1582

Lo studio del sistema di trasmissione del carico (STC) nei paradismorfismi mediante la pressopodoscopia

G. M. GRIPPI - D. VELLA

U.S.L. n. 65 - Alba (Cuneo)
Ospedale Civile « San Lazzaro »
Divisione di Ortopedia e Traumatologia
(Primario: Prof. G. Pisani)

Estratto da MINERVA ORTOPEDICA E TRAUMATOLOGICA

Vol. 38 - N. 7-8 - Pag. 449-457 (Luglio-Agosto 1987)

Min. Ort. Traum., 38, 449-457, 1987

Lo studio del sistema di trasmissione del carico (STC) nei paradismorfismi mediante la pressopodoscopia

G. M. Grippi - D. Vella

U.S.L. n. 65 - Alba (Cuneo)
Ospedale Civile « San Lazzaro »
Divisione di Ortopedia e Traumatologia
(Primario: Prof. G. Pisani)

Riassunto. — Nella relazione, gli Autori introducono il concetto cibernetico di Sistema di trasmissione del Carico (STC). Rappresentato, nell'organismo umano, dalle strutture scheletriche di sostegno (rachide, bacino, femori, tibie, ossa del piede), dalla loro organizzazione trabecolare secondo linee di forza, dagli snodi articolari che consentono il reciproco movimento e la ripartizione adeguata del carico nella statica e nella dinamica, dagli elementi di stabilità passiva (legamenti), dagli haubans delle catene cinetiche muscolari. Il flusso informazionale che attraversa tale sistema è rappresentato dalla forza del peso corporeo: P = mG, controbilanciata dalla reazione del piano d'appoggio mediante meccanismi retroattivi a feedback finalizzati al mantenimento dell'equilibrio posturale. Dopo aver proposto lo studio semeiologico strumentale del STC, in clinica ortopedica, mediante il pressopodoscopio, riportano i dati salienti di un'indagine trasversale riguardante un campione di 129 bambini, in cui la valutazione clinica, sulla presenza o meno di paradismorfismi, comparata con lo studio del STC al pressopodoscopio ha documentato una correlazione positiva tra anomalie pressopodoscopiche e paradismorfismi di interesse clinico. Inoltre, nell'ambito dei soggetti border-line per paradismorfismi interessanti, in particolare, il rachide, il ginocchio ed il piede, l'indagine pressopodoscopica sembra avere rilevato una certa percentuale di soggetti potenzialmente « a rischio » per l'ulteriore evoluzione dismorfica.

Parole chiave. — Cibernetica - Biomeccanica - Paradismorfismi - Pressopodoscopia - Semeiotica strumentale - Teoria dei sistemi.

Introduzione

Questo studio propone un modello concettuale basato sull'applicazione della Teoria Generale dei Sistemi (TGS) [10] a tematiche ortopediche. Riferimento teoretico è l'ipotesi generale di Cibernetica [11 12].

Nel contesto di tali idee, l'attività antigravitaria e locomotoria dell'organismo umano può considerarsi come l'aspetto qualitativo di un *sistema cibernetico* costituito da una gerarchia di sottosistemi (fig. 1). Gli elementi di sostegno del corpo, dal rachide agli arti inferiori, fanno parte degli elementi cibernetici strutturali di questa attività [1 3 4].

Fra gli elementi gerarchizzati del sovrasistema (o Sistema Antigravitario e Locomotore) è presente il sottosistema: *Sistema di Trasmissione del Carico* (fig. 2). Questo sistema comprende tutte le strutture dell'organismo deputate alla ricezione, ammortizzazione, trasmissione, controllo ed utilizzo del carico.

Ne sono componenti di struttura:

1) *Elementi prevalentemente sollecitati in compressione.*

a) *Strutture scheletriche portanti* (ossa del piede, della gamba, della coscia, del bacino, del rachide) che, a questo scopo, presentano una certa resistenza meccanica e un'organizzazione ultrastrutturale in trabe-

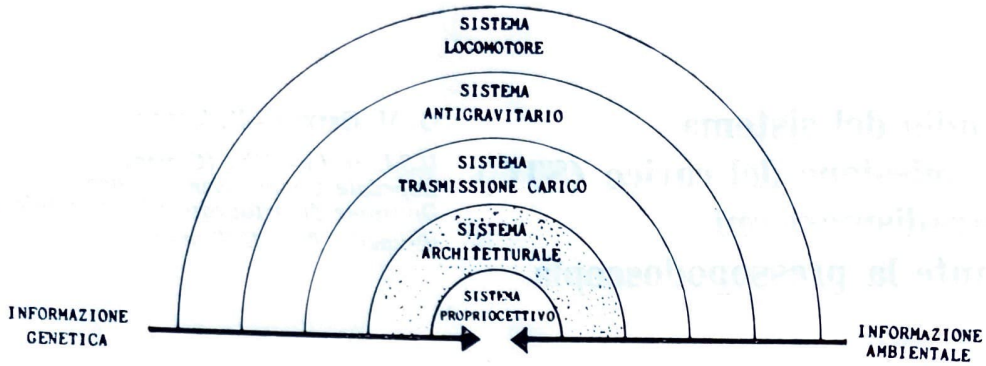

Fig. 1. — La funzione Antigravitaria e Locomotoria dell'organismo è rappresentabile da un Sistema Cibernetico costituito da una gerarchia di microsistemi. Gli elementi di sostegno, dal rachide agli arti inferiori, sono gli elementi strutturali di questa funzione. Il complesso sistemico è attivato dall'informazione genetica (presente nel DNA cromosomico) e dall'informazione ambientale rappresentata, per lo più, dagli effetti morfogenetici e di attivazione nervosa dovuti al carico.

