



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI  
DI GENOVA



## Università degli Studi di Genova

Facoltà di medicina e Chirurgia

### **Master in Riabilitazione dei Disturbi Muscoloscheletrici**

A. A. 2009- 2010

Campus Universitario di Savona

*In collaborazione con Master of Science in Manual Therapy*

*Vrije Universiteit Brussel*



### **Il piede pronato: alterazioni posturali, nel cammino, criteri di misurazione e sindrome femoro rotulea**

Candidato:

Lorenza Benozzi

Relatore:

Riccardo Analdi

## **INDICE**

ABSTRACT.....	pag. 3
INTRODUZIONE.....	pag. 4
MATERIALI E METODI.....	pag. 5
RISULTATI.....	pag. 6
DISCUSSIONE.....	pag. 9
<b>1. Alterazioni statiche</b>	
<b>2. Misurazioni</b>	
<b>3. Alterazioni dinamiche</b>	
<b>4. Alterazioni posturali nella catena cinetica</b>	
<b>5. Sindrome patellofemorale (PFP)</b>	
CONCLUSIONI.....	pag. 14
BIBLIOGRAFIA.....	pag. 15

## **ABSTRACT**

**Introduzione.** Il presente studio ha come obiettivo quello di definire le alterazioni osteocinematiche, muscolari e posturali del piede pronato, sia in condizioni statiche che dinamiche. Vuole quindi verificare la presenza di sistemi di misura validati per classificare questo tipo di alterazione e che siano significativi nel cammino. Infine, si cerca di definire se il piede pronato è un fattore di rischio per lo sviluppo della sindrome femoro rotulea.

**Materiali e metodi.** È stato utilizzato il Sistema Bibliotecario di Ateneo dell'Università degli studi di Genova con l'utilizzo di sei stringhe di ricerca con il termine "adult acquired flat foot" e "pronated foot".

**Risultati.** Sono stati presi in considerazione 12 articoli: 1 revisione sistematica e 2 revisioni non sistematiche, 1 case series, 6 studi analitici trasversali, 1 studio di coorte e 1 studio analitico retrospettivo.

**Discussione.** La misura che è maggiormente significativa sia per la classificazione statica sia per la funzione dinamica è il Foot Posture Index, seguita dalla Subtalar Neutral Position. Le alterazioni riportate nel cammino sono un incremento dell'attività del tibiale posteriore e del tibiale anteriore nella fase di stance.

L'avampiede mostra una ridotta adduzione e una maggiore plantiflessione nella fase di toe off. Il retro piede presenta una maggior eversione e rotazione interna nella fase di stance.

L'eversione calcaneare unilaterale induce un aumento della rotazione interna tibiale e dell'angolo di flessione e rotazione mediale dell'anca, e un tilt anteriore pelvico. Il tratto toracico ha mostrato una rotazione e un tilt frontale verso il piede pronato.

I due articoli sulla sindrome femoro rotulea riportano alterazioni nel cammino discordanti, ma mostrano entrambi una correlazione significativa tra piede pronato e sviluppo della sindrome.

## **INTRODUZIONE**

Il piede piatto può essere classificato come rigido o strutturale, e flessibile o funzionale. Le deformità funzionali non presentano fusioni ossee, mentre quelle strutturali presentano alterazioni ossee franche [D. Cass 2010]. Le più frequenti sono a carico dell'articolazione calcaneo-navicolare e astragalo-calcaneare.

La teoria più accreditata sull'eziologia del piede piatto strutturale è quella di LeBouq sulla mancata differenziazione del tessuto mesenchimale embrionale, che si ipotizza essere un difetto ereditario autosomico dominante o conseguente a un insulto avvenuto nel primo trimestre di gravidanza. Più raramente, la fusione ossea può essere acquisita in conseguenza ad artriti, infezioni, tumori o traumi [D. Cass 2010].

Il piede piatto funzionale è considerato essere una manifestazione di una lassità dei legamenti e delle articolazioni. Può essere congenita o acquisita. In quest'ultimo caso l'eziologia è molto varia: neuropatie, artropatie infiammatorie, fratture. Può essere dovuto alla perdita della funzione di supporto delle strutture dell'arco mediale del piede: rottura o disfunzione del tendine tibiale posteriore, rottura della fascia plantare, instabilità delle articolazioni mediali, soprattutto del primo metatarso-cuneiforme e talonavicolare, lesione del legamento calcaneonavicolare, rottura del tibiale anteriore [Kohls 2004].

La ricerca si è focalizzata sulle alterazioni funzionali del piede pronato, escludendo le alterazioni congenite infantili. Nella popolazione adulta, il piede piatto funzionale è comune, e nella maggior parte dei casi è asintomatico.

Il primo intento è stato quello di ricercare l'esistenza di test validati per differenziare il piede pronato strutturato da quello funzionale, in un ambito di valutazione clinica fruibile per il fisioterapista.

Una volta fatta questa prima grossa differenziazione, un riferimento comune di postura del piede è necessaria per rappresentare la sua funzione durante il cammino, per permettere il confronto tra i soggetti in esame. Il quesito che è stato posto riguarda quali sono le misure validate che permettono di definire un'alterazione posturale in un paziente rispetto alla normalità, e che siano maggiormente utilizzabili in sede di valutazione.

Più rilevante per il ragionamento clinico è successivamente chiedersi se esistono misurazioni effettuabili in statica che siano poi predittive di una funzione dinamica come il cammino, per permettere di includere l'alterazione a livello del piede come fattore di rischio per varie patologie e quindi nel trattamento.

