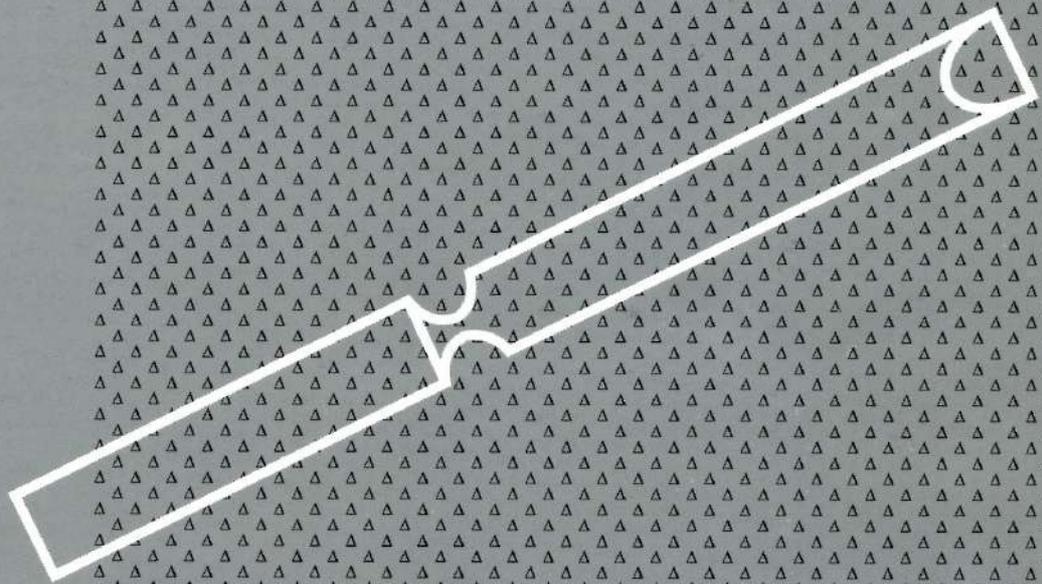


VOL. VIII - FASCICOLO 2

II-III quadrimestre 1994 - Sped. Abb. postale - Pubbl. inf. 50%

1994

LO SCALPELLO



ORTOPEDICI TRAUMATOLOGI OSPEDALIERI D'ITALIA

ORTOPEDICI
TRAUMATOLOGI
OSPEDALIERI
D'ITALIA

Misurazione della lunghezza dei segmenti scheletrici mediante ecografia

F. RONDINELLA - N. DE SANCTIS

RIASSUNTO - Le metodiche radiografiche convenzionali di misurazione della lunghezza dei segmenti scheletrici presentano vari inconvenienti tecnici oltre al rischio da radiazioni ionizzanti. Le più moderne tecniche digitali sono costose e non applicabili in tutti i casi. La necessità di una misurazione accurata e ripetuta nel tempo, specie in giovani pazienti con esiti di fratture delle ossa lunghe e con paramorfismi scoliotici ha portato allo sviluppo di un nuovo metodo di misurazione ecografica basato sull'impiego di uno strumento denominato ecomelometro in grado di misurare l'altezza del segmento osseo, ossia la distanza fra i suoi piani polari. Esso consta di un'apparecchiatura di precisione su cui è montata la sonda ecografica e fornisce la misura digitale in tempo reale. È stato condotto uno studio teorico dell'errore e sono stati standardizzati punti di repere ecografici corrispondenti ai poli ossei al fine di uniformare la metodica. L'accuratezza è stata studiata sottoponendo a misurazione 8 femori e 8 tibie di 4 adulti e 4 bambini apparentemente sani da parte di 14 esaminatori e comparando la media dei valori ottenuti con la media delle misure teleradiografiche degli stessi soggetti. I risultati ottenuti (basso scarto percentuale fra diversi osservatori e valore costante nello scarto differenziale rispetto alle teleradiografie) suggeriscono un'eccellente affidabilità di questa nuova metodica di misurazione della lunghezza dei segmenti scheletrici.

