

MODIFICAREA MORFOLOGIEI PICIORULUI ÎN FUNCȚIE DE METODA DE CAPTURĂ 3D A SUPRAFEȚEI PLANTARE

Daniel PETCU^{1*}, Hüseyin Ata KARAVANA², Gheorghe BERIJAN¹

¹INCDTP – Division: Leather-Footwear Research Institute, ICPI, Bucharest, email: petcu.daniel@yahoo.com

²Ege University Engineering Faculty, Leather Engineering Department

CHANGE OF THE FOOT MORPHOLOGY DEPENDING ON THE PLANTAR SURFACE 3D CAPTURE METHOD

ABSTRACT. Conservative treatment of foot pathomechanics implies the use of the medical devices such as orthopedic footwear and foot orthoses, based on medical prescription. Medical prescription is not so elaborated, leaving the decision regarding the choice of most design elements up to the pedorthist. Clinical gait analysis provides a number of essential data in designing process of these devices. An important element of the biomechanical examination is the determination of structural deformations of the foot and how these affect the gait. Foot morphology is determined by structural deformations that occur and may be influenced by the manner in which it is captured. Since the design process of medical devices starts from foot surface it is obvious that it will be influenced by how this surface will be captured. This paper represents a preliminary study on how the three-dimensional foot surface capturing method influences its morphology. The results show that foot morphology is influenced by the capture method used, this fact influencing the design process of medical devices. Continued research is necessary in order to quantify how much the foot morphology is influenced by the foot surface capture method.

KEY WORDS: foot morphology, surface capture, orthopedic shoe, orthoses.

MODIFICAREA MORFOLOGIEI PICIORULUI ÎN FUNCȚIE DE METODA DE CAPTURĂ 3D A SUPRAFEȚEI PLANTARE

REZUMAT. Tratatamentul conservativ al afecțiunilor de natură mecanică ale piciorului implică utilizarea dispozitivelor medicale pe bază de prescripție medicală – încălțăminte ortopedică și ortezele pentru picior. Prescripția medicală este sumară, lăsând la latitudinea tehnicianului decizia privind alegerea majorității elementelor de proiectare. Analiza clinică a mersului furnizează o serie de date esențiale în proiectarea acestor dispozitive. Un element important al examenului biomecanic îl constituie determinarea deformațiilor structurale ale piciorului și modul în care acestea influențează mersul. Morfologia piciorului este determinată de deformațiile structurale care apar și poate fi influențată de modul în care este ea captată. Deoarece proiectarea dispozitivelor medicale pornește de la forma piciorului, este evident faptul că ea va fi influențată de modul în care este captată această formă. Articolul de față reprezintă un studiu preliminar asupra modului în care metoda de captură a suprafeței tridimensionale a piciorului influențează morfologia acestuia. Rezultatele demonstrează faptul că morfologia piciorului este influențată de metoda de captură utilizată, acest fapt influențând procesul de proiectare al dispozitivelor medicale. Continuarea cercetărilor se impune pentru a se putea cuantifica modul în care morfologia piciorului este influențată de metoda de captură a formei suprafeței plantare.

CUVINTE CHEIE: morfologia piciorului, captura suprafeței, încălțăminte ortopedică, orteze.

CHANGEMENTS DANS LA MORPHOLOGIE DU PIED, SELON LA MÉTHODE DE CAPTURE 3D DE LA SURFACE PLANTAIRE

RÉSUMÉ. Le traitement conservateur des maladies mécaniques du pied implique l'utilisation des dispositifs médicaux sur ordonnance – les chaussures orthopédiques et les orthèses pour pied. L'ordonnance est brève, laissant la plupart d'éléments de conception au choix des techniciens. L'analyse clinique de la démarche fournit des données essentielles dans la conception de ces dispositifs. Un élément important de l'examen biomécanique est la détermination des déformations structurelles du pied et comment ils affectent la marche. La morphologie du pied est déterminée par des déformations structurelles qui se produisent et peut être influencée par la façon dont elle est saisie. Puisque la conception des dispositifs médicaux commence de la forme du pied, il est clair qu'elle sera influencée par la façon dont elle est capturée. Cet article est une étude préliminaire sur la façon dont la méthode de capture de la surface tridimensionnelle du pied influence son morphologie. Les résultats montrent que la morphologie du pied est influencée par la méthode de capture utilisée, ce qui influence le processus d'élaboration des dispositifs médicaux. D'autres recherches sont nécessaires pour quantifier la façon dont la morphologie du pied est influencée par la méthode de capture de la surface plantaire.

MOTS CLÉS: morphologie du pied, capture de la surface, chaussures orthopédiques, orthèses.

INTRODUCTION

Biomechanics represents the science that studies structure, evolution and functions of the human locomotor system based on general mechanics laws [1]. Pathomechanics can be defined as those deviations from normal biomechanics resulting in imbalances of the movement and support apparatus

INTRODUCERE

Biomecanica reprezintă știința care studiază, pe baza mecanicii generale, structura, evoluția și funcțiile aparatului motor ale omului [1]. Patologiile de natură mecanică („pathomechanics”) pot fi definite ca fiind acele deviații de la biomecanica normală având ca rezultat dezechilibre ale aparatului de susținere și mișcare (sistemele osteoarticulare și muscular)

* Correspondence to: Daniel PETCU, National Research & Development Institute for Textile and Leather – Division: Leather and Footwear Research Institute, 93 Ion Minulescu St., Sect. 3, 031215-Bucharest, Romania, e-mail: petcu.daniel@yahoo.com

(joint, muscular and osseous systems) manifested by locomotor deficiencies [2]. An important role in the treatment of foot pathomechanics is played by the so-called “special devices”, which means “therapeutic shoes, shoe modifications made for therapeutic purposes, partial foot prostheses, foot orthoses and orthoses for subtalar-joint control” [3]. “Specialized” devices or “therapeutic” devices are based on the individual medical prescription, designed according to morphological and biomechanical analysis of the foot, according to the foot's functioning paradigms (Figure 1). In this sense, quality and efficacy of specialized devices depends directly on the quality and accuracy of the 3D capturing method of the foot surface.

manifestate prin deficiențe locomotorii [2]. Un rol important în tratamentul patologiilor de natură mecanică ale piciorului îl joacă așa numitele „dispozitive specializate” prin care se înțelege „încălțăminte terapeutică, modificări ale încălțămintei executate pentru scopuri terapeutice, proteze parțiale de picior, orteze de picior și orteze pentru controlul articulației subastragaliene” [3]. Dispozitivele „specializate” sau „terapeutice” sunt dispozitive individualizate pe bază de prescripție medicală, construite în funcție de analiza biomecanică și morfologică a piciorului, în acord cu paradigmele de funcționare ale piciorului (Figura 1). În acest sens, calitatea și eficacitatea dispozitivelor specializate depinde în mod direct de calitatea și acuratețea modului în care este realizată captura suprafeței tridimensionale a piciorului.