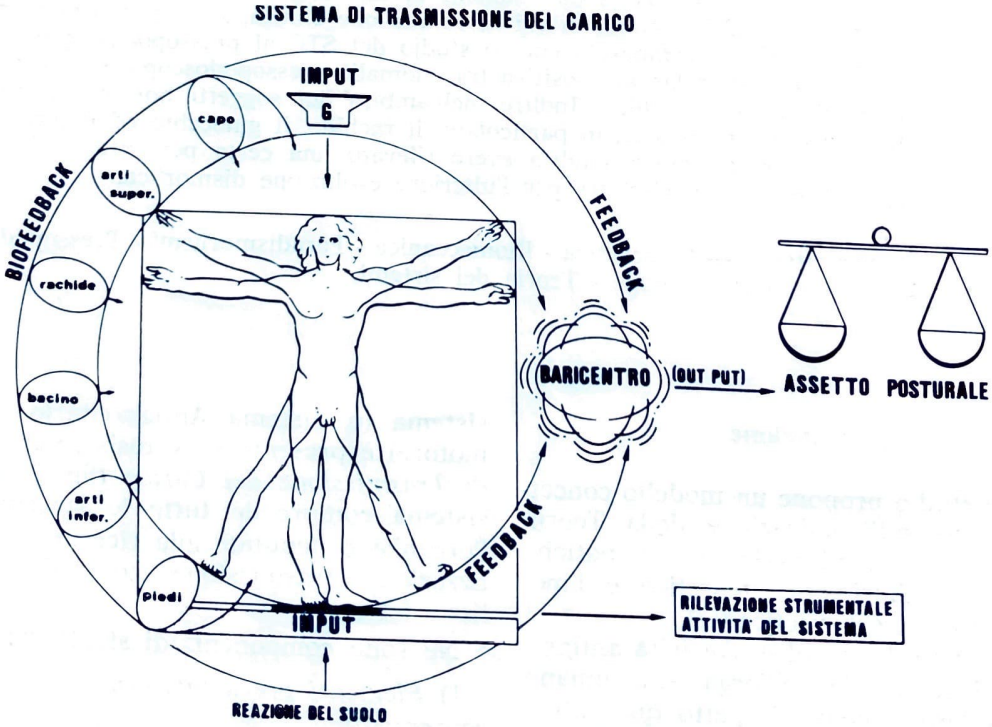

Fig. 2. — Nella gerarchia sistemica è presente il Sistema di Trasmissione del Carico, che comprende tutte le strutture corporee impiegate in tale funzione. Questa comincia dal contatto fra piede e suolo; nella reazione si genera il carico (input del sistema). Ogni elemento del sistema è interdipendente con altri elementi a mezzo di meccanismi tipo feedback. Lo scopo del sistema (output) è mantenere lo stato di equilibrio dinamico del baricentro nella statica e nella dinamica.

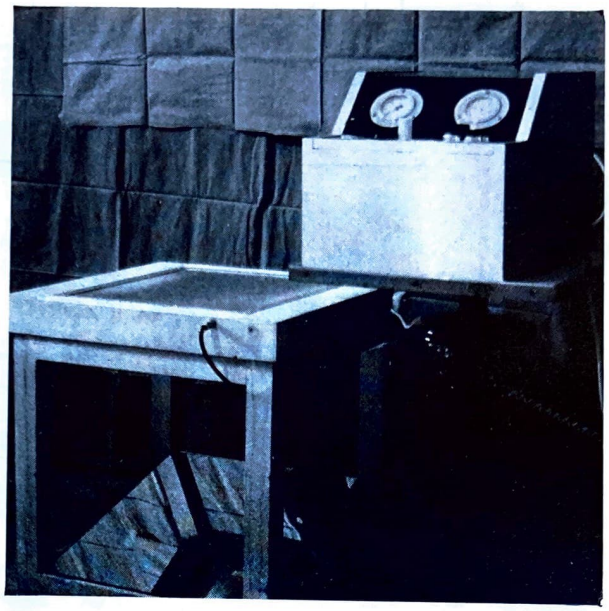

Fig. 3 a. — Il pressopodoscopio (prototipo originale). La reazione al carico esibita da un dato elemento strutturale del Sistema di Trasmissione del Carico dipende oltre che dalle caratteristiche strutturali e funzionali dell'elemento stesso, anche da quelle presenti in altri elementi sovra e sottosegmentari. Pertanto, il pressopodoscopio, rilevando il carico in corrispondenza della superficie plantare d'appoggio, consente, in via di principio, l'acquisizione di informazioni sulle modalità funzionali non solo del piede ma, anche, di altre componenti sovrasegmentarie.