C'è un'evidenza emergente che le variazioni posturali del piede tra gli adulti sani sono associate con cambiamenti nella mobilità degli arti inferiori. Il legame tra le variazioni posturali del piede e il rischio di lesioni agli arti inferiori può essere costituito da un'attività muscolare anormale [Murley 2009].

Vari allineamenti posturali del piede sono stati teoricamente associati con alterazioni del movimento durante il cammino. Il piede piatto è stato associato alla funzione alterata del piede, inclusa la prolungata eversione calcaneare, l'aumento della rotazione interna tibiale, la rotazione mediale del femore, l'aumento dell'abduzione dell'avampiede, la ridotta efficienza nel cammino e il ridotto assorbimento degli shock. Più recentemente, è stato dimostrato che l'eversione calcaneare influenza l'allineamento del bacino [Murley 2011]. Ci si è proposti di valutare quali sono le evidenze in proposito per quanto riguarda le alterazioni posturali nella catena cinetica, muscolari e artrocinematiche.

Infine, la valutazione posturale del piede è frequentemente utilizzata nella pratica clinica per la valutazione di individui con sindromi da overuse. Una condizione frequente per la quale viene eseguita la valutazione è la sindrome

patellofemorale (PFP). Il PFP è presente in un ampio spettro di popolazione, in particolare in individui fisicamente attivi come giovani adulti, atleti, personale militare. Nonostante l'alta incidenza, c'è una mancanza di consenso sull'eziologia di questo disordine. Vengono considerati alcuni fattori di rischio tra cui il mal allineamento femoro rotuleo, la debolezza del quadricipite, gli squilibri dei tessuti molli periarticolari e del vasto mediale, le anomalie ossee. È stato riconosciuto in letteratura che l'eziologia del disturbo è multifattoriale, e può essere influenzata dall'interazione tra i vari segmenti degli arti inferiori e dalla loro alterazione cinematica [Thijs 2007].

L'ultimo quesito che è stato posto è se la pronazione del piede può essere un fattore di rischio per l'insorgenza del PFP.

## **MATERIALI E METODI**

Una prima ricerca ha riguardato la terminologia da utilizzare successivamente nelle stringhe. È stato utilizzato il sistema Mesh su Pubmed sotto il termine "foot". Sotto il gruppo "foot deformities" è risultato il termine "flatfoot" assieme a "foot deformities, acquired" e "foot deformities, congenital". Data la vastità dell'argomento che comprende il primo termine si è reso necessario restringere il campo utilizzando "adult acquired flat foot" per escludere le disfunzioni congenite dell'età infantile.

La ricerca è stata effettuata grazie al sistema bibliotecario di Ateneo dell'università degli studi di Genova, che procede alla ricerca degli articoli disponibili sulle seguenti banche dati: Web of Science, Science Direct, Ovid full text, Giovi, Medline.

È stata utilizzata inizialmente la seguente stringa di ricerca: "adult acquired flat foot" AND "kinematics".

Sono risultati 30 articoli, dal titolo ne sono stati esclusi 28 poiché riguardano l'eziologia, il trattamento chirurgico e con ortesi.

Poiché dalla lettura dei primi due articoli risulta che il termine "flat foot" riguarda una precisa categoria di patologie, ho deciso di utilizzare il termine "pronated foot" perché l'interesse della ricerca si focalizza più sulla più comune disfunzione del piede pronato, anche se per completezza ho incluso la definizione nell'inquadramento iniziale.

Ho cercato quindi con:

"pronated foot and structure"

"pronated foot and kinematics"

"pronated foot and classification"

"pronated foot and posture"

"pronated foot patellofemoral"

Le prime due stringhe hanno lo scopo di definire le alterazioni del piede pronato sia strutturali che dinamiche. La terza stringa si riferisce alla ricerca di un sistema di classificazione e misurazione del piede pronato. La quarta stringa ricerca l'esistenza di evidenze sulle alterazioni posturali del piede. L'ultima stringa si riferisce specificamente al quesito se il piede pronato è un fattore di rischio per la sindrome femoro rotulea.

Sono stati esclusi gli articoli in cui la popolazione oggetto di intervento erano bambini o persone anziane.

Una prima selezione è stata eseguita sulla base del titolo. Una seconda e più approfondita valutazione è stata effettuata dopo la lettura completa degli articoli.

## **RISULTATI**

Sono stati trovati due articoli utilizzati nella sezione introduttiva per inquadrare la problematica del piede piatto. Si tratta di due revisioni non sistematiche che non riportano il metodo di selezione degli articoli. La prima [D. Cass 2010] è una revisione sul piede piatto sia strutturale che funzionale. È stata utilizzata la sezione riguardante la valutazione funzionale. La seconda [Kohls 2004] riguarda in modo specifico la disfunzione del tibiale posteriore. Dell'articolo è stata utilizzata la parte introduttiva sulle cause del piede piatto.

Solo un articolo [Wolf 2007] riguarda prettamente il comportamento osteocinematico di calcagno, cuboide, navicolare, e astragalo, ma si tratta di un case series in cui la misurazione avviene su un campione di tre soggetti senza classificazione posturale, a cui viene applicata una modifica in eversione nell'appoggio. I soggetti vengono posti orizzontalmente su un macchinario e viene applicata una pressione alla pianta del piede pari alla metà del peso del soggetto. I movimenti dei segmenti vengono valutati tramite risonanza magnetica.