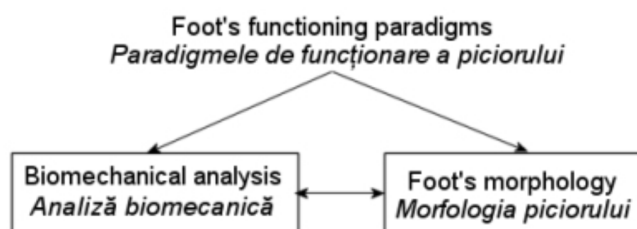


Figure 1. Conceptual framework for developing a medical prescription for specialized devices
Figura 1. Cadrul conceptual de elaborare a prescripției medicale pentru dispozitivele specializate

This paper aims to review different systems of classification methods to capture the 3D plantar surface of the foot involved in designing and manufacturing foot orthoses as a base element of orthopedic footwear and to highlight the qualitative differences that arise because of these methods.

Understanding the importance of 3D plantar foot surface capturing technique cannot be fully achieved without specifying the type of special device designed based on this capture. In this sense it is necessary to draw a parallel between the types of special devices used in treatment of foot pathomechanics. According to official classification from

Lucrarea de față își propune să treacă în revistă diferite sisteme de clasificare a metodelor de captură 3D a suprafeței piciorului implicate în obținerea ortezelor pentru picior ca elemente de bază ale încălțămintei ortopedice și să evidențieze calitativ diferențele calitative care apar prin utilizarea acestora.

Înțelegerea importanței tehnicii de captură 3D a suprafeței plantare a piciorului nu poate fi pe deplin realizată fără a preciza tipul de dispozitiv special construit pe baza acestei capturi. În acest sens, este necesar a se face o paralelă între tipurile de dispozitive speciale utilizate în tratamentul patologiilor de natură mecanică ale piciorului. Conform „Normelor metodologice de aplicare a Contractului-cadru privind

the documentation of health insurance system [4], in the case of “lower limb orthoses” there are two types of orthoses related only to the foot:

- foot orthoses,
- foot orthoses for correcting the foot orthosis statics, classified as :
 - Arch support,
 - Pes var /valg,
 - Hallux-valgus.

The Romanian literature offers some definitions of the notion of arch support. Thus, according to A. Denischi, “the arch support represents an orthopedical device with the purpose of treating small foot deformities for the situations in which orthopedic footwear is not indicated. Their aim is to: stabilize the longitudinal arch of the foot, correct reducible deformities and balance the foot through a more harmonious distribution of static pressure” [5]. According to I. Stroescu [6]: “related to the foot static we have to understand that human balance in standing is not completely static, but has also an important dynamical component”, while “it is impossible to prevent, correct or compensate a static disorder other way than restoring the normal anatomic axis of the foot and physiological balance of plantar foot pressures, using for this purpose foot surgery, foot orthoses and rehabilitation programs”.

In the countries with an advanced foot care system, in the treatment of foot pathomechanics, foot orthoses play an important role. According to K. Kirby [7], “a foot orthose is a medical device inserted into the shoe, designed to change the size and time evolution of reaction forces acting on the foot in order to allow, as much as possible, a normal functioning of the lower legs and to reduce the pathological loads on structural components of the lower limb in dynamics”.

American Board for Certification in Orthotics, Prosthetics and Pedorthics defines “Subtalar-Control Foot-Orthoses” (SCFO) [3] as “lower leg orthoses designed to facilitate the functionality of the anatomical elements distal from the ankle joint through the movement control of the subtalar joint. These do not include the orthoses designed to be above the ankle joint”.

condițiile acordării asistenței medicale în cadrul sistemului de asigurări sociale de sănătate” [4] în cazul „ortezelor pentru membru inferior” există două categorii de orteze a căror denumire se referă strict la picior:

- orteze pentru picior,
- orteze corectoare de statică a piciorului, clasificate în:
 - susținători plantari,
 - Pes var/valg,
 - Hallux-valgus.

Din literatura medicală română reținem următoarele abordări ale noțiunii de susținător plantar. Astfel, după A. Denischi, „susținătorul plantar, impropriu numit talonetă, constituie un mijloc ortopedic în combaterea unor deformități mai simple ale piciorului, în care gheata ortopedică nu mai este indicată. Ele urmăresc stabilizarea bolții plantare, corectarea deformității încă reducibile și echilibrarea piciorului printr-o mai armonioasă repartizare a presiunilor statice” [5]. În conformitate cu I. Stroescu [6]: „vorbind despre statica piciorului trebuie să înțelegem că de fapt echilibrul omului în ortostatism nu este perfect static, ci are și o componentă dinamică importantă”, în timp ce „nu este posibil a preveni, corija sau compensa o tulburare statică decât restabilind axele anatomice normale ale piciorului și echilibrul fiziologic al presiunilor plantare, utilizând în acest scop chirurgia piciorului, ortezele plantare și tratamentele reeducative”.

Atât în literatura de specialitate, cât și în practica din statele cu un sistem avansat pentru îngrijirea piciorului, în tratarea patologiilor de natură mecanică, un rol important revine ortezelor pentru picior. După K. Kirby [7]: „o orteză pentru picior este un dispozitiv medical introdus în încălțăminte, proiectat pentru a modifica mărimea și evoluția în timp a forțelor de reacțiune ce acționează asupra piciorului cu scopul de a permite o funcționare cât mai normală a membrelor inferioare și de a micșora încărcările patologice pe componentele structurale ale membrelor inferioare în dinamică”.

Comisia Americană pentru Certificare în Ortezare, Protezare și Pedortică („pedorthics”) definește „ortezele pentru picior pentru controlul articulației subastragaliene” (“Subtalar-Control Foot Orthosis – SCFO”) [7, 3] ca fiind „orteze pentru

Given that the static pressure distribution is different from that generated by dynamics, we can say that the foot orthoses definition, as it is presented in the podiatric literature, is more elaborate and more appropriate for the purpose for which these devices are prescribed compared with arch support definition from our medical literature.

Foot orthoses based on medical prescription are divided into three categories: functional orthoses, accommodative orthoses and functional-accommodative orthoses.