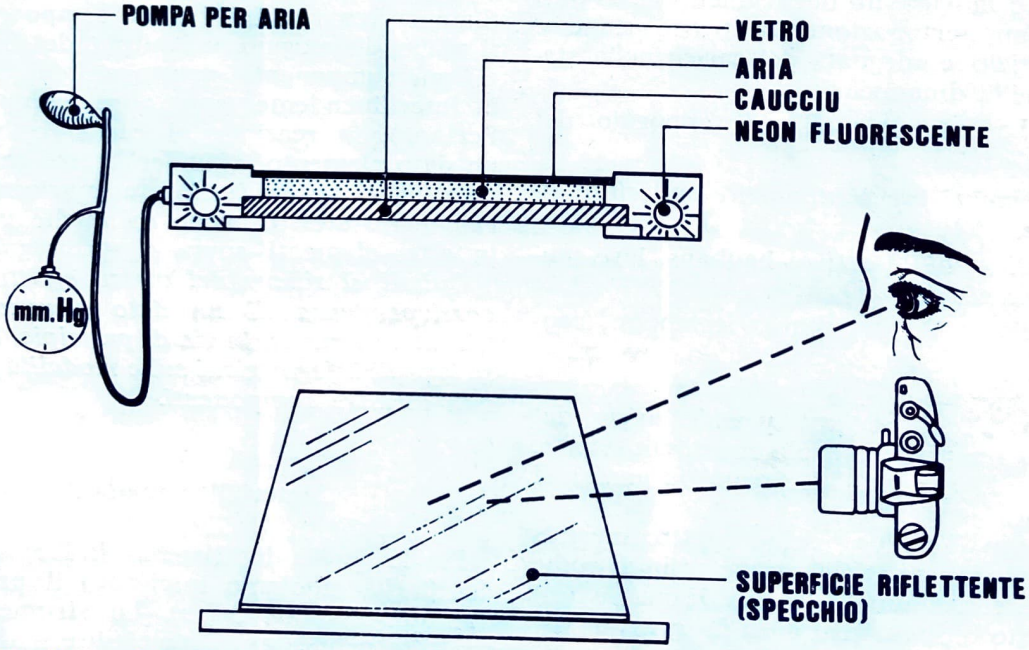

Fig. 3 b. — Schema costitutivo del pressopodoscopio. Un piano d'appoggio, rappresentato da un foglio di caucciù semitrasparente, è posto a pochi millimetri dalla superficie di una lastra di vetro. Entrambi sono inseriti in un telaio di legno in modo tale che fra il caucciù ed il vetro venga a delimitarsi uno spazio vuoto a perfetta tenuta d'aria, nel quale, mediante un tubicino collegato ad una pompa elettrica è possibile insufflare dell'aria la cui pressione in mmHg può essere misurata da un manometro. Il supporto di vetro, spesso 2 cm, è illuminato tangenzialmente ai lati con neon fluorescenti. Sotto il piano d'appoggio uno specchio, inclinato a 45°, riflette l'immagine della superficie inferiore del vetro.

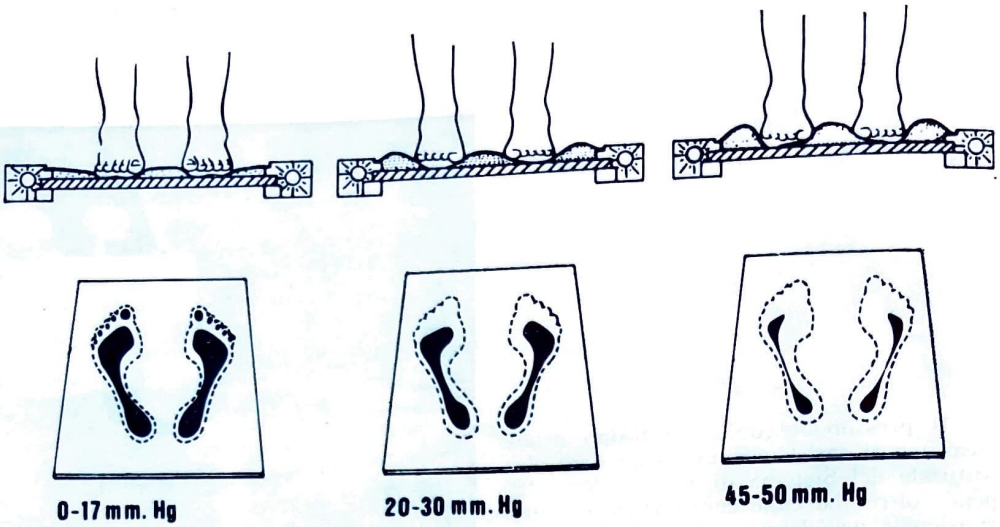

Fig. 4. — Principio e tecnica della pressopodoscopia. Dopo l'esame obbiettivo, si posiziona il paziente sul pressopodoscopio. Accese le lampade fluorescenti, compare nello specchio l'immagine dell'appoggio plantare. Azionando la pompa dell'aria, si sollevano quelle zone plantari a carico corrispondente alla pressione indicata dal manometro. Si può così visualizzare la graduale variazione dell'appoggio placentare e, corrispondentemente, la relativa distribuzione del gradiente di carico.

cole e lamelle ossee disposte secondo linee di forza.

b) Le *articolazioni* che consentono il reciproco movimento dei segmenti ossei portanti, l'ammortizzazione, la trasmissione e la ripartizione adeguata del carico nella statica e nella dinamica.

c) La *cute plantare* di appoggio del piede.