Per quanto riguarda le alterazioni posturali del piede pronato, è stato trovato un solo studio [Murley 2011] su soggetti sani, in cui è stata effettuata un'analisi con un sistema di telecamere collegate a una serie di markers posizionati sulla superficie corporea del soggetto, dal torace al piede. È stato posizionato un rialzo calcaneare in modo da provocare un eversione di 5° e di 10°. Sono stati quindi calcolati gli angoli di variazione dei vari segmenti corporei nei tre assi con il soggetto in carico monopodalico.

Gli studi con maggior rilevanza metodologica riguardano le alterazioni muscolari e segmentali del piede nel cammino.

Lo studio di Levinger e al. [2010] utilizza l'Oxford Foot Model, un modello cinematico multisegmentale sviluppato per standardizzare le misure nel cammino, dimostrando buona ripetibilità. Il protocollo di selezione dei soggetti con piede pronato e del gruppo di controllo si basa su valutazioni radiografiche. Viene valutato il movimento nei tre piani dello spazio di tibia, retro piede e avampiede. Questo studio è l'unico a utilizzare il gold standard di misurazione per la classificazione della postura.

Lo studio di Murley, Menz e Landorf [2009] utilizza invece elettromiografia con elettrodi intramuscolari per il tibiale posteriore e peroneo lungo, e di superficie per il tibiale anteriore ed il gastrocnemio. La selezione dei due gruppi è stata effettuata con due misure manuali e quattro misure radiografiche.

Lo studio di Chuter [2010] utilizza markers luminosi su avampiede, retro piede e tibia, il cui segnale viene registrato da telecamere. La selezione dei partecipanti viene fatta attraverso il Foot Posture Index, permettendo di valutarne l'abilità predittiva sulla funzione dinamica del piede nel cammino.

Questi tre articoli hanno dato indicazioni come riferimenti bibliografici alla parte relativa agli indici di misurazione della postura del piede che vengono riportati nella discussione.

È stata trovata una sola revisione sistematica del 2009 di Murley e al., che va ad analizzare la letteratura riguardante la postura del piede, l'effetto dell'utilizzo di ortesi e scarpe sull'attività degli arti inferiori. È stata presa in considerazione la prima parte, che riporta 6 articoli. Vi sono risultati significativi per quanto riguarda le variazioni dell'attività muscolare nei soggetti con piede pronato. Vi è però difficoltà di confronto tra gli studi a causa dell'eterogeneità dei metodi di classificazione usati.

Due articoli riguardano lo studio di una posizione di riferimento per definire la postura del piede. Houck e Tome [2008] utilizzano la Subtalar Neutral Position, una misura manuale utilizzabile dal clinico, riportando risultati significativi. È stato utilizzato un sistema di analisi del movimento con markers a infrarossi posizionati su punti di repere di piede e tibia, riportato su un sistema di assi cartesiani, misurando preventivamente la posizione neutra in un gruppo di soggetti

considerati classificati con piede pronato. I criteri di classificazione si sono basati su misurazioni cliniche manuali: varismo avampiede più di 10° in posizione prona, eversione calcaneare in carico, una differenza di navicular drop di 10 mm o più rispetto alla STN.

Il secondo studio [Redmond 2008] è un'analisi statistica su un campione di 1648 individui utilizzati in precedenti studi, per stabilire quali sono i valori del FPI normali per la popolazione, per avere un punto di riferimento nello stabilire le anomalie posturali del piede e classificarle.

Sulla sindrome patellofemorale è stato trovato uno studio di coorte su un campione di 84 cadetti dell'Accademia Militare Reale del Belgio, a cui sono stati misurati i valori di pressione plantare durante il cammino. Dopo 6 settimane di addestramento 36 soggetti hanno sviluppato la PFP. Sono state individuate le alterazioni dinamiche significative legate allo sviluppo della sindrome [Thijs 2007].

Il secondo articolo [Barton 2011] è uno studio analitico retrospettivo, che si pone l'obiettivo di definire se l'FPI sia uno strumento di misura che mostri un'associazione tra il piede pronato e la PFP. I campioni di 26 soggetti sintomatici e 20 asintomatici sono stati sottoposti a una valutazione dell'avampiede e del retro piede utilizzando un sistema tridimensionale di analisi del cammino.

