.J., Chen T.B.: Isolated talo-navicular arthrodesis for talo-navicular arthritis ; *Foot Ankle Int.*, 2001 , 22 , 8 , 633-36.
- 27 ) Weinraub GM, Heilala MA. : Isolated talonavicular arthrodesis for adult onset flat foot deformity/posterior tibial tendon dysfunction ; *Clin Podiatr Med Surg.* 2007 Oct;24(4):745-52
- 28 ) Thomas JL., Moeini R., Soileau R.: The effects on subtalar contact and pressure following talonavicular and midtarsal joint arthrodesis; *J. Foot Ankle Surg.* , 2000 , 39 , 2 , 78-88 .
- 29 ) Easley ME, Trnka HJ, Schon LC, Myerson MS. : Isolated subtalar arthrodesis ; *J Bone Joint Surg Am.* 2000 May;82(5):613-24.
- 30 ) Anish R. , Kadikia MD., Steven L. , Haddad MD.: Hindfoot arthrodesis for adult acquired flat foot ; *Foot Ankle Clin N. Am.*, 2003, 8, 569-94.
- 31 ) Knupp M, Schuh R, Stufkens SA, Bolliger L, Hintermann B. : Subtalar and talonavicular arthrodesis through a single medial approach for the correction of severe planovalgus deformity ; *J Bone Joint Surg Br.* 2009 May;91(5):612-5.
- 32 ) Philippot R, Wegrzyn J, Besse JL. : Arthrodesis of the subtalar and talonavicular joints through a medial surgical approach : a series of 15 cases ; *Arch Orthop Trauma Surg.* 2010 May;130(5):599-603

- 33 ) Weinraub GM, Schuberth JM, Lee M, Rush S, Ford L, Neufeld J, Yu J. : Isolated medial incisional approach to subtalar and talonavicular arthrodesis ; J Foot Ankle Surg. 2010 Jul-Aug;49(4):326-30.
- 34 ) Catanzariti A., Adeleke A.T.: Double arthrodesis through a medial approach for end-stage adult acquired flatfoot : Clin Podiatr Med Surg 31, 2014 , 435-44
- 35 ) Ohly NE, Cowie JG, Breusch SJ. Triple arthrodesis of the foot with allograft through a lateral incision in planovalgus deformity. Foot Ankle Surg 2016;22(2): 114–9.
- 36 ) Bono JV, Jacobs RL. Triple arthrodesis through a single lateral approach: a cadaveric experiment. Foot Ankle 1992;13(7):408–12.
- 37 ) Chuckpaiwong B, Easley ME, Glisson RR. Screw placement in subtalar arthrodesis: a biomechanical study. Foot Ankle Int 2009;30(2):133–41.
- 38 ) DeCarbo WT, Berlet GC, Hyer CF, et al. Single-screw fixation for subtalar joint fusion does not increase nonunion rate. Foot Ankle Spec 2010;3(4):164–6.
- 39 ) Haskell A, Pfeiff C, Mann R. Subtalar joint arthrodesis using a single lag screw. Foot Ankle Int 2004;25(11):774–7.
- 40 ) McGlamry MC, Robitaille MF. Analysis of screw pullout strength: a function of screw orientation in subtalar joint arthrodesis. J Foot Ankle Surg 2004;43(5): 277–84.
- 41 ) Vacketta V.G., Jones J.M., Philp F.H., et al., Radiographic outcomes of talonavicular joint arthrodesis with varying fixation techniques in stage III adult acquired flatfoot reconstruction, J Foot Ankle Surg, 61 (5), 2022, 969–974.
- 42 ) Kiesau CD, Larose CR, Glisson RR, et al. Talonavicular joint fixation using augmenting naviculocalcaneal screw in modified double hindfoot arthrodesis. Foot Ankle Int 2011;32(3):244–9.
- 43 ) Resnick RB, Jahss MH, Choueka J, et al. Deltoid ligament forces after tibialis posterior tendon rupture: effects of triple arthrodesis and calcaneal displacement osteotomies. Foot Ankle Int 1995;16(1):14–20.
- 44 ) Song SJ, Lee S, O'Malley MJ, et al. Deltoid ligament strain after correction of acquired flatfoot deformity by triple arthrodesis. Foot Ankle Int 2000;21(7):573–7.
- 45 ) Lui TH. Arthroscopic triple arthrodesis in patients with Muller Weiss disease. Foot Ankle Surg 2009;15(3):119–22.
- 46 ) Jagodzinski NA, Parsons AMJ, Parsons SW. Arthroscopic triple and modified double hindfoot arthrodesis. Foot Ankle Surg 2015;21(2):97–102.  
Walter R., Parson S., Winson I.: Arthroscopic subtalar , double and triple fusion ; Foot Akle Clin N Am 21, 2016, 681-93
- 47 ) Walter R., Butler M., Parsons S. Arthroscopic subtalar arthrodesis through the two-portal sinus tarsi approach: a series of 77 cases. Presented at the BOFAS annual scientific meeting, Guildford, November 12, 2015.

- 48 ) Hughes A, Gosling O, McKenzie J, et al. Arthroscopic triple fusion joint preparation using two lateral portals: a cadaveric study to evaluate safety and efficacy. *Foot Ankle Surg* 2014;20(2):135–9.
- 49 ) Cates NK., Mayer A., Tenley J. et Al.: Double versus triple arthrodesis fusion rates: a systematic review; *Journal Foot Ankle Surg.*, 61, 2022, 907-13
- 50 ) Shi E, Weinraub GM. Outcomes of hindfoot arthrodesis supplemented with bioactive glass and bone marrow aspirate: a retrospective radiographic study. *J Foot Ankle Surg* 2019;52:2–5.
- 51 ) Burrus MT, Werner BC, Carr JB, Perumal V, Park JS. Increased failure rate of modified double arthrodesis compared with triple arthrodesis for rigid pes planovalgus. *J Foot Ankle Surg* 2016;55:1169–1174.
- 52 ) Rohm J, Zwicky T, Horn Lang T, Salentiny Y, Hintermann B, Knupp M. Mid- to longterm outcome of 96 corrective hindfoot fusions in 84 patients with rigid flatfoot deformity. *Bone Joint J* 2015;97-B:668–674.
- 53 ) Anand P, Nunley JA, DeOrio JK. Single-incision medial approach for double arthrodesis of hindfoot in posterior tibialis tendon dysfunction. *Foot Ankle Int* 2013;34:338–344.