2) *Elementi prevalentemente sollecitati in trazione.*

a) Di *stabilità attiva*: haubans, leve muscolari, tendini.

b) Di *stabilità passiva*: legamenti, capsule articolari, aponevrosi, connettivi interstiziali, ecc.

L'attività del Sistema prende avvio dal contatto fra piede e suolo nella, cosiddetta, reazione d'appoggio. Tale reazione genera il carico.

Il carico (l'analogo del concetto ingegneristico di « sforzo ») può essere definito come la forza esercitata dal corpo di massa (m) sottoposto all'accelerazione di gravità (G) sulla superficie plantare (S) [9]. Il carico, ciberneticamente, può essere considerato come un flusso informativo che percorre il canale o rete di trasmissione rappresentata dagli elementi strutturali del Sistema di Trasmissione del Carico.

Sorgente di segnali del sistema sono: la forza di gravità (G), le forze impulsive generate dall'attività muscolare e dall'inerzia, la reazione d'appoggio. Il carico, così generato, rappresenta l'input del Sistema. Lo stato di equilibrio dinamico del baricentro, che il Sistema realizza fra i suoi componenti ed il piano d'appoggio, è l'output del Sistema.

Ogni componente strutturale del Sistema è interdipendente con altre componenti. Pertanto, la reazione al carico esibita da un dato elemento dipenderà, oltre che dalle caratteristiche strutturali e funzionali dell'elemento stesso, anche da quelle presenti in altri elementi sovra e sottosegmentari.

Quindi, il rilievo del carico effettuato in corrispondenza di un dato elemento del Sistema consente, in via di principio, l'acquisizione di informazioni sulle modalità funzionali di altre componenti.

Materiali e metodi

Per lo studio del Sistema di Trasmissione del Carico abbiamo impiegato il pressopodoscopio [2 5 9] (fig. 3 a, b). Lo strumento introdotto nel Sistema, fra piedi e piano d'appoggio, può derivarne l'attività in corrispondenza dell'input rappresentato dalla reazione d'appoggio (fig. 2); consentendo la visualizzazione diretta e immediata della distribuzione del gradiente di carico sulle superfici plantari (fig. 4).