#### Flow Chart

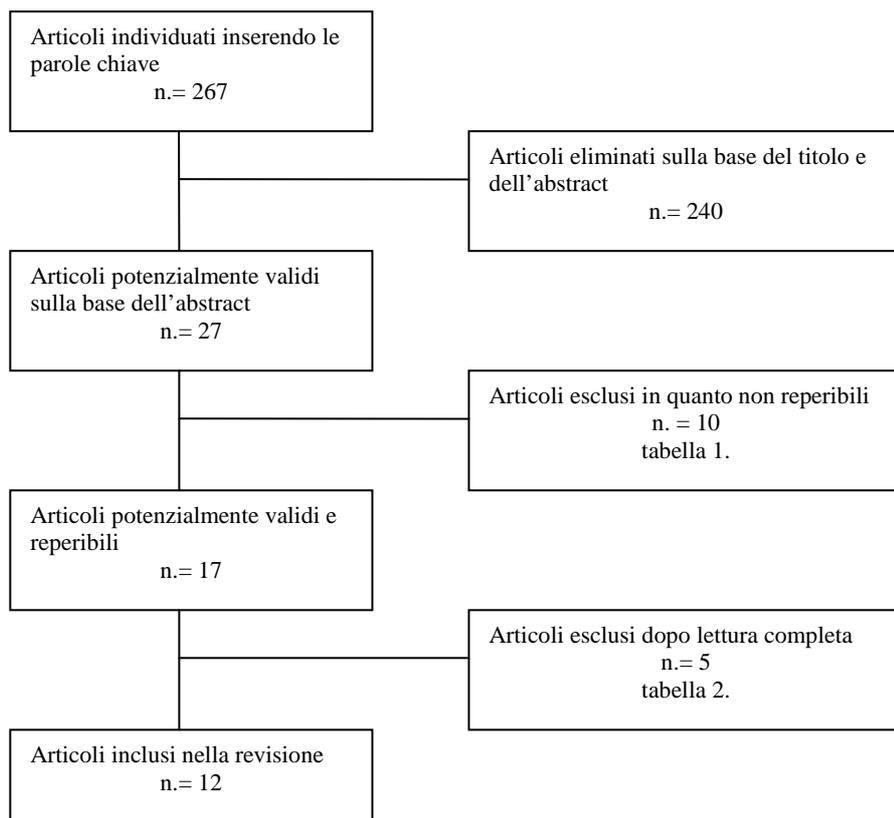


Tabella 1. articoli non disponibili

Walker, "Relationship between foot pressure pattern and foot type" FOOT & ANKLE INT. 1998, 19 (6): 379-383
Cote, "Effects of pronated and supinated foot postures on static and dynamic postural stability" JOURNAL OF ATHLETIC TRAINING 2005,40 (1): 41-46
Rothbart, "Relationship of functional leg-length discrepancy to abnormal pronation", JOURNAL OF THE AMERICAN PODIATRIC MEDICAL ASSOCIATION 2006, 96 (6): 499-504
Thijs e al, "Gait-related intrinsic risk factors for patellofemoral pain in novice recreational runners" BRITISH JOURNAL OF SPORTS MEDICINE 2008, 42 (6): 466-471
Barton e al, "Foot and Ankle Characteristics in Patellofemoral Pain Syndrome: A Case Control and Reliability Study", JOURNAL OF ORTHOPAEDIC & SPORTS PHYSICAL THERAPY 2010, 40 (5): 286-296
Scharfbillig e al, "Criterion validation of four criteria of the foot posture index", JOURNAL OF THE AMERICAN PODIATRIC MEDICAL ASSOCIATION 2004, 94 (1): 31-38
Parker, "Positional relationship between leg rotation and lumbar spine during quiet standing", RESEARCH INTO SPINAL DEFORMITIES 2008, 140: 231-239
E. Billis, "Assessment of foot posture: Correlation between different clinical techniques" The Foot 2007, 17:2
R.G. Nielsen e al, "Video based analysis of dynamic midfoot function and its relationship with Foot Posture Index scores", Gait & Posture 2010, 31:126-130
Samaneh Ebrahimi e al, "The comparison of the force applied to the knee extensor mechanism between flat footed and normal subjects during stance phase of gait", Gait & Posture 2009, 30: 2

Tabella 2. Motivazioni dell'esclusione degli articoli

Articoli esclusi	Motivo di esclusione
Mark W Cornwall1, Thomas G McPoil, "Relationship between static foot posture and foot mobility", Journal of Foot and Ankle Research 2011, 4:4	Articolo considerato per i riferimenti ai sistemi di misurazione della postura del piede, ma non per l'obiettivo di studio. La relazione tra misure e mobilità del piede non è tra i quesiti che sono stati posti.
M.S. Rathleff e al., "Non-linear analysis of the structure of variability in midfoot kinematics", Gait & Posture 2010, 31:385-390	L'obiettivo dello studio non risponde ai quesiti della ricerca, poiché stabilisce i normali valori di variabilità nella mobilità del mesopiede nel cammino, usando un indice, il navicular drop, non utilizzabile nella valutazione clinica.
Max J. L. Chen e al. "Measurement of Forefoot Varus Angle by Laser Technology in People with Flexible Flatfoot", Am. J. Phys. Med. Rehabil. 2003, 82: 11	La metodologia di selezione del gruppo di studio e quello di controllo è troppo vaga, si basa sul fatto che i pazienti "sembrano" avere un piede pronato.
Freychat et al., "Relationship between rearfoot and forefoot orientation and ground reaction forces during running", 1995	Lo studio non riguarda soggetti con piede pronato
Wong e al, "Effect of foot morphology on center-of-pressure excursion during barefoot walking", J. of the Am. Podiatric Med. Ass. 2008, 98 (2): 112-117	Lo studio viene fatto sul centro di pressione del piede, argomento che esula dallo scopo della ricerca