Functional foot orthoses have the role of facilitating the structural integrity of joints of the feet and lower limbs by changing the reaction forces of the supporting surface which cause abnormal movements of osseous system of the foot in the stance phase of gait [7, 13]. They prevent the compensation movements from midtarsal, subtalar and lower limb joints.

Accommodative foot orthoses are designed in order to redistribute the pressure acting on the affected areas of the foot in stance [7].

Accommodative-functional foot orthoses are designed both for their functional role and for the accommodative one [7].

According to R. Valmassy [9], functional foot orthoses are "biomechanical devices that are not, in any way, analogous to arch support because they do not support the longitudinal arch but try to restore normal functioning of the foot".

The basic question to which the specialist who prescribes the foot orthoses must have an answer is related to the type of device requested by foot pathomechanics: functional, accommodative or functional-accommodative. From the above definitions it results that, in order to achieve the functional goal, the functional orthoses have to be made from rigid or semi-rigid material able to alter the action of the forces of reaction, while for the accommodative ones, more flexible materials need to be used. The analysis of correlations between the change of foot morphology and gait cycle phases is necessary when rigid materials are used for functional purposes.

membrul inferior, proiectate pentru a facilita funcționalitatea elementelor anatomice distale față de articulația gleznei, prin controlul domeniului de mișcare al articulației subastragaliene. Aceste orteze nu includ ortezele supramaleolare".

Având în vedere faptul că distribuția presiunilor în statică este diferită de cea în dinamică [8], putem spune că definiția ortezelor pentru picior, așa cum este ea prezentată în literatura podiatrică/podologică, este mult mai elaborată și mai adecvată scopului pentru care aceste dispozitive sunt prescrise comparativ cu definiția susținătoarelor plantare („arch supports”).

Ortezele pentru picior pe bază de prescripție medicală sunt divizate în trei categorii: orteze funcționale, orteze acomodative și orteze funcțional-acomodative.

Ortezele funcționale au rolul de a facilita integritatea structurală a articulațiilor picioarelor și membrilor inferioare prin modificarea forțelor de reacție ale suprafeței de sprijin care cauzează producerea mișcărilor anormale ale sistemului osos în timpul fazei de sprijin a mersului [7, 13].

Ortezele acomodative sunt proiectate cu scopul de a redistribui presiunile ce acționează în diferite zone afectate ale piciorului aflat sub sarcină [7].

Ortezele funcțional-acomodative sunt proiectate atât pentru rolul lor funcțional, cât și pentru cel acomodativ [7].

După R. Valmassy [9], ortezele funcționale sunt „dispozitive biomecanice care sub nicio formă nu sunt analoge cu susținătoarele plantare (arch support) prin aceea că ele nu susțin bolta plantară, ci încearcă să restabilească funcționarea normală a piciorului”.

Întrebarea de bază la care specialistul care prescrie orteza trebuie să aibă un răspuns este legată de tipul de dispozitiv pe care tratamentul patologiei îl reclamă: orteza funcțională, acomodativă sau acomodativ-funcțională. Din definițiile de mai sus rezultă că, pentru a-și atinge scopul, ortezele funcționale trebuie realizate din materiale semirigide sau rigide capabile să modifice modul de acțiune al forțelor de reacție, în timp ce, la cele acomodative se utilizează materiale mult mai flexibile. Utilizarea materialelor rigide la realizarea ortezelor funcționale presupune analiza corelațiilor dintre modificarea morfologiei piciorului și fazele ciclului de mers.

The importance of studying the changes in foot's plantar morphology depending on the 3D method of capture is underscored by the fact that foot orthoses and orthopedic footwear represent a unitary system.

METHODS TO CAPTURE THE 3D PLANTAR FOOT SURFACE

There are several ways to achieve the capture of 3D image of the foot.

I. In relation to the foot position, there are two main categories [10]:

1) foot under stress:

- Weightbearing position (Figure 2a) or
- Semi-weightbearing position – with the subject in sitting position (Figure 2b);

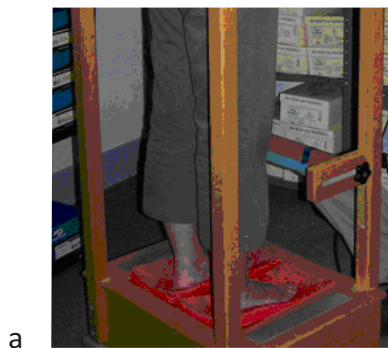


Figure 2. a – the subject in weightbearing position, b – the subject in sitting position
Figura 2. a – subiectul în sprijin ortostatic bilateral, b – subiectul în poziția șezând

2) non-weightbearing position (Figure 3).



2) cu piciorul degrevat de sarcină, sau suspendat



Figure 3. Manual casting of the foot in the non-weightbearing position
Figura 3. Captura manuală a suprafeței 3D cu piciorul în poziție suspendată

Importanța studierii modificărilor morfologiei suprafeței plantare a piciorului în funcție de metoda de captură 3D este subliniată de faptul că ortezele pentru picior și încălțăminte ortopedică formează un sistem unitar.

METODE DE CAPTURĂ 3D A SUPRAFEȚEI PLANTARE A PICIORULUI

Există mai multe metode prin care se poate realiza captura imaginii 3D a suprafeței plantare a piciorului.

I. În raport cu sarcina aplicată pe picior [10], există două categorii:

- 1) cu piciorul aflat în sarcină: sarcina aplicată poate fi totală – sprijin ortostatic bilateral (Figura 2a) sau parțială – cu subiectul în poziția șezând (Figura 2b);

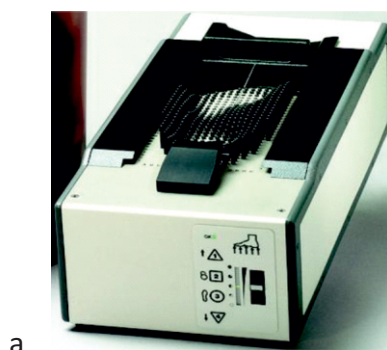
II. In relation to the position of subtalar joint axis:

1) – with the subtalar joint axis as close as possible to neutral position;

2) – foot position does not relate to the neutral position of subtalar joint, but is described depending on the position of the femur, tibia and foot towards the shin.

III. In relation to the type of technology involved:

1) – 3D scanner – the 3D foot surface is obtained by scanning the foot. There are two types of scanners: through direct contact (Figure 4a) or optical system (Figure 4b);



a



b

Figure 4. Foot scanners: a – contact, b – optical
Figura 4. Tipuri de scanner 3D: a – contact, b – optic

2) – manual – through using plaster of Paris splint, foam box and plaster (Figures 2 and 3).