La distribuzione del gradiente di carico

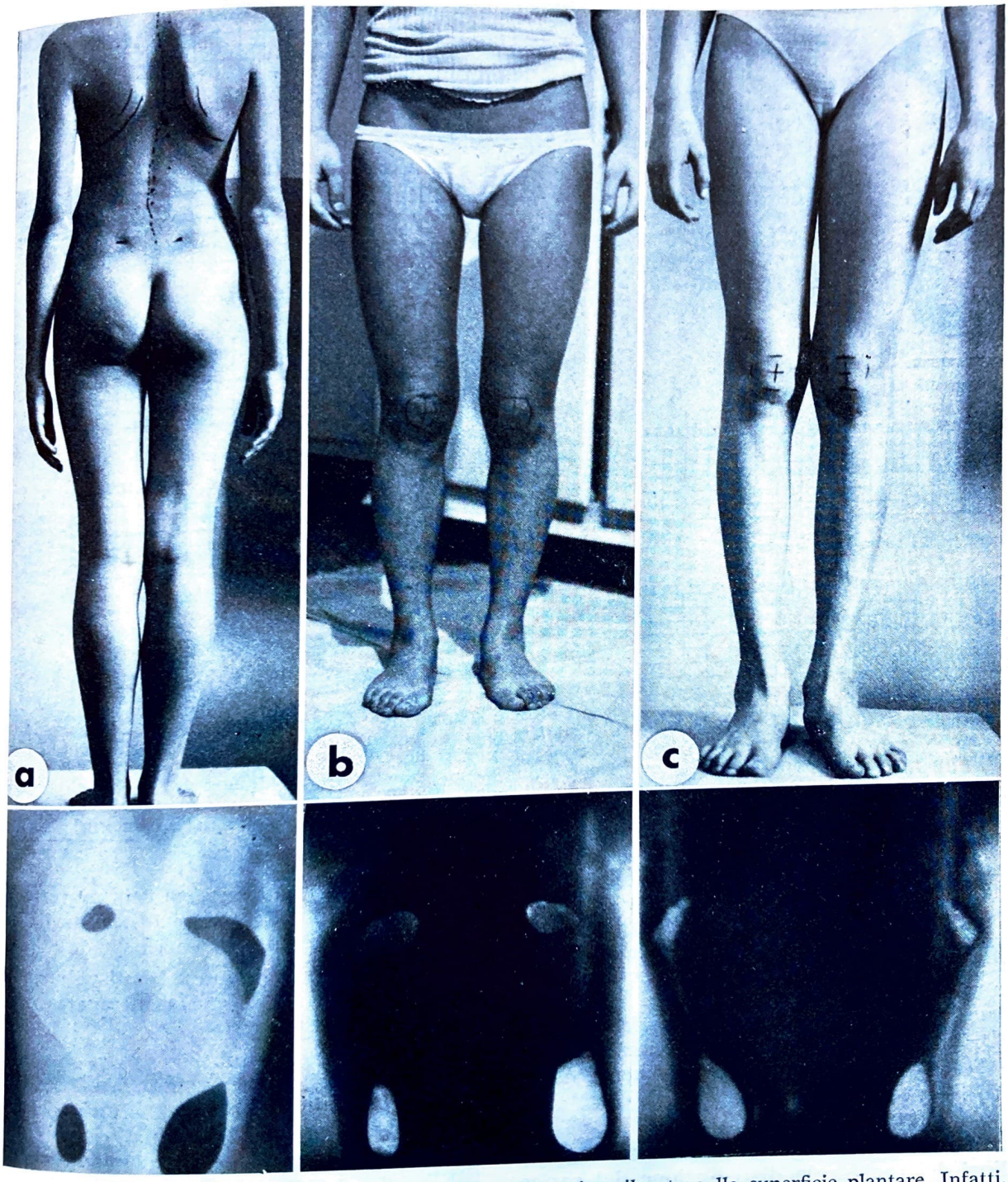

Fig. 5. — a) L'assetto del rachide influenza il gradiente di carico rilevato sulla superficie plantare. Infatti, in questa paziente con lieve scoliosi, il carico tra piede destro e sinistro è fortemente asimmetrico. b) Analogamente succede per le articolazioni coxo-femorali e femoro-tibiali. Ad esempio, in questa paziente con modesta anteversione delle anche, il carico sugli avampiedi è anormalmente medializzato. c) Comparativamente ai due casi precedenti, la distribuzione del gradiente di carico ultimo in ragazza con parametri morfo-costituzionali nella norma.

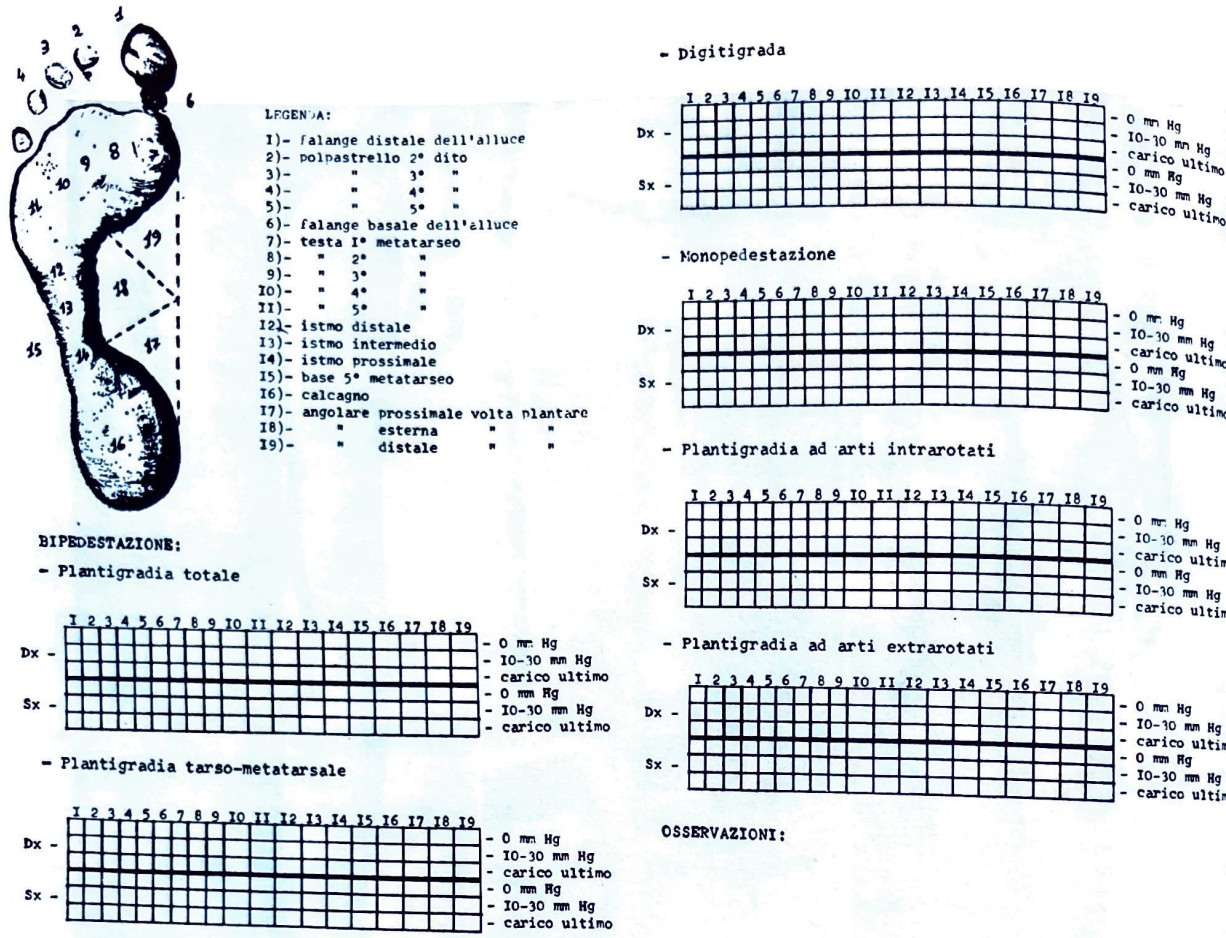

Fig. 6. — Scheda pressopodoscopica. La superficie del piede è stata mappata coi numeri dall'1 al 19. L'esame può testa fino a 6 atteggiamenti funzionali differenti fatti assumere al piede ed all'arto inferiore. Sui grafici a questi corrisp denti, vengono segnati (mediante un tratto di penna) i numeri che corrispondono alle zone di carico visualizz durante l'immissione dell'aria. Per ogni prova, rispettivamente, a 0 mm di Hg, a 10-30 mm di Hg, fino al carico ultim La scheda si compila in circa 10 min. e può essere direttamente archiviata in un personal computer. Sul frontespizio essa (non riportato) si segnalano i dati anamnestici ed i principali rilievi auxometrici e clinici del paziente.