SUMMARY - Accurate leg length measurement is often required in general and pediatric orthopedics especially in outpatients with healed fractures of long bones and minor spine deviations. The conventional and digital X-ray techniques involve radiation risk and other well-known drawbacks like magnification, immobility, high cost for digital scan. So a new sonographic method has been developed. A digital device, named "Echomelometer", working horizontally, measures the height of the bone, i.e. the distance between its polar planes, by means of longitudinal scans. Error theory has been studied and sonographic landmarks have been standardised. Accuracy of the method has been evaluated by analysing the interobserver variation (8 femurs and 8 tibias have been measured in 8 normal subjects by 14 examiners using echomelometer) and by comparing the mean sonographic values to the mean radiographic measures of same period/same patient teleradiographies. Good results (low difference rate in interobserver variation and constant difference rate in radiographic comparison) strongly suggest high accuracy of this new method.

STATO DELL'ARTE

È ben nota la scarsa attendibilità, specie in soggetti adiposi, dei metodi clinici di misurazione della lunghezza e della etero-

metria degli arti inferiori, sia con l'impiego di nastro millimetrato che mediante blocchetti plantari di spessore noto collocati dal lato più corto (Clarke, 1972).

La necessità di una misurazione accurata ha portato allo sviluppo di varie tecniche strumentali basate sull'impiego di raggi X, di cui si riassumono le caratteristiche e gli svantaggi.

1) Teleradiografia (TRG)

Richiede un'apparecchiatura di radiografia a distanza; l'ingrandimento radiografico è ridotto ma non annullato; anche con l'uso di schermi differenziati è spesso difficile ottenere una omogenea esposizione degli estremi articolari di anche e caviglie; una rigidità in flessione del ginocchio e/o dell'anca comporta un errore non trascurabile, così come l'eventuale presenza di fissatore esterno circolare. È la tecnica maggiormente irradiante per il paziente.

2) Ortoradiografia (Green, 1946; Merrill, 1942)

Comporta un'esposizione di circa 200 millirad; richiede la perfetta immobilità del paziente per circa 20 minuti che, se non rispettata, determina un errore non svelabile sul radiogramma; presenta gli stessi limiti della TRG per quanto attiene all'eventuale presenza di fissatore esterno circolare o di rigidità in flessione; in caso di grandi eterometrie, infine, non è possibile centrare il fascio sulle due caviglie.

3) TC "scout view" (Aitken, 1985; Helms, 1984)

Sulla radiografia digitale del segmento scheletrico ottenuta con la TC (cosiddetta scout view) è possibile misurare accuratamente la distanza fra 2 punti. La tecnica è poco irradiante (circa 20 millirad), ma la dimensione massima misurabile è di 48 cm, richiede immobilità, corretto posizionamento dell'arto e non è effettuabile in caso di impianti esterni.

Un sistema di radiografia digitale a basso dosaggio espressamente studiato per la misurazione della lunghezza degli arti inferiori è stato messo a punto alcuni anni fa da autori americani (Altongy, 1987). Si tratta di un'apparecchiatura complessa e costosa.

La prima pubblicazione sulla misurazione ecografica dell'eterometria degli arti inferiori si deve ad autori norvegesi (Junk, 1992; Terjesen, 1992) che citano un prece-

dente lavoro condotto da altri autori sugli arti inferiori di cadaveri misurati ecograficamente e successivamente comparati con la misura diretta dei preparati anatomici (Holst, 1988).

Terjesen e al. hanno utilizzato uno strumento simile ad uno stativo fotografico portante la sonda ecografica all'estremità del braccio con il quale hanno misurato l'altezza da terra dell'articolazione coxo-femorale mediante scansioni assiali con paziente in ortostasi.

A differenza dello strumento utilizzato dagli autori scandinavi, lo strumento da noi realizzato, a cui è stato dato il nome di *Ecomelometro*, permette la misurazione della lunghezza del segmento scheletrico o dell'arto in toto con paziente in clinostasi mediante scansioni longitudinali che consentono di rilevare precisi punti di repere.

DEFINIZIONE DI LUNGHEZZA DI UN SEGMENTO SCHELETRICO

Definiamo *lunghezza* di un segmento scheletrico la *distanza tra i piani polari* ossia i piani tangenti i poli prossimale e distale del segmento in esame, dove per *polo* deve intendersi il punto articolare estremo sottoposto a carico. In tal senso la definizione coincide con quella (a rigore preferibile) di "altezza", in quanto non tiene conto di eventuali angolazioni o incurvamenti dell'osso ed esclude quelle parti del segmento ininfluenti sulla statica (spine tibiali, malleoli etc.).