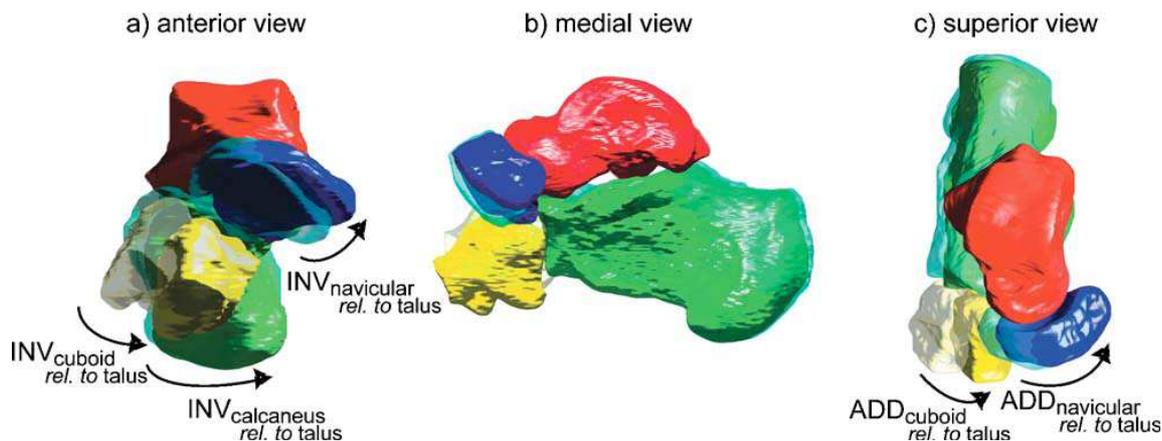
# DISCUSSIONE

## 1. Alterazioni statiche

Le informazioni sulle alterazioni osteocinematiche del piede pronato sono risultate essere esigue. Un riferimento alle alterazioni locali viene fatto nell'articolo di Tateuchi [2011] che riporta l'eversione del calcagno, la flessione plantare e adduzione dell'astragalo nel piede pronato funzionale.

L'articolo di Houck [2008] riporta la presenza di avampiede varo, con elevazione del primo metatarso in posizione di STN (vd. Paragrafo sulle misurazioni).

L'articolo che riporta lo studio con RM [Wolf 2007], in un soggetto con 10° indotti di eversione calcaneare, riportati come i gradi risultanti nella fase iniziale di stance, e con un asse sottoastragalica di 41° sul piano trasversale e 17° gradi sul piano sagittale, a cui è stata applicata metà del suo peso, risulta esserci eversione del calcagno, del cuboide e dello scafoide rispetto all'astragalo e abduzione del cuboide e dello scafoide rispetto all'astragalo. (fig A) È risultata una rotazione minore del calcagno, circa la metà dell'ampiezza della mobilità dell'articolazione sottoastragalica e talonavicolare rispetto al risultato del piede in supinazione, quindi una minore mobilità.



## 2. Misurazioni

### a. Misurazioni di flessibilità-rigidità

Per quanto riguarda la valutazione differenziale tra piede piatto strutturale e funzionale, la revisione di D. Cass [2010] riporta innanzitutto una limitazione della sottoastragalica, e una circonduzione del piede non possibile.

Nell'osservazione in catena cinetica aperta questi pazienti hanno una posizione in valgo del retro piede con possibile equino, pronazione dell'avampiede, perdita dell'altezza dell'arco longitudinale.

Durante la valutazione in carico è difficile distinguere il piede funzionale da quello strutturale. Entrambi possono mostrare vari gradi di valgismo del tallone e abduzione dell'avampiede. Il tallone può essere ipermobile se vi è una componente in equino.

I test utilizzabili sono:

- sollevamento sui talloni: in un piede flessibile (fig B), il tallone andrà in inversione poiché la componente in equino è esclusa, mentre rimane in eversione o in posizione verticale se strutturato (piede destro, fig C);



Fig. B



Fig. C

- heel-tip test: in un piede flessibile, se il paziente tenta di sollevare attivamente il bordo mediale del piede, ne conseguirà una supinazione, rotazione interna della tibia e rotazione esterna della rotula, cosa che non si verifica in un piede strutturato;

- la manovra di Hubscher (fig. D) : in carico, se l'alluce è dorsi flesso manualmente e la gamba viene ruotata esternamente, si verifica una ripresa dell'arco mediale. La manovra potrebbe risultare non valida nel caso di concomitanza di una contrattura in equino. Questo fattore può essere eliminato effettuando la manovra in posizione di passo anteriore.



Fig. D

### *b. Misurazioni di riferimento – statiche*

Passando alle misure per la postura del piede, la letteratura riporta quattro categorie di valutazione : valutazione visiva, valori antropometrici, misure del footprint e valutazione radiografica, di cui l'ultima rappresenta il gold standard [Levinger 2010].

Un sistema di valutazione della postura del piede è il *Foot Posture Index (FPI)* [Murley e Landorf, 2009]. L'FPI valuta il piede nei tre piani dello spazio e in più segmenti del piede, senza richiedere una strumentazione specialistica.

La validità dell'FPI è stata indagata e riportata in precedenza in letteratura: ha una ripetibilità intra e inter esaminatore da moderata a buona [Cornwall 2011].

L'FPI consiste in sei criteri validati basati sull'osservazione del retro piede e dell'avampiede di un soggetto in stazione eretta in posizione rilassata.

Il retro piede è valutato tramite:

- palpazione della testa dell'astragalo
- osservazione delle curve sopra e sotto il malleolo laterale

- l'ampiezza dell'eversione-inversione del calcagno sul piano frontale (rearfoot angle)

L'osservazione dell'avampiede consiste nella valutazione:

- dell'apofisi nella regione dell'articolazione talo-navicolare,
- la congruenza dell'arco longitudinale mediale
- l'ampiezza dell'adduzione-abduzione dell'avampiede sul retro piede. [Chuter 2010, Murley e Menz 2009]

Ogni item ha un punteggio che va da -2 a +2. Un punteggio negativo è indicativo di supinazione, un punteggio positivo di pronazione. Sommando i punteggi si ottiene un totale tra -12 (molto supinato) e +12 (molto pronato). [Murley e Menz 2009] Il valore medio della popolazione adulta dell'FPI è +4, confermando che una leggera pronazione è la normale posizione a riposo [Redmond 2008]. Una postura normale è definita con valori che vanno da 0 a 5, pronata con valori da 6 a 9.