The reference position in which the foot is placed represents one of the most important aspects of capturing 3D surface. In terms of weightbearing method of capturing 3D surface of the foot, literature shows no clear biomechanical arguments in the favor of this method. It is remarkable that this technique is used especially in computerized methods that provide two-dimensional images of plantar area. Orthoses surface is generated automatically based on mathematical algorithms and with the possibility for the specialist to perform some operations. The essential problem is to explain and understand the underlying algorithm which is the base of generated surface and the

II. În raport cu poziția axei subastragaliene:

1) – piciorul poziționat astfel încât axa subastragaliană să fie cât mai aproape de poziția neutră;

2) – poziția piciorului nu se raportează la poziția neutră a axei subastragaliene, ci este descrisă în funcție de poziția femurului, tibiei și a piciorului față de tibie.

III. În raport cu tipul de tehnologie implicat:

1) – scanare 3D – suprafața tridimensională a piciorului este obținută prin scanarea piciorului. Există două tipuri de scanner: de contact (Figura 4a) sau optic (Figura 4b);

2) – manual – prin utilizarea feșilor gipsate sau a spumelor speciale pentru mulaj și a gipsului (Figurile 2 și 3).

Foarte importantă în metoda de captură a suprafeței 3D a suprafeței plantare a piciorului devine poziția de referință în care este plasat piciorul. Din punctul de vedere al metodei de captură a suprafeței 3D a piciorului în condiția de sprijin total, literatura consultată nu prezintă clar argumentele de natură biomecanică pentru care această metodă este preferată. Se remarcă faptul că această tehnică este folosită în special în metodele computerizate care furnizează imagini bi-dimensionale ale suprafeței plantare. Suprafața ortezei este generată atât automat, pe baza unor algoritmi matematici, cât și prin posibilitatea executării unor operații de către specialist. Problema esențială în această situație constă în

correlation between the involved pathology and algorithm.

Subtalar neutral joint position capturing methods are:

- non-weightbearing - which is standard in the podiatric literature. This implies the use plaster of Paris splint.

- semi weightbearing – which implies the use of foam box.

In agreement with Root [9, 11, 12], these methods involve subtalar neutral joint positioning, i.e. in a position where it is neither supinated nor pronated with the midtarsal joint being blocked in a position of maximum pronation. Subtalar neutral joint position is determined by palpation of talus-navicular joint congruence, confirmed by the similar form of the curves from above and below the lateral malleolus or absence of skin folds in the same areas. The absence of these details may be the sign that the foot is in pronation or supination. Midtarsal joint is locked through grasping the fourth and fifth toes, distal to the correspondent metatarsal heads and inducing a dorsiflexion movement of the forefoot up to “resistance”. This casting method will allow capturing the hindfoot-forefoot relationship. In Root's acceptance, the concept of subtalar joint neutral position is one of the criteria that define the ideal normal foot function. The foot being in this position will support body weight efficiently and will provide stability of the osseous and muscular systems due to increasing joint compression forces that resist rotational forces assuring the joint's rotational equilibrium. Change of compressive forces, especially from the midtarsal joint, influences the stability of the joint in the frontal plane of the foot by reducing the effect of reaction forces generated by the support surface. Therefore, it is desirable that the foot should be in a position of maximum stability before the onset of the propulsion phase of gait cycle phase in which the foot is under the greatest tension [11, 13].

Methods which are used for the 3D capture of the foot without positioning the subtalar joint in its neutral position could also be non-weightbearing,

explicarea și înțelegerea algoritmului care stă la baza generării suprafețelor precum și a corelațiilor dintre patologia implicată și algoritmul.

Metodele care implică utilizarea ca poziție de referință a poziției neutre a articulației subastragaliene sunt:

- metoda cu piciorul degrevat de sarcini sau suspendat – care reprezintă standardul în literatura podiatrică. Implică utilizarea feșilor gipsate;

- metoda cu piciorul aflat parțial sub sarcină cu ajutorul spumei pentru masaj.

În acord cu Root [9, 11, 12], aceste metode presupun poziționarea articulației subastragaliene în poziția neutră, adică, într-o poziție în care ea nu este nici în pronatie, nici în supinație, în timp ce articulația mediotarsiană este blocată prin poziționare în pronatie maximă. Poziția neutră este determinată prin palparea congruenței articulației astragalo-naviculare, confirmată și de congruența concavităților de dedesubtul și deasupra maleolei laterale sau absența cutelor pe piele în aceleași zone. Absența acestor indicii poate reprezenta semnul că piciorul se află în pronatie sau supinație. Blocarea articulației mediotarsiene se face prin fixarea degetelor 4 și 5 distal capetelor metatarsienelor corespondente și inducerea unei mișcări de dorsiflexie a antepiciorului, „până la rezistență”. Masajul capturat după această tehnică va permite captura relației antepicior-postpicior. În accepțiunea lui Root, conceptul de poziție neutră a articulației subastragaliene reprezintă unul din criteriile care definesc funcționarea piciorului normal ideal. Piciorul aflat în această poziție va suporta eficient greutatea corpului și va permite asigurarea stabilității sistemelor osos și muscular datorită creșterii forțelor de compresiune în articulații, care se opun forțelor de rotație, asigurând astfel echilibrul rotațional al articulației. Modificarea forțelor de compresiune, în special din articulația mediotarsiană, influențează stabilitatea în plan frontal a piciorului prin reducerea efectului pronator al forțelor de reacțiune generate de suprafața de sprijin. De aceea, este de dorit ca piciorul să se afle într-o poziție de maximă stabilitate înainte de debutul fazei de propulsie a ciclului de mers, faza în care piciorul este supus celor mai mari tensiuni [11, 13].

Metodele folosite pentru captura 3D a piciorului, fără utilizarea poziției neutre a articulației subastragaliene, sunt metode în care piciorul se află în

weightbearing or semi-weightbearing. Thus, in a semi-weightbearing situation, the subject is seated on a chair, so that the femur is parallel to the ground, the tibia is perpendicular to the support surface, while the foot makes an angle of 90 degrees with the tibia. The plaster of Paris splint is wrapped over the foot which will be positioned as in the position described above. The technician grasps the forefoot in the metatarsal area with one hand meanwhile with the other hand slightly rotates the tibia outwards which determines a slight inversion of the foot and a rise of longitudinal arch [14].

In the semi-weightbearing subtalar joint neutral position method, when the foam box is used, the lower limb is positioned as in the precedent method; the congruence of talo-navicular joint is palpated with one hand meanwhile with the other hand a pressure is applied above the knee joint (Figure 2b) in order to allow the foot to equally go into the foam, the forefoot and hindfoot being at the same level [9, 14, 15].

