

# STUDIO SU PEDANA DINAMOMETRICA DEL PIEDE IPERPRONATO

Gian Luigi Canata

Istituto di Medicina dello Sport di Torino

Un corretto contatto del piede al suolo è necessario sia per ammortizzare l'impatto sia per sviluppare una successiva valida azione propulsiva. Una valutazione funzionale della caviglia e del piede è importante nello sportivo sintomatico ma complessa per la molteplicità degli aspetti biomeccanici da analizzare.

Spesso giungono all'osservazione del medico sportivo soggetti che presentano una iperpronazione del piede associata a sintomi da sovraccarico muscolo-tendineo o articolare degli arti inferiori.

Ogni alterazione biomeccanica della caviglia può essere ipoteticamente cofattore di patologie da sovraccarico.

La tibio-tarsica, la sottoastragalica e la medio-tarsica sono interdipendenti durante la fase di appoggio del passo. Immediatamente dopo l'appoggio calcaneale la caviglia flette provocando una intrarotazione e adduzione della tibia e dell'astragalo. La sottoastragalica prona ed il calcagno va in eversione permettendo la massima mobilità della mediotarsica.

Successivamente nella fase intermedia dell'appoggio la sottoastragalica inizia a supinare e la tibia si muove anteriormente sull'astragalo ed extraruota, l'astragalo si adduce. Nella fase di spinta la sotto astragalica supina stabilizzando il cuboide, fulcro del peroneo lungo. Viene così facilitata la flessione plantare del primo raggio. Le strutture legamentose sono importanti elementi attivi (per le fun-

zioni propriocettive) e passivi di controllo del movimento.

Gli stabilizzatori primari della rotazione interna della tibia sono il legamento peroneo-astragalico anteriore ed il legamento deltoideo.

La rotazione esterna è stabilizzata dal legamento peroneo-calcaneale.

I movimenti della caviglia sono triplanari e permettono di trasformare in avanzamento le componenti rotatorie. La tibia ruota circa 19° nel passo. La maggior parte della rotazione tibiale avviene fra la posizione neutra e 20 gradi di supinazione (0,2 gradi di rotazione esterna per ogni grado di supinazione del piede (2)). Nel piede le rotazioni tibiali si trasformano in pronosupinazione non solo a livello della sottoastragalica ma anche nella astragalo-scafoidea. Questo è permesso dalla obliquità degli assi della tibio-tarsica e della sottoastragalica. Nei soggetti normali questo meccanismo di trasmissione delle sollecitazioni torsionali appare più efficace in supinazione che in pronazione (2).

Se il calcagno va in eccessiva eversione ne consegue una eccessiva pronazione della sottoastragalica ed un piede ipermobile con una minore forza di propulsione. Viene inoltre diminuita la capacità di assorbimento delle sollecitazioni al momento del contatto con il suolo.

L'iperpronazione può essere dovuta a molteplici fattori (1):

1) congenita: deformità rigide o flessibili;

2) acquisita: intrinseca (traumatica, da lassità legamentosa, compensatoria) o estrinseca (deformità rotazionali o eterometrie degli arti inferiori). Per una migliore comprensione delle sollecitazioni derivanti da una iperpronazione del piede abbiamo eseguito una valutazione su pedana dinamometrica.

## MATERIALE

Sono stati valutati 28 giovani studenti ISEF:

14 soggetti con piede iperpronato (9 femmine, 5 maschi, età media 22,5 anni, peso medio 61,249, altezza 1,714) (foto 1).



Foto 1 - Esempio di piede iperpronato in appoggio monopodalico. È evidente la intrarotazione tibiale.

14 soggetti di controllo (9 femmine e 5 maschi, età media 22,1 anni, peso medio 61,714, statura 1,705).

## METODI

È stata eseguita una valutazione della forza isometrica dei flessori plantari

del piede, dei flessori dorsali, dei supinatori e dei pronatori del piede con dinamometro isometrico (foto 2).

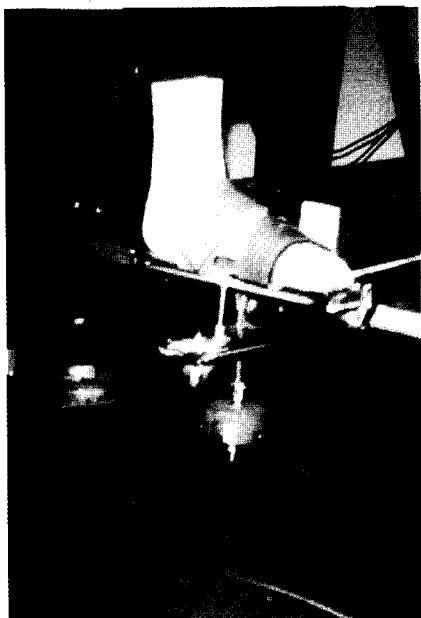


Foto 2 - Valutazione dinamometrica isometrica.