I Range di riferimento statisticamente determinati per le variazioni posturali sono intrinsecamente ampi, devono quindi essere usati come guida generale solo interpretando l'FPI in un contesto clinico. È riconosciuto che clinicamente variazioni relativamente minori dalla media possono aumentare il rischio di patologie meccaniche, anche se la forza di queste relazioni non sono state confermate scientificamente e alcune variano a seconda dei gruppi patologici.

Eccetto che per la postura del piede che cade chiaramente fuori il range normale, il solo riferimento al range è probabilmente inadeguato per la decisione clinica [Redmond 2008].

L'FPI è solo uno tra le misure della postura del piede disponibili.

Nello studio di Houck è stata considerata come misura di riferimento per i soggetti pronati la *Subtalar Neutral Position (STN)*, che consiste nella palpazione dell'articolazione talo-navicolare determinandone la posizione intermedia, o posizione di massima congruenza. Si palpa l'articolazione talo-navicolare mentre il soggetto ruota il retro piede in inversione ed eversione, provocando un appiattimento e un aumento dell'arco in carico.

L'STN è definita come la posizione intermedia della testa dell'astragalo relativamente al navicolare. Definisce la posizione neutra del retro piede e dell'avampiede (1° metatarso). I soggetti normali in posizione STN mantengono il contatto della testa del primo metatarso con il pavimento, i soggetti con piede pronato no.

I risultati di questo studio hanno dimostrato che la posizione STN può essere determinata con buona ripetibilità in una valutazione, permettendo di distinguere a seconda delle posizioni del retro piede e dell'avampiede i piedi pronati dai non pronati. Il clinico è in grado di posizionare il retro piede all'interno di 3° nel 90% delle volte.

Questo metodo può essere utilizzato in deformità non strutturate [Houck 2008].

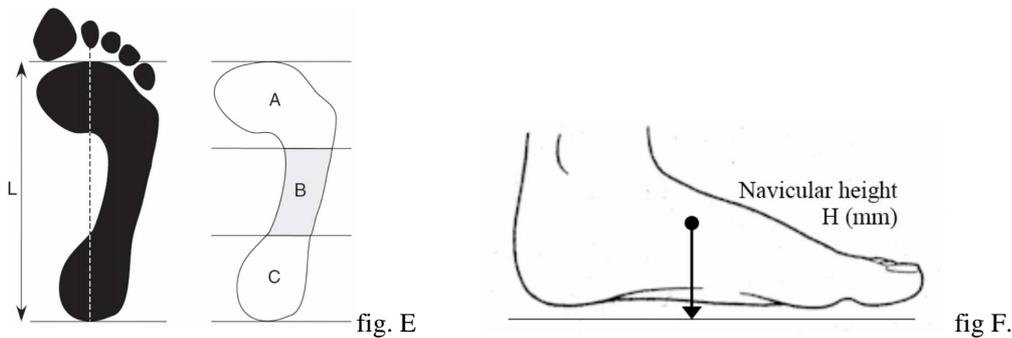
Le seguenti misure sono state tratte dall'introduzione dell'articolo di Cornwall. Non vengono riportati i valori normativi per classificare la postura del piede (sono disponibili solo per l'arch index).

*Dorsal arch height* è la misurazione dell'altezza del piede a metà della lunghezza del piede, con il soggetto in carico bi podalico.

*Dorsal arch height ratio*: è il rapporto tra l'altezza verticale del dorso del piede misurata al 50% della lunghezza totale del piede sulla lunghezza del piede troncata (non è riferito con quale criterio).

*Arch index* è calcolato dividendo l'area del mesopiede per l'intera area dell'impronta. Il mesopiede si ottiene dividendo in tre parti la lunghezza dell'impronta del piede, escludendo le dita. (fig.E)

*Navicular height* è la distanza tra la superficie di appoggio e la tuberosità dello scafoide. (fig F)



### c. Misure statiche predittive di una funzione dinamica

Le due misure riportate come possibili predittori della mobilità dinamica del piede sono l’FPI e la STN.

L’FPI ha un’abilità predittiva significativa per la funzione dinamica del retro piede che può assistere la valutazione clinica. È risultata un forte relazione tra il totale FPI e l’angolo di massima eversione del piede. In particolare l’FPI per il movimento frontale del retro piede predice l’85% di variazione nell’angolo di massima eversione [Chuter 2010].

Utilizzando la STN il gruppo dei piedi pronati ha mostrato una maggiore eversione del retro piede durante la prima fase di stance. In modo simile, differenze nei picchi di dorsiflessione del primo metatarso erano amplificate applicando la STN [Houk 2008].

La maggior limitazione degli studi che investigano la relazione tra la postura del piede e la funzione muscolare degli arti inferiori è che non c’è un metodo universalmente accettato di classificare la postura del piede che sia altamente predittivo della mobilità scheletrica dinamica; non è comunque chiaro se i metodi di classificazione adottati sono appropriati [Murley e Landorf 2009].

## 3. Alterazioni dinamiche

Per quanto riguarda le alterazioni di attivazione muscolare durante il cammino, lo studio elettromiografico di Murley e la revisione sistematica riportano che il tibiale posteriore mostra un incremento dell’attività nella fase di midstance-propulsione. Questo può essere spiegato con il fatto che il grosso carico dato nell’arco mediale porta a un lavoro maggiore del tibiale posteriore per proteggere le strutture dell’arco dall’eccessivo stress e da lesioni.[Murley, Menz e Landorf 2009]

Durante la fase di contatto e midstance/propulsione vi è al contrario un’attività minore del peroneo lungo rispetto alla sua massima forza contrattile, per evitare un ulteriore carico dell’arco mediale o perché il piede risulta meno instabile lateralmente.[Murley e Menz 2009]

Il tibiale anteriore lavora di più in fase di contatto, poiché decelera la plantiflessione e resiste alla pronazione del piede [Murley e Menz 2009]. Anche il flessore lungo dell’alluce ha dimostrato un incremento di attività [Murley e Landorf 2009].