It should be noted that Denischi had presented a non-weightbearing casting method, which, in our knowledge is not applied in practice. Thus, after applying plaster of Paris splint on the foot which has flexible deformations, before the plaster splints harden, the foot's arches are modeled, the forefoot is rotated in a valgus position at the same time with the hindfoot, which is rotated in varus in order to rise the longitudinal arch. When the longitudinal arch is modeled, the navicular is pushed in the upside and lateral directions. After that, the forefoot area is modeled especially in the area of second and third metatarsal heads. In the last moment, the forefoot is tightened in the transversal plane in order to accentuate the anterior arch [5].

The computerized methods can be used in the case when the 3D surface of the foot was initially captured by a manual method, casts thus obtained being scanned, and then the result file is processed in accordance with the algorithm scheme.

sarcină, total sau parțial. Astfel, pentru situația în care piciorul se află parțial sub sarcină, subiectul este așezat pe un scaun, astfel încât femurul să fie paralel cu solul, tibia să fie perpendiculară pe suprafața de sprijin, în timp ce piciorul face un unghi de 90 grade cu tibia. Peste picior se aplică fașa gipsată, se poziționează piciorul conform descrierii de mai sus, după care o mână a tehnicianului fixează antepiciorul în zona articulațiilor metatarsofalangiene, în timp ce, cu cealaltă, rotește ușor tibia către exterior, producând o ușoară inversie a piciorului, precum și o ridicare a arcului longitudinal [14].

În cazul în care se utilizează spuma pentru mulaj, poziția neutră a articulației subastragaliene și piciorul descărcat parțial, se poziționează membrul inferior ca în descrierea anterioară, se palpează congruența articulației astragalo-naviculare cu o mână, urmând ca, după fixarea piciorului în această poziție, cu cealaltă mână să se exercite o presiune verticală asupra genunchiului (Figura 2b), astfel încât piciorul să se afunde în mod egal în spumă, călcâiul și antepiciorul fiind situate la același nivel [9, 14, 15].

Este de remarcat faptul că Denischi a prezentat o metodă de prelevare a mulajului cu piciorul suspendat, metodă care, după cunoștințele noastre, nu este aplicată în practică. Astfel, după aplicarea feșilor gipsate pe picior, în cazul piciorului reductibil, înainte ca gipsul să se întărească, se mulează bolțile piciorului și se torsionează antepiciorul în valgus și postpiciorul în varus, pentru accentuarea bolții longitudinale. În modelarea acestei bolți, scafoidul se împinge în sus și în afară. Se completează apoi cu modelarea bolții anterioare, insistându-se numai în regiunea dinapoi a capetelor metatarsienelor al II-lea și al III-lea. În ultimul moment, se strânge transversal antepiciorul, pentru a accentua bolta anterioară [5].

Metodele computerizate pot fi utilizate și în situația în care suprafața 3D a piciorului a fost capturată printr-o metodă manuală, mulajul astfel obținut fiind scanat, după care fișierul rezultat este prelucrat în acord cu algoritmul sistemului.

EXPERIMENTAL METHOD

Advantages and disadvantages of different techniques for capturing 3D surface of the foot are discussed in numerous articles. The main issues under which different methods are compared include: the accuracy of forefoot to rearfoot relationship capture [16, 17, 18], intra and inter reliability of the method [21], correlations with foot pathomechanics [9, 10], the efficiency of devices manufactured on the 3D image of the foot in foot pathomechanics treatment [19], the costs of different methods [20] and the efficiency of computerized methods [22]. The aim of this study was a preliminary assessment of the differences of forms generated by different methods of capture in the case of a normal foot and a rigid flat foot. Both subjects were informed in detail about the nature of the study and they have agreed to take part in it.

Although the small number of subjects who participated in this study represents a limitation of it, it has been considered that medical devices based on medical prescription are individualized devices which must take into account the specifics of each subject. Thus, Kirby showed that although the average angular values which define the subtalar joint axis orientation are of 16 in the sagittal plane and 42 in the transverse plane, most of the subjects show different orientations of this axis, which differ from the average values. The subtalar joint axis position being an essential component of diagnosis and prescription, the assessing of these particularities must be done individually and not generally treated according to the average values presented in literature. This is even more important if we consider that there is no consensus in the literature related to the average orientation of the subtalar joint axis [24].

In the case of normal foot, the sections perpendicular to the longitudinal axis of the foot were compared, which were obtained based on the three-dimensional image capture of foot using three methods: Sc – scanned foot, NW – non-weightbearing, subtalar neutral joint position, SW – semi-weightbearing position with subtalar joint neutral position. Plantar surface of the two casts taken by the two methods (NW, SW) is shown in Figure 5.

PARTEA EXPERIMENTALĂ

Avantajele și dezavantajele diferitelor tehnici de captură a suprafeței 3D a piciorului sunt dezbătute în numeroase articole. Principalele aspecte sub care sunt comparate diferitele metode cuprind: acuratețea capturii relației antepicior-postpicior [16, 17, 18], reproductibilitatea metodei de către același specialist sau între diferiți specialiști [21], corelațiile cu patologia piciorului [9, 10], eficiența dispozitivelor construite pe baza mulajului în tratarea patologiilor de natură mecanică ale piciorului [19], costurile implicate de diferitele metode [20], precum și eficiența utilizării metodelor computerizate [22]. În articolul de față ne-am propus evaluarea preliminară a diferențelor de formă generate de metoda de captură în cazul unui picior normal și al unui picior plat rigid. Ambii subiecți au fost informați detaliat despre natura studiului consimțind să ia parte la el.

Deși numărul mic al subiecților care au participat la acest studiu reprezintă o limitare a sa, s-a luat în considerare faptul că dispozitivele medicale bazate pe prescripție sunt dispozitive individualizate care trebuie să țină cont de specificul fiecărui subiect. Astfel, Kirby arată că, deși valorile medii unghiulare care definesc orientarea axei subastragaliene sunt de 16 față de planul sagital și 42 față de planul transversal, majoritatea subiecților prezintă orientări diferite ale acestei axe față de orientarea medie [23]. Cum poziția axei subastragaliene reprezintă un element de diagnostic și prescripție esențial, abordarea acestei particularități trebuie făcută individual și nu trebuie tratată general în funcție de valorile medii prezentate în literatură. Acest aspect este cu atât mai important dacă luăm în considerare că și asupra orientării medii a axei subastragaliene nu există un consens în literatura de specialitate [24].