INDIVIDUAZIONE ECOGRAFICA DEI PIANI POLARI

Si traccia sullo schermo ecografico una linea verticale che divide esattamente a metà il campo di immagine.

Tale linea, denominata Linea del Fascio Ultrasonico Centrale (LFUC), corrisponde, fuori della realtà virtuale, al fascio centrale

degli ultrasuoni e quindi all'asse mediano longitudinale della sonda stessa.

Si esegue in corrispondenza del distretto articolare da esaminare una scansione che sia rigorosamente:

- *verticale* (coronale, sagittale o intermedia);

- *perpendicolare*: la direzione degli ultrasuoni deve essere perpendicolare alla direzione di misurazione ossia all'asse principale dell'arto;

- *centrale*: nelle articolazioni sferiche il piano di scansione deve passare per il centro dell'articolazione.

Individuata la scansione corretta si sposterà delicatamente la sonda in senso craniocaudale finché la LFUC risulti tangente al prescelto punto di repere ecografico (Fig. 1). In tale istante la LFUC corrisponderà alla retta di intersezione ortogonale tra piano di scansione ultrasonica e piano polare ricercato (Fig. 2).

L'ECOMELOMETRO (Figg. 3 e 5)

Il prototipo realizzato e da noi sperimentato è uno strumento da tavolo da collocare di fianco al lettino del paziente. Es-

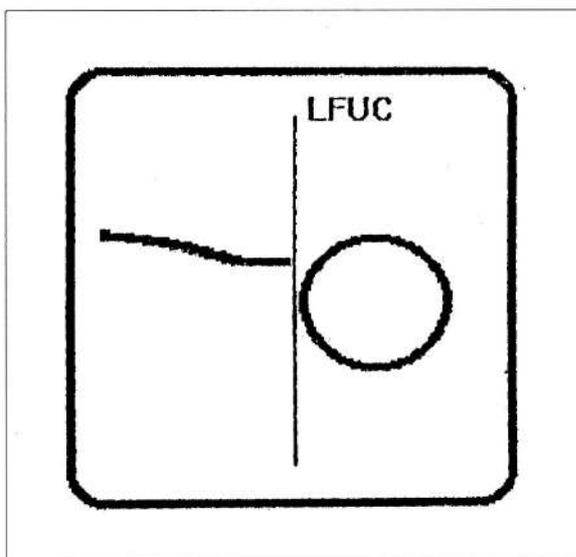


Fig. 1 - Linea del fascio ultrasonico centrale (LFUC).

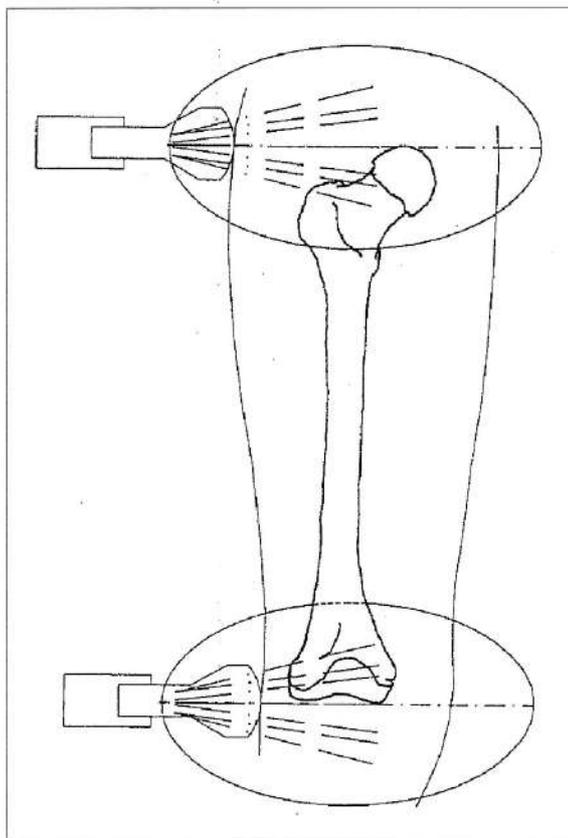


Fig. 2 - La LFUC corrisponde alla retta d'intersezione ortogonale fra piano di scansione ultrasonica e piano polare ricercato.

so consta di una monorotaia rettilinea lunga circa un metro su cui scorre un carrello di precisione il cui spostamento è registrato mediante un sistema di lettura digitale collegato ad una centralina elettronica dotata di visualizzatore luminoso. Sul carrello è montato un braccio snodabile alla cui estremità è fissata la sonda mediante un supporto autocentrante, in modo tale che quale che sia la forma assunta dal braccio, l'asse della sonda e la LFUC corrisponderanno all'asse mediano del braccio che corrisponde al punto di lettura del carrello.