Non sono state rilevate differenze nell’attivazione del gastrocnemio: l’attivazione del gastrocnemio mediale non è influenzata dalla differenza di postura nel piede, né il gastrocnemio influenza l’inversione del retro piede [Murley e Menz 2009].

Per quanto riguarda le alterazioni osteocinematiche, gli studi riportano alterazioni a livello di retro piede, avampiede e tibia.

L'avampiede sul piano frontale mostra una ridotta adduzione nella fase di toe off. Questa riduzione può influenzare la supinazione durante la fase di propulsione. Sul piano sagittale invece vi è una maggiore plantiflessione nella propulsione. Questi risultati possono essere spiegati da studi precedenti che hanno riportato una maggiore attività del flessore lungo dell'alluce e del tibiale posteriore.

Il retro piede sul piano frontale presenta una maggior eversione nella fase di stance e maggior rotazione interna nell'ultima fase di stance. Questi due elementi provocano il piattismo del piede.

Di conseguenza, la maggior rotazione interna ed eversione del retro piede accompagnata dalla maggiore abduzione dell'avampiede può richiedere un maggior sforzo per supinare e invertire il piede per la propulsione. Questo risultato è coerente con quanto precedentemente esposto.

Un incremento della rotazione interna del retro piede può essere associata ad un incremento della rotazione interna tibiale, poiché l'astragalo funge da collegamento anatomico tra il retro piede e la tibia. Nello studio, anche se non statisticamente rilevante, il gruppo dei piedi pronati ha dimostrato un picco di rotazione interna durante la fase di stance [Levinger, 2010].

#### **4. Alterazioni posturali nella catena cinetica**

Il solo articolo che riporta lo studio delle modificazioni posturali fino al tronco, rileva che l'eversione calcaneare unilaterale induce un aumento dell'angolo di flessione e rotazione mediale dell'anca, un tilt anteriore pelvico, ma più posteriore rispetto all'eversione bilaterale. Con 5° di eversione calcaneare vi è una diminuzione del tilt laterale pelvico e quindi un abduzione dell'anca, mentre il tilt aumenta a 10° di eversione. Non sono stati rilevati gradi significativi di rotazione pelvica. Il tratto toracico ha mostrato una rotazione e un tilt frontale verso il piede pronato.

È stato rilevato uno spostamento del carico in direzione mediale. Questo shift mediale può essere compensato da uno shift della parte superiore del corpo verso il lato compromesso per mantenere l'equilibrio posturale. Nonostante questo, la colonna toracolombare era inclinata verso la gamba sollevata in conseguenza al tilt laterale. Di conseguenza è presumibile che il segmento toracico era ruotato per spostare la massa del tronco superiore verso il piede in appoggio [Murley 2011].

#### **5. Sindrome patellofemorale (PFP)**

Lo studio di coorte [Thijs 2007] riporta tre fattori intrinseci legati al cammino come fattori predittivi dello sviluppo della PFP:

1. distribuzione della pressione nella fase di contatto più lateralizzata. Nel gruppo che ha sviluppato PFP la distribuzione della pressione plantare era significativamente più lateralizzata al primo contatto del piede, pronando di meno. Poiché un'adeguata pronazione del piede è necessaria per permettere l'assorbimento degli shock, una diminuzione della stessa può causare un contatto più rigido per cui le forze di reazione del pavimento vengono trasferite alle articolazioni prossimali, con un carico maggiore per l'articolazione del ginocchio;
2. nel gruppo con PFP il picco di pressione sul 4°metatarso era raggiunto prima;
3. vi è un ritardo del cambio del centro di pressione in direzione latero-mediale durante la fase di contatto dell'avampiede.

Il rotolamento del piede nei pazienti sintomatici è risultato avvenire più lateralmente. Questo può portare a una minor rotazione interna della tibia, quindi a una lateralizzazione della tuberosità tibiale e della sua posizione relativa al femore, aumentando l'angolo Q. A sua volta un angolo Q maggiore può portare a una lateralizzazione della rotula e un maggior contatto laterale della faccetta rotulea laterale.

I risultati di questo studio sono contraddittori con altri che mostravano un'alterazione in eccessiva pronazione nella fase di contatto. È plausibile che un carico eccessivo dell'articolazione può portare a un compenso in entrambe le direzioni, portando in entrambi i casi a disfunzione dell'articolazione femoro rotulea.

Gli autori riportano la necessità di essere cauti nel considerare comunque alterazioni del piede come fattori di rischio poiché il campione considerato erano militari sottoposti a intensi sforzi fisici.

Il secondo articolo preso in considerazione [Barton 2011] riporta che l'FPI è una misura significativa di alterazione dinamica nei soggetti con PFP per quanto riguarda il tempo di raggiungimento del picco di eversione del retro piede, che risulta anticipato, e il picco di abduzione dell'avampiede. Una postura del piede in pronazione comporta quindi una più rapida pronazione dinamica nelle persone predisposte allo sviluppo della sindrome.

Non c'è invece associazione significativa con un aumento dell'eversione del retro piede.