În cazul piciorului normal, s-au comparat secțiunile perpendiculare pe axul longitudinal al piciorului, obținute pe baza capturii imaginii tridimensionale a piciorului prin trei metode: Sc – piciorul scanat, Nw – piciorul suspendat cu articulația subastragaliană plasată în poziția neutră, Sw – cu spumă pentru mulaj, poziția neutră a articulației subastragaliene și piciorul parțial încărcat. Suprafața

plantară a mulajelor prelevată prin cele două metode (Nw, Sw) este prezentată în Figura 5.

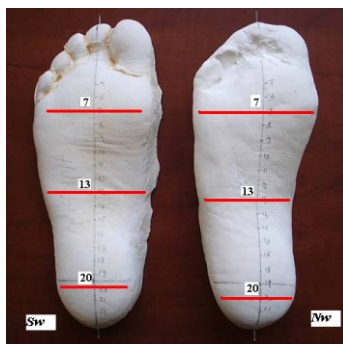


Figure 5. Foot casts obtained by the semi-weightbearing (SW – left) and non-weightbearing (NW – right) methods; the sections are marked by red line and the correspondent number of the section

Figura 5. Mulajele obținute prin metodele: piciorul aflat parțial sub sarcină (Sw – stânga) și piciorul suspendat (Nw – dreapta);

În Figura 6 secțiunile obținute în următoarele zone: articulația metatarso-falangiană I-V (Figura 6a), zona călcâiului (Figura 6b) și la jumătatea distanței dintre secțiunile precedente (Figura 6c). Secțiunile au fost obținute prin scanarea piciorului și a celor două mulaje și extragerea secțiunilor din zonele descrise mai sus, perpendicular pe axa călcâi-degetul 2 a piciorului.

În Figura 6 secțiunile obținute în următoarele zone: articulația metatarso-falangiană I-V (Figura 6a), zona călcâiului (Figura 6b) și la jumătatea distanței dintre secțiunile precedente (Figura 6c). Secțiunile au fost obținute prin scanarea piciorului și a celor două mulaje și extragerea secțiunilor din zonele descrise mai sus, perpendicular pe axa călcâi-degetul 2 a piciorului.

From Figures 6a, 6b, 6c significant qualitative differences can be seen between the shape and dimensions of the three sections corresponding to three types of molds.

Thus, in relation to the support surface (Pt – transverse plane from Figure 6) we can note that:

- in the forefoot area – section no. 7, Figure 6a – there are differences between foot widths and plantar surface form, while the surface sections are tangent to support surface

- in the longitudinal arch area – section no. 13, Figure 6b – there are differences between longitudinal arch height and foot width. Importantly, the longitudinal arch height will determine the form of the orthoses in that area and will influence the pressure at the foot-orthoses interface.

- in the rearfoot area – section no. 20, Figure 6c – there are differences between foot widths and plantar surface while the surface sections are tangent to support – second toe axis of the foot.

În Figura 6 sunt prezentate suprapuse, secțiunile obținute în următoarele zone: articulația metatarso-falangiană I-V (Figura 6a), zona călcâiului (Figura 6c) precum și la jumătatea distanței dintre secțiunile precedente (Figura 6b). Secțiunile au fost obținute prin scanarea piciorului și a celor două mulaje și extragerea secțiunilor din zonele descrise mai sus, perpendicular pe axa călcâi-degetul 2 a piciorului.

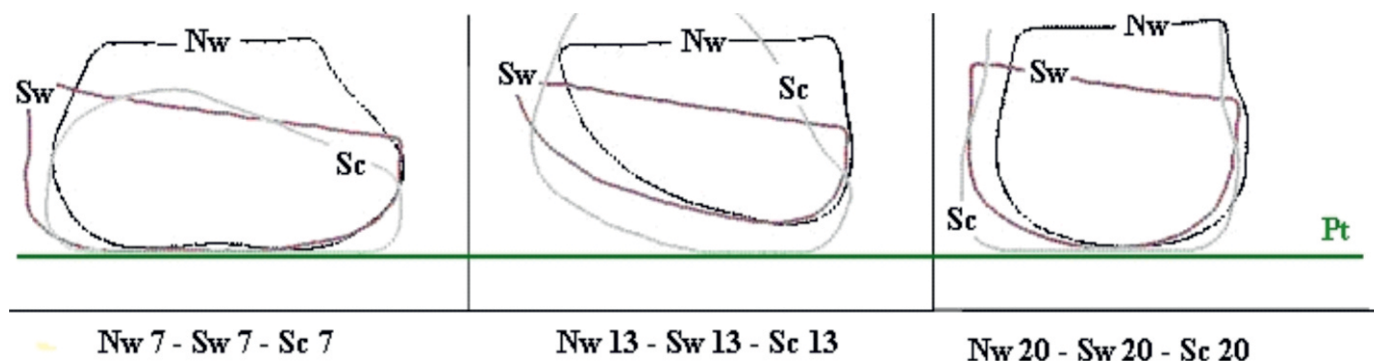
Din Figurile 6a, 6b, 6c se pot observa diferențe calitative semnificative între forma și dimensiunile celor trei secțiuni corespunzătoare celor trei tipuri de mulaje.

Astfel, în raport cu suprafața de sprijin (planul transversal Pt din Figura 6) se observă că:

- în zona antepiciorului – secțiunea nr. 7, Figura 6a – diferă lățimea piciorului și forma suprafeței plantare, în timp ce secțiunile sunt tangente la suprafața de sprijin;

- în zona bolții plantare – secțiunea nr. 13, Figura 6b – diferă lățimea piciorului și înălțimea arcului longitudinal. Foarte important, înălțimea arcului longitudinal va determina conturul ortezei și va influența presiunile exercitate asupra piciorului în această zonă;

- în zona postpiciorului – secțiunea nr. 20, Figura 6c – diferă lățimea piciorului și forma suprafeței plantare, în timp ce secțiunile sunt tangente la suprafața de sprijin.



a – sections from the frontal plane no. 7
a – secțiunile din planul frontal 7

b – sections from the frontal plane no. 13
b – secțiunile din planul frontal 13

c – sections from the frontal plane no. 20
c – secțiunile din planul frontal 20

Figure 6. Comparison between sections in the frontal plane of the 3D image of normal foot, captured by three different methods; NW – non-weightbearing, SW – semi-weightbearing, SC – scanned foot, Pt – transverse plane containing points of support surface contact