Lo spostamento della sonda supportata, dalla posizione esplorante il primo punto di repere alla posizione esplorante il secondo punto di ripere, è letto direttamente sul visualizzatore.

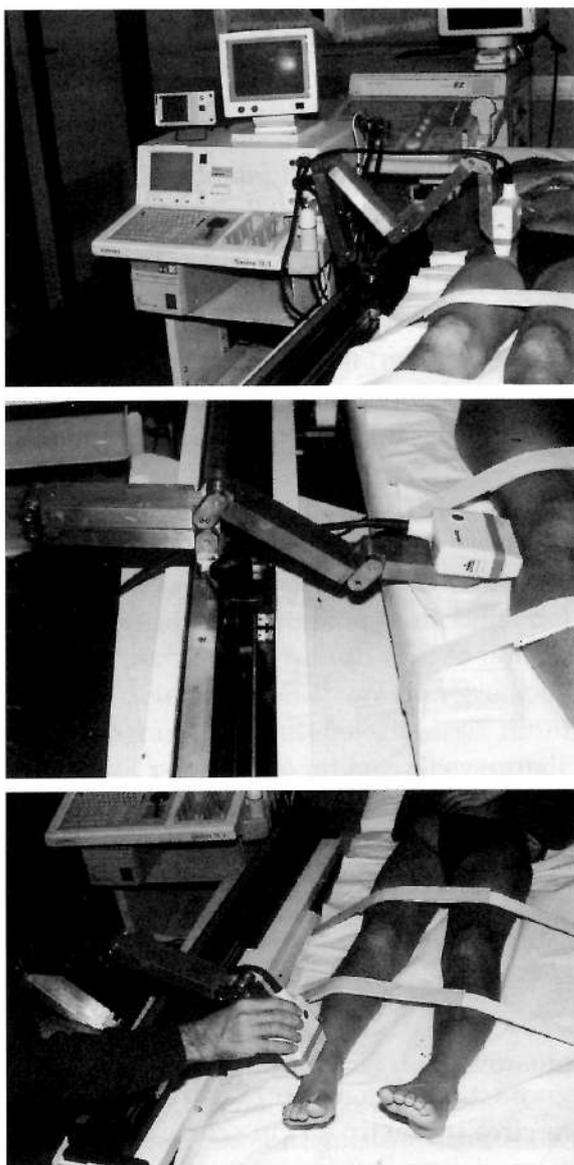


Fig. 3 - Posizioni della sonda montata sul braccio dell'ecomelometro durante le scansioni A: dell'anca, B: del ginocchio e C: della caviglia.

METODICA

Viene illustrata la metodica di misurazione degli arti inferiori.

Il paziente viene adagiato su lettino medico con gli arti inferiori bloccati da cinghie in velcro. L'ecomelometro è collocato longitudinalmente su di un tavolino di fianco al paziente col maggior asse *sensibilmente parallelo* all'asse verticale degli arti inferiori. Si rileva il piano polare prossima-

le mediante un'opportuna scansione d'anca; si azzerava il display; si rileva il piano polare distale mediante opportune scansioni della caviglia (per la misura in toto) e del ginocchio per la misura segmentaria, leggendo il valore sul display.

Le possibilità teoriche di errore sono legate a:

- strumento;
- operatore;
- standardizzazione dei punti di reperi.

Le possibilità di errore legate allo *strumento* sono praticamente nulle poiché come s'è detto, l'ecomelometro utilizza una meccanica di altissima precisione e un sistema di lettura digitale in grado di discriminare il centesimo di millimetro.