È stata inoltre eseguita una valutazione del passo alla velocità di 1 m/s e della corsa alla velocità di 3 m/s su pedana dinamometrica Kistler (foto 3).

Un metronomo indicava la frequenza del passo da seguire.

Il confronto statistico tra i valori medi campionari ottenuti è stato effettuato con il test "t" di Student.

### RISULTATI

I risultati sono riportati nelle tabelle 1-6.

Valutazione dinamometrica isometrica:

Non sono emerse differenze significative nella valutazione della forza isometrica dei muscoli esaminati.

Valutazione del passo e della corsa su pedana dinamometrica:

La fase pronatoria dell'appoggio del piede al suolo risulta sempre maggiore nei soggetti con piede pronato a tutte le velocità considerate. Il tempo della fase pronatoria è maggiore con differenze però non significative.

I piedi iperpronati inoltre presentano sempre un tempo totale di appoggio inferiore.

Sono inoltre emerse specifiche differenze significative:

*Passo: 1 m/s*

Le forze frenanti sul piano sagittale sono significativamente maggiori nei

piedi iperpronati (p. 0,040). Il picco di forza di spinta verticale giunge prima negli iperpronati (p. 0,005).

*Corsa: 3 m/s*

La forza pronatoria sviluppata sul piano trasversale è maggiore nei piedi iperpronati (p. 0,040) come pure lo sviluppo di forza verticale al momento dell'impatto al suolo (p. 0,001) con un tempo totale di appoggio inferiore (p. 0,035). Inoltre lo sviluppo di forza verticale al momento della spinta è significativamente inferiore (p. 0,002). Il picco di forza di spinta verticale giunge prima negli iperpronati (p. 0,000). Il tempo totale di appoggio è significativamente inferiore negli iperpronati (p. 0,035).

### DISCUSSIONE

Il piede iperpronato presenta nell'appoggio al suolo un maggiore sviluppo di forze pronatorie e frenanti che provocano un più violento impatto al suolo.

Il piede iperpronato presenta un tempo totale di appoggio significativamente inferiore mentre il tempo della fase pronatoria è maggiore (pur non raggiungendo la significatività statistica). Il tempo riservato allo sviluppo di forza propulsiva risulta quindi inferiore nel piede iperpronato che peraltro presenta anche un impatto al suolo più violento. Ne consegue un minore sviluppo di forza propulsiva.

Il piede iperpronato presenta quindi una minore capacità di ammortizzare gli impatti del piede al suolo e risulta meno efficiente nello sviluppo di forza propulsiva. La fase supinatoria e di spinta risulta concentrata in un tempo nettamente più breve, anche in considerazione del minore tempo totale di appoggio, con uno sviluppo di forza inferiore.

La valutazione dinamometrica dei vari gruppi muscolari del piede non evidenzia differenze significative fra soggetti con piede normale od iperpronato. L'iperpronazione nel sogget-

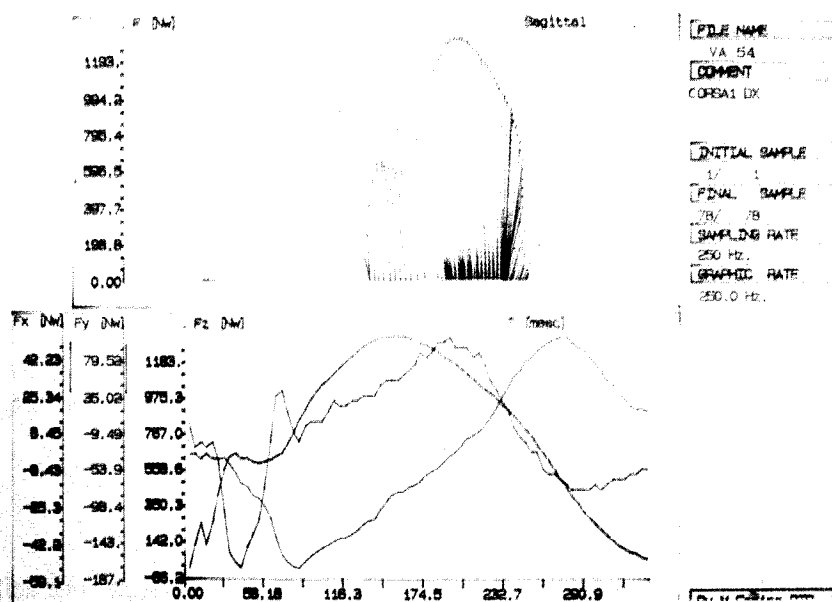


Foto 3 - Valutazione su pedana dinamometrica. Grafico di una prova di corsa.

o adulto non può essere ricondotta soltanto a squilibri muscolari: agli esercizi di rinforzo muscolare dei muscoli supinatori devono essere associati altri mezzi correttivi quali ortesi supinatorie ed esercizi per migliorare la propriocezione del piede.