Figura 6. Comparație între secțiunile în planul frontal ale imaginii 3D a piciorului normal, capturate prin 3 metode diferite.;
Nw – piciorul suspendat, Sw – piciorul parțial sub sarcină, Sc – piciorul scanat,
Pt – planul transversal ce conține punctele de contact cu suprafața de sprijin

In Figure 7 the major differences in the forefoot-rearfoot relationship registered in the case of rigid flat foot can be seen. Thus, in Figure 7b, the forefoot varus position captured in the non-weightbearing position is shown. Also, it can be seen that through the other two capturing methods (Figures 7a and 7b) different forms were obtained and even an opposite forefoot-rearfoot relation in the case of semi-weightbearing method (Figure 7c). These will determine the shape and orientation of the heel cup of the orthoses which will influence the stability of rearfoot in all gait phases

În Figura 7 se pot observa diferențele majore înregistrate în relația dintre antepicior și postpicior în cazul piciorului plat rigid. Astfel, în Figura 7b este pusă în evidență deformația de antepicior varus în raport cu poziția verticală a calcaneului înregistrată în cazul obținerii mulajului cu piciorul suspendat, relație care nu mai este vizibilă în cazul prelevării mulajului cu piciorul parțial aflat sub sarcină. De asemenea, se observă forma diferită, opusă ca aspect în cazul Figurilor 7a și 7b, ce va influența semnificativ forma cupei ortezei în zona călcâiului și, implicit, stabilitatea calcaneului în fazele de contact, sprijin unilateral și propulsie ale mersului.

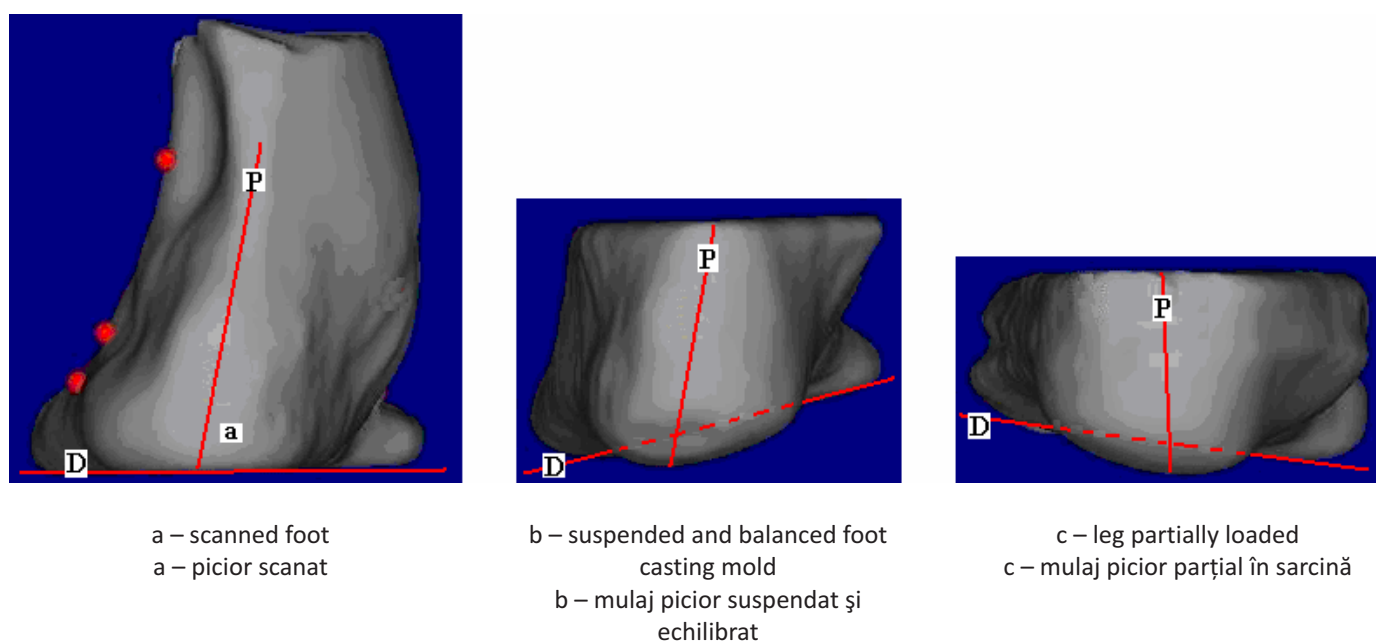


Figure 7. Comparison between three methods for the capture of the 3D surface of a rigid flat foot (left foot); through red lines are represented: the forefoot orientation (D line = metatarso-phalangeal joint I-V), the rearfoot orientation (P line = calcaneal bisection), the forefoot-rearfoot angle (a)

Figura 7. Comparație între trei metode de captură a suprafeței 3D a unui picior plat rigid (piciorul stâng); prin liniile roșii sunt reprezentate direcția antepiciorului (linia articulațiilor MF) și direcția postpiciorului. P – direcția calcaneului, dată de bisectoarea calcaneului, D – direcția antepiciorului, dată de linia care unește capetele metatarsienelor I-V

Differences of form, highlighted through visual analysis of the plantar surface forms in all three situations (Figure 7) and by comparing the sections from the same region of the foot (Figure 6), demonstrate the importance of correlation between the type of device that is intended to be prescribed (functional or accommodative), the type of material used (rigid, semi rigid or flexible) and the 3D capture method of the plantar area of the foot (according to the classification system described in this article). If the materials used are rigid or semi-rigid, foot function and treatment success will be significantly influenced by the shape of orthoses. It should be emphasized that the limited number of subjects and limited experience in the practice of capturing 3D surface of the foot represent important sources of error in the objective comparison of results from different methods. Another source of error is the lack of a common theoretical base needed for effective communication between specialists who prescribe these devices and those who design and execute them.

Diferențele de formă, puse în evidență atât prin analiza vizuală a formelor suprafeței plantare în cele trei situații (Figura 7), cât și prin compararea secțiunilor obținute din aceeași zonă a piciorului, demonstrează importanța corelației între tipul de dispozitiv ce se dorește a fi prescris (funcțional sau acomodativ), tipul de material utilizat (rigid, semirigid sau flexibil), precum și tipul de captură a suprafeței tridimensionale a piciorului (conform cu sistemul de clasificare descris în acest articol). În cazul utilizării materialelor rigide sau semirigide, funcționarea piciorului și succesul tratamentului sunt influențate semnificativ de forma ortezei. Este necesar a fi evidențiat faptul că numărul limitat de subiecți, precum și experiența limitată în practica capturării suprafeței 3D a piciorului reprezintă surse majore de eroare în compararea cât mai obiectivă a rezultatelor diferitelor metode. O altă sursă de eroare o constituie lipsa unei baze teoretice comune necesară pentru o comunicare eficientă între specialiștii care prescriu aceste dispozitive și cei care le proiectează și le execută.