L'*operatore*, oltre a scegliere la scansione giusta e il punto di reperi stabilito, deve anche posizionare l'arto correttamente per evitare errori da falso parallelismo. Tale errore deve essere comunque considerato trascurabile se l'angolo formato fra asse dello strumento e asse degli arti inferiori è contenuto in pochi gradi. Infatti si può dimostrare che l'errore relativo è proporzionale a tale angolo (angolo alfa) con progressione non lineare (Fig. 6) ed è calcolabile con la formula seguente:

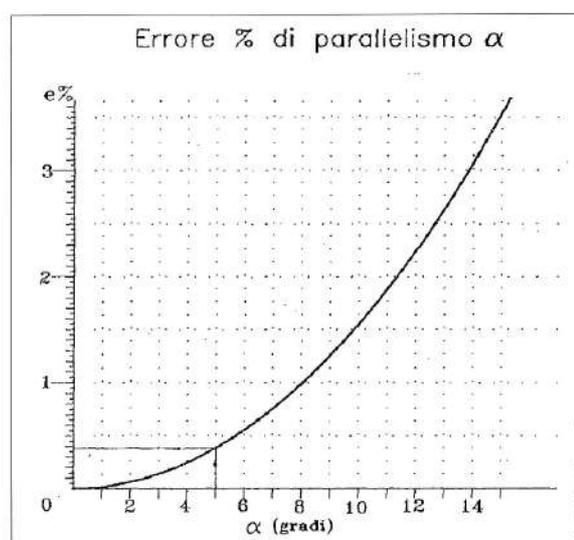


Fig. 6 - Errore percentuale (e%) in rapporto all'angolo di falso parallelismo fra asse dell'arto e asse dell'ecomelometro.

$$e = (I - I_1) / I_1$$

da cui:

$$e\% = [(1 - \cos \alpha) / \cos \alpha] \times 100$$

dove: l = valore reale

l_1 = valore misurato con un errore di parallelismo " α "

e = errore relativo di parallelismo

$e\%$ = errore percentuale

Pertanto per valori di alfa che non superino 8° l'errore relativo è inferiore all'1%. Ad esempio uno scarto angolare di 3° , che è già otticamente percepibile sugli arti inferiori, comporta un errore dello 0,15%.

Al fine di uniformare la procedura di indagine si è provveduto alla *standardizzazione dei punti di repere* ecografici redigendo

una mappa di reperi principali e reperi alternativi riportati nella tabella I.

Un'analisi dettagliata dei criteri anatomico-ecografici di scelta di tali punti esula dagli scopi del presente lavoro.

Possiamo qui dire soltanto:

– che il polo superiore della testa femorale è direttamente visibile anche nella scansione sagittale fino a 16-18 anni (Fig. 4A); oltre tale età, a causa della schermatura ultrasonica, sarà necessario utilizzare il punto di repere alternativo (ciglio cotiloideo);

– che il vertice libero del menisco esterno ci sembra il repere migliore del ginocchio (Fig. 4B);

– che la scansione parasagittale esterna di caviglia in posizione di flessione plantare consente la migliore visualizzazione del bordo del plafond tibiale (Fig. 4C).

TABELLA I: MAPPA DEI PUNTI DI REPERE ECOGRAFICI

POLO OSSEO	SCANSIONE	REPERE
femore prox. bambino	coronale sagittale	polo cefalico polo cefalico
femore prox. adulto	coronale o sagittale coronale o sagittale coronale o sagittale	limbus echi profondi testa+correz. ciglio osseo + correzione
femore distale bambino	coronale esterna	punto intermedio spazio articolare
femore distale adulto	coronale esterna coronale interna	vertice angolo meniscale vertice angolo meniscale
tibia distale	parasagitt. anteroest. parachillea mediale	marginie tibiale marginie tibiale
omero prossimale	anteriore in abduzione	echi profondi testa
ulna prossimale	sagittale anteriore	apice coronoide
radio prossimale	anteroesterna	vertice condilo-capitello
ulna distale	anteromediale	echi estremi metafisi
radio distale	sagittale posteriore	echi del margine