**BIBLIOGRAFIA**

- 1) DONATELLI R.: *Biomechanics of the foot*, Davis Company Ed., Philadelphia, 1990.
- 2) LUNDBERG A. ET AL.: *Kinematics of the ankle/foot complex - Part. 2: Pronation and Supination. Foot and Ankle*. 1989,9 (5): 248-253.

Tabella 1. Valutazione dinamometrica della flessione plantare

	N. CASI	KG	DEVIAZIONE STANDARD	P
<i>Flessione Plantare DX</i>				
Iperpronati	14	79,143	19,849	
Controllo	14	83,357	10,973	0,500
<i>Flessione Plantare SIN</i>				
Iperpronati	14	80,143	21,579	
Controllo	14	86,786	10,047	0,311

Tabella 2. Valutazione dinamometrica flessione dorsale del piede

	N. CASI	KG	DEVIAZIONE STANDARD	P
<i>Flessione Dorsale DX</i>				
Iperpronati	14	19,571	7,068	
Controllo	14	23,071	5,076	0,141
<i>Flessione Dorsale SIN</i>				
Iperpronati	14	19,786	7,202	
Controllo	14	22,071	5,136	0,655

Tabella 3. Valutazione dinamometrica supinatori del piede

	N. CASI	KG	DEVIAZIONE STANDARD	P
<i>Supinazione Destra</i>				
Iperpronati	14	34,929	12,061	
Controllo	14	32,143	6,927	0,534
<i>Supinazione Sinistra</i>				
Iperpronati	14	33,357	11,050	
Controllo	14	32,857	7,725	0,886

Tabella 4. Valutazione dinamometrica pronatori del piede

	N. CASI	KG	DEVIAZIONE STANDARD	P
<i>Pronazione Destra</i>				
Iperpronati	14	13,643	4,144	
Controllo	14	14,643	3,713	0,514
<i>Pronazione Sinistra</i>				
Iperpronati	14	14,429	5,258	
Controllo	14	13,500	3,632	0,534

Tabella 5. Valutazione del passo su pedana dinamometrica. Velocità 1 metro/sec.

PARAMETRI	SOGGETTI	NEWTONS	DEVIAZIONE STANDARD	P
TAPP	IPERPRON.	766,125	119,285	
	CONTROLLO	817,000	101,119	0,624
TZPRON	IPERPRON.	216,000	190,431	
	CONTROLLO	184,375	38,109	0,661
TZSUP	IPERPRON.	416,087	186,494	
	CONTROLLO	655,375	87,165	0,005
FZPRON	IPERPRON.	786,019	158,639	
	CONTROLLO	787,375	143,817	0,983
FZSUP	IPERPRON.	728,713	120,549	
	CONTROLLO	770,375	97,487	0,535
FYSUP	IPERPRON.	96,834	117,696	
	CONTROLLO	134,875	22,844	0,597
FYPRON	IPERPRON.	-218,196	70,389	
	CONTROLLO	-150,250	44,953	0,040
FXSUP	IPERPRON.	31,740	13,499	
	CONTROLLO	41,500	10,349	0,124
FXPRON	IPERPRON.	-42,130	17,273	
	CONTROLLO	-30,375	16,046	0,662

Tabella 6. Valutazione su pedana dinamometrica della corsa. Velocità 3 m/s.

PARAMETRI	SOGGETTI	NEWTONS	DEVIAZIONE STANDARD	P
TAPP	IPERPRON.	216,750	32,614	
	CONTROLLO	270,000	56,624	0,035
TZPRON	IPERPRON.	65,875	46,277	
	CONTROLLO	44,500	8,264	0,238
TZSUP	IPERPRON.	27,814	30,593	
	CONTROLLO	115,750	15,962	0,000
FZPRON	IPERPRON.	1987,161	271,560	
	CONTROLLO	1457,250	256,862	0,001
FZSUP	IPERPRON.	1485,094	311,272	
	CONTROLLO	1960,375	182,480	0,002
FYSUP	IPERPRON.	247,420	149,121	
	CONTROLLO	182,375	28,339	0,265
FYPRON	IPERPRON.	-418,023	92,079	
	CONTROLLO	-340,500	163,400	0,288
FYSUP	IPERPRON.	97,060	48,245	
	CONTROLLO	91,500	58,583	0,833
FYPRON	IPERPRON.	-116,594	36,630	
	CONTROLLO	-60,875	60,132	0,040