al piede, presenta variazioni[7] dipendenti dall'età, dal sesso, dal morfotipo ecc e, può essere testata, dall'esaminatore, con particolari posture e prove dinamiche atte a rendere più evidente l'influenza esercitata da altri elementi sovrasegmentari. *Così rilevando l'assetto funzionale di carico del piede, è possibile acquisire informazioni indirette su altri elementi appartenenti al Sistema.*

Ad esempio (fig. 5):

a) In questa giovane paziente con scoliosi del rachide la distribuzione del carico, fra piede destro e sinistro, è fortemente asimmetrica.

b) In questa fanciulla con modesta anteversione bil. di anca, documentata clinicamente dallo strabismo rotuleo convergente, è presente, agli avampiedi, la medializzazione del gradiente di carico.

c) Comparativamente, la distribuzione finale del gradiente di carico in ragazza normale della stessa età.

Per indagare l'associazione tra paradismorfismi e anomalie di trasmissione del carico al piede[3 6 8] abbiamo effettuato uno studio campione su 129 bambini, di età compresa tra i 6 e gli 11 anni, equamente ripartiti per età e sesso e, casualmente scelti fra la scolaresca del 2° Circolo di Alba.

Obiettivo della ricerca è stato:

1) Effettuare lo studio del Sistema di Trasmissione del Carico in tale fascia d'età.

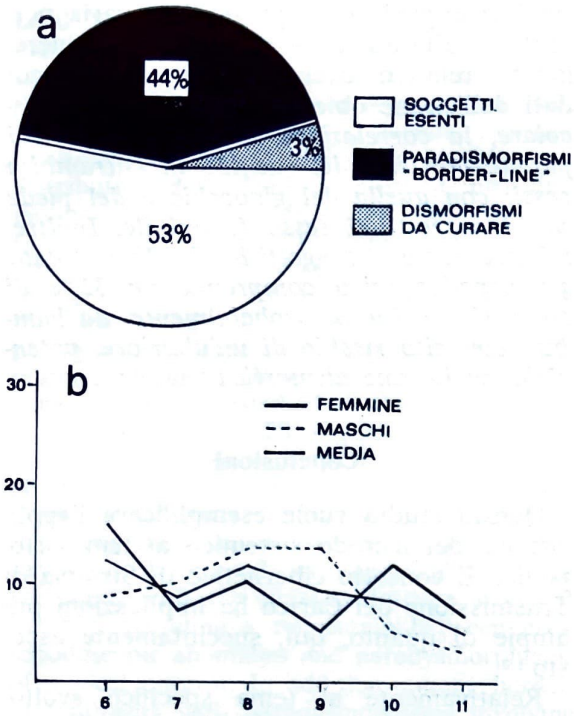

Fig. 7. — a) Campione di 129 soggetti distinto in base ai dati dell'esame clinico obiettivo; b) Percentuale di soggetti paradismorfici nelle varie età rispetto il totale.

2) Stabilire l'eventuale correlazione fra i dati strumentali ottenuti e i paradismorfismi rilevati con l'esame obiettivo; al fine *di verificare sul possibile impiego della metodica pressopodoscopica nella diagnostica precoce di tali affezioni.*

A tale scopo, dopo un esame ortopedico completo, comprensivo dei principali rilievi auxometrici, ogni soggetto è stato osservato al pressopodoscopio in 6 differenti atteggiamenti funzionali. I dati clinici e strumentali rilevati, sono stati riportati in una scheda appositamente allestita (fig. 6).

Risultati

Dalla valutazione preliminare dei dati raccolti è emerso che:

1) Il 3 % dei soggetti era affetto da paradismorfismi suscettibili di provvedimenti terapeutici (cifo-scoliosi, piattismo del piede, vizi torsionali degli arti inf., ecc.).

Il 44 % presentava paradismorfismi di scarso rilievo clinico (soggetti border line) interessanti, in vario grado ed in varia associazione tra loro, il rachide (paramorfismi