CONCLUSIONS

The analysis of the importance of 3D foot plantar surface capture methods could be done correctly only in the context of an elaborated, biomechanically based definition of the device which has to be prescribed and obtained related to the existing pathology. From this perspective we consider that the concept of functional, accommodative and accommodative-functional foot orthoses reflect in a more objective manner the involvement of these devices in the treatment of foot pathomechanics than the term “arch support”.

Methods of capturing the 3D surface of the foot are very diverse. The major difference between them is given by the theoretical basis on which these methods are founded. From this point of view, the subtalar joint neutral position, non-weightbearing method is the most elaborate from a theoretical point of view, being the one that requires both a deep understanding of the theoretical basis and very well developed practical skills.

Preliminary results obtained by using the three methods of 3D capture of plantar foot surface presented in this preliminary study has revealed major differences of the obtained forms, in qualitative terms. Because the device form has a significant influence on its functionality, further researches on both theoretical basis and methodology for capturing the 3D surface of the foot are necessary. The dialogue between the specialists involved in prescribing and designing of this kind of devices is an essential condition.

CONCLUZII

Analiza importanței metodei de captură a suprafeței 3D a piciorului nu poate fi făcută corect decât în contextul unei definiții cât mai elaborate din punct de vedere biomecanic a dispozitivului care trebuie prescris și obținut în funcție de patologia existentă. Din acest punct de vedere considerăm că noțiunile de orteze funcționale, acomodative și acomodativ-funcționale reflectă o abordare mult mai obiectivă a implicării acestor dispozitive în tratamentul patologiilor de natură mecanică ale piciorului decât termenul de „susținător plantar”.

Metodele de captură a suprafeței 3D a piciorului sunt foarte diversificate. Diferența majoră dintre ele este dată de baza teoretică pe care aceste metode sunt fundamentate. Din acest punct de vedere, metoda de captură în funcție de poziția articulației subastragaliene este cea mai elaborată din punct de vedere teoretic, fiind și cea care necesită atât o înțelegere aprofundată a bazei teoretice, cât și o abilitate practică dezvoltată.

Rezultatele preliminare obținute prin utilizarea a trei metode de captură a suprafeței piciorului au demonstrat existența unor diferențe majore, din punct de vedere calitativ, ale formelor obținute. Deoarece forma influențează semnificativ funcționalitatea dispozitivului, se impune continuarea cercetărilor privind atât baza teoretică, cât și metodologia de captură a suprafeței 3D a piciorului. În acest sens, dialogul între specialiștii implicați în prescrierea și proiectarea acestor dispozitive este o condiție esențială.

REFERENCES

1. DEX online, Copyright (C) **2004-2008**. Copying definitions is allowed under GPL license, on condition of preserving this note.
2. Brown, L.P., Yavorsky, P., Locomotor Biomechanics and Pathomechanics. A Review, **1987**, *JOSPT*, 9, 1.
3. Scope of Practice for Certified Pedorthists, **2003**, American Board for Certification in Orthotics, Prosthetics and Pedorthics, Inc (1997), January, revised March 17.

4. ORDER for approval of Methodologic Regulations for Application of Framework Contract on the Conditions for Granting Medical Assistance within the Social Insurance System for **2008** (in Romanian).
5. Denischi, A., Medrea, O., Popovici, N., Foot Diseases (in Romanian), **1964**, Medical Publishing House, Bucharest.
6. Stroescu, I., Functional recovery in rheumatologic practice (in Romanian), **1979**, Medical Publishing House, Bucharest.
7. Kirby, K.A., Foot & Lower Extremity Biomechanics vol. 1, **1997**, Precision Intricast, Inc. Newsletters.
8. Ronconi, P., Ronconi, S., Il Piede Biomeccanica e Patomeccanica in tema di antigravitarietà, **2003**, Timeo, Bologna.
9. Valmassy, R.L., Orthoses, **1999**, in Sports Medicine of the Lower Extremity, edited by Steven I. Subotnick, Churchill Livingstone; 2nd edition (January 15).
10. Losito, J.M., Impression casting techniques, **1996**, in Valmassy, R.L., ed. Clinical Biomechanics of the Lower Extremity, CV Mosby, St Louis.
11. Lee, W.E., Podiatric Biomechanics – An Historical Appraisal and Discussion of the Root Model as a Clinical System of Approach in the Present Context of Theoretical Uncertainty, **2001**, *Clin Podiatr Med Surg*, 18, 1.
12. Kennedy, S., Casting for Foot Orthotics—What Works Best?, August **2004**, *The O&P Edge*.
13. Anthony, R.J., The Manufacture and Use of the Functional Foot Orthosis, **1991**, Karger, Basel, Switzerland.
14. Edwards, C., A Manual of Orthopedic Shoe Technology, **1981**, Ball State University, USA.
15. Hersco Orthotic Labs, How to Take a Foam Impression, Professional Education Center.
16. McPoil, T.G., Schuit, D., Knecht, H.G., Comparison of three methods used to obtain a neutral plaster impression, **1989**, *Phys Ther*, 69, 448-451.
17. Valmassy, R.L. Advantages and disadvantages of various casting techniques, **1979**, *J Am Podiatr Med Assoc*, 69, 707-711.
18. Cox, R.A., Ingrando, C.R., Park, S.C., Lake, D.A., Comparison of forefoot varus measurements obtained from non-weightbearing, partial weightbearing and full weightbearing orthotic casting techniques, **1999**, *J Orthop Sports Phys Ther*, 29, A5.
19. Landorf, K., Keenan, A.M., Efficacy of foot orthoses: what does the literature tell us?, **1998**, *Australas J Podiatric Med*, 32, 105-113.
20. Payne, C., Cost benefit comparison of plaster casts and optical scans of the foot for the manufacture of foot orthoses, **2007**, *Australas J Podiatric Med*, 41, 2, 29-31.
21. Chuter, V., Payne, C., Variability of Neutral Position Casting, **2003**, *JAPMA*, 93, 1.
22. Fairley, M., The Pros and Cons of Computerized Foot Orthotic Technology, **2004**, *The O&P Edge*.
23. Kirby, K., Methods for Determination of Positional Variations in the Subtalar Joint Axis, **1987**, *JAPMA*, 77, 5.
24. Piazza, S.J., Mechanics of the Subtalar Joint and Its Function During Walking, **2005**, *Foot Ankle Clin. N. Am.* 10, 425–442.