I risultati di questo studio dimostrano quindi che una postura più pronata non ha relazione con il PFP per quanto riguarda l'aumento dell'eversione del retro piede.

Secondo gli autori è necessario considerare che la pronazione del piede può essere una conseguenza e non una causa del dolore nei soggetti. Il risultato, che va in contrasto con precedenti studi, può indicare non tanto la mancanza di correlazione tra l'eccessiva eversione e lo sviluppo della patologia, ma il limite di predittività dell'FPI nel considerare la patologia.

## **CONCLUSIONI**

Il piede pronato è una disfunzione comune, che può essere conseguente a fattori congeniti o acquisiti. Le alterazioni locali che la letteratura riporta più frequentemente sono l'eversione del retro piede e l'abduzione dell'avampiede. La misura che ha più referenze in letteratura è il Foot Posture Index, per cui esistono dati normativi, seguito dalla Subtalar Neutral Position. Queste due misure hanno dimostrato una buona ripetibilità sia per la valutazione statica sia per quella dinamica. Le migliori evidenze sono state trovate per l'alterazione muscolare e cinetica durante il cammino, per cui la letteratura riporta per il retro piede una maggior eversione nella fase di stance e maggior rotazione interna nell'ultima fase di stance, con un aumento dell'attività del tibiale posteriore, del tibiale anteriore e del flessore lungo dell'alluce.

L'avampiede sul piano frontale mostra una ridotta adduzione nella fase di toe off, sul piano sagittale invece vi è una maggiore plantiflessione nella propulsione.

Un incremento della rotazione interna del retro piede può essere associata ad un incremento della rotazione interna tibiale. Le altre alterazioni posturali non sono supportate da numerosi dati in letteratura. Per quanto riguarda la sindrome femoro-rotulea, il piede pronato risulta avere una certa correlazione, mentre il FPI non risulta essere uno strumento predittivo significativo.

Vi sono due limiti principali sugli studi presi in considerazione: il primo è l'eterogeneità dei metodi di misurazione che non li rendono confrontabili. Solo uno utilizza un gold standard. La seconda è la bassa qualità metodologica di alcuni studi, che studiano la pronazione indotta con rialzi su un piede normale. È necessario in futuro rendere omogeneo il metodo di classificazione e approfondire le alterazioni posturali anche su soggetti con patologia.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. Andrea D. Cass, DPM, Craig A. Camasta, “A Review of Tarsal Coalition and Pes Planovalgus: Clinical Examination, Diagnostic Imaging, and Surgical Planning”, *The Journal of Foot & Ankle Surgery* 2010, 49: 274–293
2. Julie Kohls-Gatzoulis, John C Angel, Dishan Singh, Fares Haddad, Julian Livingstone, Greg Berry, “Tibialis posterior dysfunction: a common and treatable cause of adult acquired flatfoot”, *BMJ* 2004, vol 329
3. George S Murley, Hylton B Menz and Karl B Landorf, “Foot posture influences the electromyographic activity of selected lower limb muscles during gait”, *Journal of Foot and Ankle Research* 2009, 2:35
4. George S. Murley, Karl B. Landorf , Hylton B. Menz , Adam R. Bird, Hiroshige Tateuchi a, Osamu Wada b, Noriaki Ichihashi, “Effects of calcaneal eversion on three-dimensional kinematics of the hip, pelvis and thorax in unilateral weight bearing”, *Human Movement Science* 2011
5. Youri Thijs, Damien Van Tiggelen, Philip Roosen, Dirk De Clercq, Erik Witvrouw, “A Prospective Study on Gait-related Intrinsic Risk Factors for Patellofemoral Pain”, *Clin J Sport Med* 2007, 17: 6
6. P. Wolf, R. Luechinger, P. Boesiger, E. Stuessi, A. Stacoff, “A MR Imaging Procedure to Measure Tarsal Bone Rotations”, *Journal of Biomechanical Engineering* 2007, 129: 931
7. Pazit Levinger, George S. Murley, Christian J. Barton , Matthew P. Cotchett, Simone R. McSweeney, Hylton B. Menz, “A comparison of foot kinematics in people with normal- and flat-arched feet using the Oxford Foot Model”, *Gait & Posture* 2010, 32: 519–523
8. Vivienne H Chuter, “Relationships between foot type and dynamic rearfoot frontal plane motion”, *Journal of Foot and Ankle Research* 2010, 3:9
9. George S. Murley, Karl B. Landorf , Hylton B. Menz , Adam R. Bird, “Effect of foot posture, foot orthoses and footwear on lower limb muscle activity during walking and running: A systematic review”, *Gait & Posture* 2009, 29: 172–187
10. Jeff R. Houck, Josh M. Tome, Deborah A. Nawoczenski, “Subtalar neutral position as an offset for a kinematic model of the foot during walking”, *Gait & Posture* 2008, 28: 29–37
11. Anthony C Redmond, Yvonne Z Crane and Hylton B Menz, “Normative values for the Foot Posture Index”, *Journal of Foot and Ankle Research* 2008, 1:6
12. Christian J Barton, Pazit Levinger, Kay M Crossley, Kate E Webster , Hylton B Menz, “Relationships between the Foot Posture Index and foot kinematics during gait in individuals with and without patellofemoral pain syndrome”, *Journal of Foot and Ankle Research* 2011, 4:10
13. Mark W Cornwall<sup>1</sup>, Thomas G McPoil, “Relationship between static foot posture and foot mobility”, *Journal of Foot and Ankle Research* 2011, 4:4