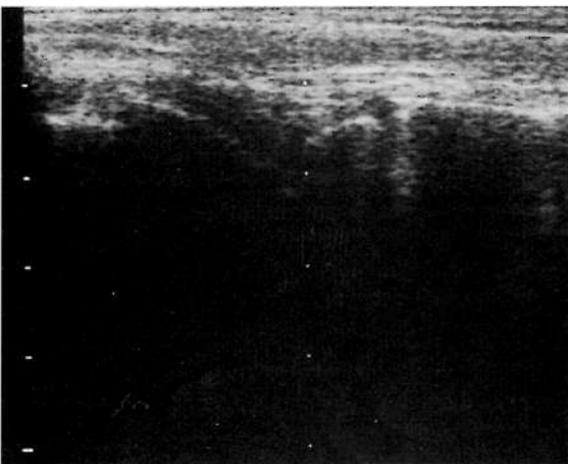
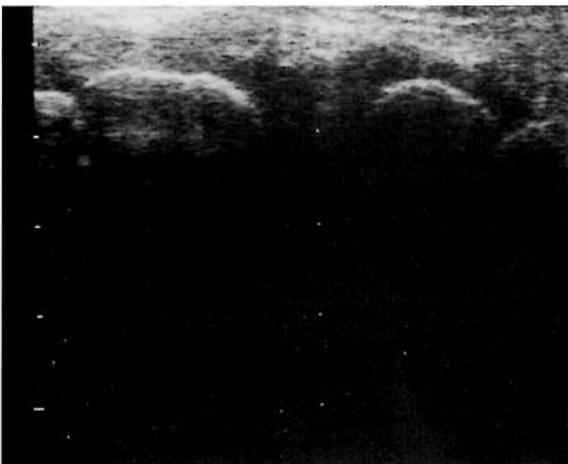
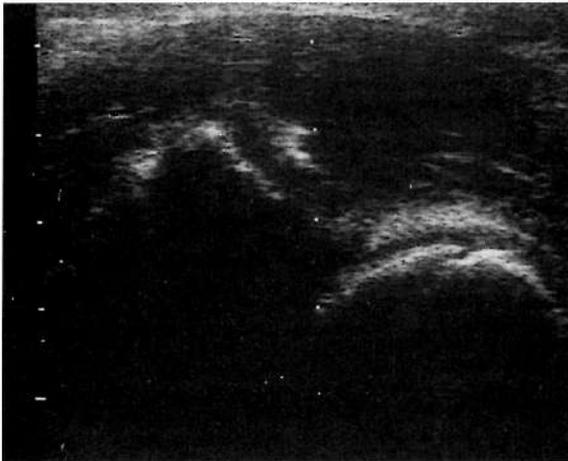


Fig. 4 - Immagini ecografiche corrispondenti alle scansioni illustrate nella Fig. 3.

SPERIMENTAZIONE

Materiale e metodo

8 femori e 8 tibie appartenenti a 4 sog-



Fig. 5 - La misura ricercata è letta sul display in tempo reale.

getti (2 adulti di età compresa fra 35 e 44 anni e 2 bambini di età compresa fra 9 e 13 anni) senza evidenze di deformità o eterometria degli arti inferiori sono stati misurati con l'ecomelometro da 14 esaminatori di cui sei competenti in ecografia e comparati con le corrispondenti TRG eseguite nello stesso periodo.

Risultati

Nella valutazione dei risultati abbiamo preso in considerazione solo le misurazioni dei medici ecografisti. Ognuno ha eseguito la misurazione nei due sensi ricavando la media fra i due valori approssimata all'unità di millimetro. Abbiamo distinto i quattro gruppi di segmenti (femori-adulti, femori-bambini, tibia-adulti e tibia-bambini) con le sigle FA, FB, TA, TB.

I risultati sono stati i seguenti:

TABELLA II

SEGMENTO	S%min	S%max
FA	0,27	0,31
FB	0,19	0,22
TA	0,18	0,23
TB	0,17	0,22

TABELLA III

SEGMENTO	S%(RX - Emean)/Emean
FA	1,6
FB	1,2
TA	1,2
TB	1,1

Lo scarto fra la coppia di misurazioni di ogni esaminatore per tutti i segmenti considerati è oscillata da 0 a 3 mm con una media di 0,8 mm e uno scarto percentuale di 0,38%; tale valore esprime la variabilità individuale (intraobserver variation).

La variabilità fra diversi esaminatori (interobserver variation) è stata espressa come scarto percentuale minimo (S% min) e massimo (S% max) fra le medie di ogni gruppo di 4 segmenti (E-mean): i risultati sono riportati nella tabella II.

Come modello di confronto abbiamo utilizzato le TRG degli stessi soggetti. Abbiamo comparato la media globale delle misurazioni ecografiche relative ad ogni segmento con le misure rilevate sulle corrispondenti TRG, calcolando lo scarto percentuale medio, ossia S% (Rx - E-mean/E-mean), ottenendo i valori riportati nella tabella III.