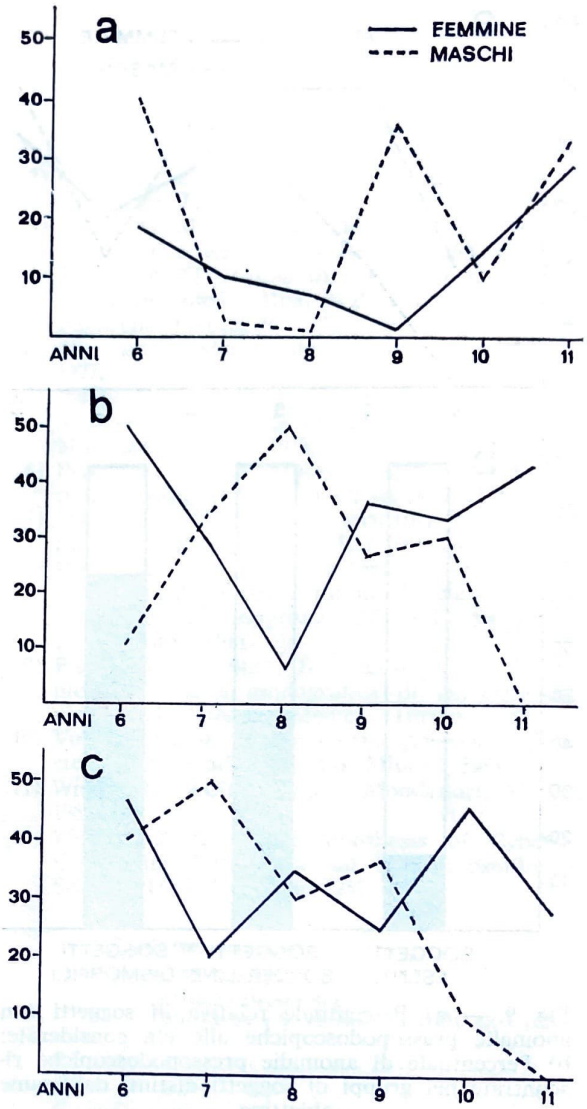

Fig. 8. — a) Percentuale relativa dei paradismorfismi del rachide alle età considerate; b) Percentuale relativa dei paradismorfismi del ginocchio alle età considerate; c) Percentuale relativa dei paradismorsmi del piede alle età considerate.

cifo-scoliotici), il ginocchio (varismo, valgismo, recurvazione), il piede (cavo-valgismo, adduzione o abduzione metatarsale, ecc.).

Il 53 %, infine, era costituito da soggetti morfologicamente normostrutturati (fig. 7 a).

2) La curva di distribuzione percentuale dei paradismorfismi rilevati, sul totale del campione, indica un picco di massima nei maschi all'età di 8-9 anni e nelle bambine a 6 e 10 anni. Con una distribuzione media che indica il decremento relativo dall'11 % al 5 % dai 6 agli 11 anni (fig. 7 b).

3) La percentuale relativa dei paradismorfismi del rachide (fig. 8 a) presenta un

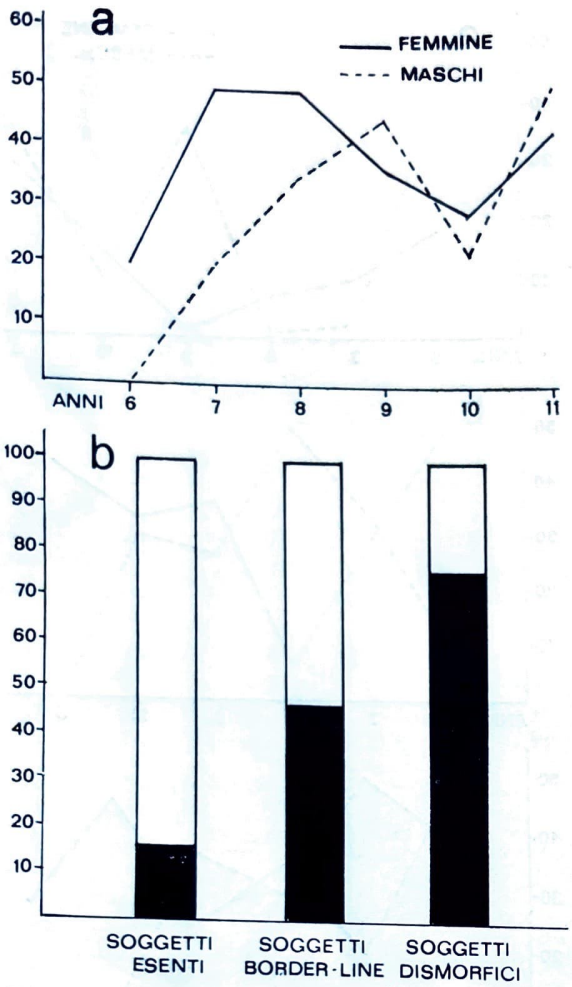

Fig. 9. — a) Percentuale relativa di soggetti con anomalie pressopodoscopiche alle età considerate; b) Percentuale di anomalie pressopodoscopiche riscontrate nei gruppi di soggetti distinti dall'esame obiettivo.

picco di massima all'età di 6 anni per maschi e femmine, con un incremento fra i 9 e gli 11 anni per entrambi i sessi.

La discordanza relativa presente all'età di 9 anni per i maschi è, forse, da attribuire alle differenti modalità di crescita fra i due sessi in epoca prepuberale. Lo stesso dicasi sulla percentuale relativa dei paradismorfismi del ginocchio (fig. 8 b) e del piede (fig. 8 c), la cui distribuzione sembra privilegiare, all'età di 10-11 anni (in coincidenza dell'età media del menarca), i soggetti di sesso femminile.

4) L'indagine pressopodoscopica ha rilevato, rispetto al 53 % dei soggetti esenti, la presenza di anomalie funzionali (asimmetrica distribuzione del gradiente di carico fra piede destro e sinistro, anomalo carico sugli avampiedi, ecc.) presenti in varia percentuale alle età considerate. Con un incremento relativo decisamente correlato coi dati dall'esame obiettivo (fig. 9 a). *In particolare, la correlazione sembra elevata coi paradismorfismi del rachide in entrambi i sessi; con quella del ginocchio e del piede per i soggetti di sesso femminile. Inoltre, relativamente ai soggetti border line, il dato pressopodoscopico comprende un 32 % di soggetti, costituito, probabilmente, da bambini con alto rischio di un'ulteriore, potenziale, evoluzione dismorfica* (fig. 9 b).