DISCUSSIONE

La misura accurata della lunghezza e della differenza di lunghezza degli arti inferiori senza esporre i pazienti ai rischi da radiazioni è un'esigenza particolarmente avvertita in traumatologia pediatrica dove la frequenza delle lesioni fratturative di femore e gamba necessiterebbe di un monitoraggio costante del processo di accrescimento bilanciato dei due arti fino al termine della maturazione scheletrica. Anche le piccole deviazioni della colonna vertebrale associate a inclinazione pelvica, riscontrate sovente nella routine ambulatoriale, richie-

derebbero una valutazione più accurata della semplice misurazione clinica degli arti inferiori, ma le tecniche radiografiche convenzionali e digitali mal si prestano ad un impiego di massa per l'elevato rischio o l'alto costo in rapporto al beneficio.

L'ecomelometria presenta tutti i vantaggi relativi delle tecniche ecografiche (innocuità, ripetibilità, basso costo, trasportabilità della strumentazione), oltre a vantaggi specifici che sono l'eseguibilità in caso di flessione articolare o presenza di fissatore esterno, la scarsa dipendenza dal paziente, che deriva dalla facile ripetibilità immediata dell'esame nel caso che questi non resti immobile durante lo spostamento della sonda.

L'accuratezza diagnostica dimostrata dal valore basso dello scarto differenziale fra diversi osservatori (interobserver variation) e dal valore costante nello scarto differenziale rispetto alla TRG rendono tale metodica affidabile almeno quanto una corretta ortoradiografia.

Il più elevato scarto differenziale rilevato nella misurazione del gruppo "femore-adulti" è da riferire probabilmente alle difficoltà nella scelta del punto di repere prossimale oltre la seconda decade di età.

Dal momento che il risultato dell'esame vuole essere la misura segmentaria, riteniamo che esso vada condotto in clinostatismo: si esclude in tal modo l'influenza di un'imperfetta estensione del ginocchio e di un'eventuale asimmetria di posizione (varo-valgo) del segmento pedidio.

In conclusione possiamo affermare che l'ecomelometria si è dimostrata una valida alternativa alle tecniche radiografiche di misurazione degli arti inferiori. L'impiego su vasta scala dovrebbe consentire lo screening delle eterometrie nella popolazione giovanile e negli sportivi, nonché negli adulti sofferenti di lombalgia ricorrente.

Ulteriori possibilità speculative e di impiego si vedono in auxologia, posturologia, in medicina legale e nella statistica antropometrica.

BIBLIOGRAFIA

- AITKEN A. G. F., FLODMARK O., NEWMAN D. E., KICOYNE R. F., SHUMAN W. P., MACK L. A., *Leg length determination by CT digital radiography*, AJR, 144, 613-615, 1985.
- ALTONGY J. F., HARKE H. T., BOWEN J. R., *Measurement of leg length inequalities by microdose digital radiographs*, J. Pediatr. Orthop., 7, 311-316, 1987.
- GREEN W. T., WYATT G. M., ANDERSON M. S., *Orthoroentgenography as a method of measuring the bones of the lower extremities*, J. Bone Joint Surg. [Am], 28, 60-65, 1946.
- CLARKE G. R., *Unequal leg length: an accurate method of detection and some clinical results*, Rheum Phys Med., 11, 385-390, 1972.
- HELMS A. H., MCCARTHY S., *CT scanograms for measuring leg length discrepancy*, Radiology, 151, 802-808, 1984.
- HOLST A., THOMAS W., *Non invasive, reliable and repeatable at any time ultrasonographic measurement of leg length*, Electromedica, 53(3), 105-109, 1988.
- JUNK S., TERJESEN T., ROSSVOLL I., BRATEN M., *Leg length inequality measured by ultrasound and clinical method*, Eur J. Radiol., 14, 185-188, 1992.
- MERRIL O. E., *A method for the roentgen measurement of the long bones*, Am J. Roentgenol Radium Ther Nucl. Med., 48, 405-406, 1942.
- TERJESEN T., BENUM P., ROSSVOLL I., SVENNINGSSEN S., ISERN A. E. F., NORDBO T., *Leg-length discrepancy measured by ultrasonography*, Acta Orthop. Scand., 62(2): 121-124, 1991.