Conclusioni

Questo studio vuole esemplificare l'applicazione del metodo sistemico ai temi ortopedici. Il concetto cibernetico di Sistema di Trasmissione del Carico ha implicazioni più ampie di quanto, qui, succintamente esposto [1 3].

Relativamente al tema specifico svolto, *con la metodica pressopodoscopica è consentito ottenere informazioni, semeioticamente utili, sull'attività del Sistema e dei suoi componenti.* Ma, in ogni caso, l'interpretazione clinica del dato strumentale presuppone la corretta esecuzione della metodica, la conoscenza dei principi biomeccanici [7 8] e, in primo luogo, l'accurato esame obbiettivo del paziente. Tuttavia, nei confronti dei paradismorfismi, l'esiguità del campione esaminato non ci consente, per il momento, di formulare un giudizio definitivo sull'impiego della metodica nella valutazione del rischio evolutivo. Anche se i presupposti biomeccanici e biocibernetici, i primi dati sperimentali ottenuti e, innanzi tutto, la semplicità, l'assenza di rischi e di costi, rendono la metodica potenzialmente applicabile a questo scopo, in screenings di massa, direttamente nelle scuole.

Pertanto, stiamo estendendo l'indagine ad altre fascie d'età, in modo da esplorare, con uno studio trasversale, tutto il periodo dell'età evolutiva, e di seguire, con uno studio longitudinale, quei soggetti correlati positivamente con l'evoluzione dismorfica.

SUMMARY

G. M. Grippi and D. Vella: The study of the Load Transmission System (LTS) using the Pressopodoscope in paradysmorphisms. — The paper introduces the cybernetic concept of the

Load Transmission System (LTS). In the human body the LTS is represented by the bony support structures (spine, pelvis, femurs, tibias, foot bones), their trabecular organisation along lines of force, the joints that permit reciprocal movement as well as the static and dynamic distribution of the load, the elements providing passive stability (the ligaments) and the muscular kinetic chains ("haubans"). The flow of information through that system is represented by the force of the body's weight P = mG counterbalanced by the reaction of the support plane by means of retroactive feedback mechanisms designed to maintain postural balance. It is suggested that the instrumental semeiotics of the LTS should be studied in clinical orthopaedics using the pressopodoscope. Significant data are then presented from a transversal study conducted on 129 children in whom the clinical assessment of the presence or absence of paradysmorphisms was compared with the pressopodoscope study of the LTS revealing a connection between pressopodoscopic anomalies and paradysmorphisms of clinical interest. In addition, among borderline subjects with paradysmophisms involving the spine, knee and foot in particular the pressopodoscope examination appeared to reveal a certain percentage of subjects potentially at risk of further dysmorphic development.

KEY WORDS. — Cibernetic - Biomechanics - Paradysmorfisms - Pressopodoscopy semeiotic - System theory.

[« Min. Ort. Traum. », 38, 449-457, (August) 1987 — G. M. Grippi, D. Vella: « Lo studio del sistema di trasmissione del carico (STC) nei paradismorfismi mediante la pressopodoscopia »].

BIBLIOGRAFIA

1) Grippi G. M.: « Medicina e cibernetica: implicazioni metodologiche della teoria dei sistemi applicata al piede ». Chirurgia del Piede, 7, 7, gennaio-febbraio 1983.
2) Grippi G. B.: « La pressopodoscopia ». Chirurgia del piede, 7, 3, 1983.
3) Grippi G. M.: « Le deformità evolutive del piede alla luce della Teoria Generale dei Sistemi ». Relazione XIV Corso di aggiornamento in chirurgia del piede, Alba, 24-29 ottobre 1983.
4) Paparella Treccia R.: « Il piede dell'uomo; profilo storico strutturale ». Verduci Ed., Roma, 1977.
5) Pisani G.: « Nuova metodica di indagine strumentale del piede: la pressopodostati-rx-grafia ». Min. Ort., 24, 343, 1973.
6) Pisani G.: « La sindrome pronatoria dell'avampiede ». Min. Ort., 27, luglio-agosto 1976.
7) Pisani G.: « L'avampiede struttura a carico variabile ». Chir. del Piede, 3, 2, aprile-giugno 1979.
8) Pisani G.: « Il piede "attore" o "convenuto" nelle interdipendenze torsionali con l'anca? ». Relazione 71° Congresso SPLLOT, Savigliano, 10-11 ottobre 1981.
9) Pisani G. e coll.: « Biomeccanica clinica del piede ». Collana monografica di chirurgia del piede, Ed. Minerva Medica, Torino, 1983.
10) Von Bertalanffy L.: « Teoria generale dei Sistemi ». Mondadori Studio, Milano, 1983.
11) Wiener N.: « Cibernetica ». Mondadori, Milano, 1968.
12) Wisdom J. O.: « The hipothesis of Cybernetics ». The British Journal for Philosophy of Science, II, 5, 1, maggio 1951.

[Indirizzo dell'Autore:

G. M. Grippi
Divisione Ortopedica
Osp. Civile « S. Lazzaro » - 12051 Alba (CN)]