

INVESTIGATION OF CHILDREN'S FOOT ARCH BASED ON THE VARIATION BETWEEN STATIC AND DYNAMIC FOOTPRINT

EXAMINAREA BOLȚII PICIORULUI LA COPII PE BAZA VARIAȚIEI DINTRE AMPRENTA PLANTARĂ ÎN STARE STATICĂ ȘI DINAMICĂ

Jin ZHOU^{1,2}, Youran ZHANG¹, Wuyong CHEN^{1,2}, Bo XU^{1,2*}

¹National Engineering Laboratory for Clean Technology of Leather Manufacture, Sichuan University, Chengdu 610065, P. R. China; email: zj_scu@qq.com

²Key laboratory for leather chemistry and engineering of the education ministry, Sichuan University, Chengdu 610065, P. R. China

INVESTIGATION OF CHILDREN'S FOOT ARCH BASED ON THE VARIATION BETWEEN STATIC AND DYNAMIC FOOTPRINT

ABSTRACT. Since no efforts have been made to comprehend the function of children's foot arch from the viewpoint of the static and dynamic footprint, our study first aimed at quantitatively defining the function of healthy children's longitudinal and transverse arch based on the variation between static and dynamic footprint in terms of foot size, angle and proportion parameters; and then providing a normative range of foot change due to arch for the diagnosis of children's abnormal foot function. The static and dynamic footprint of 401 healthy children aged between two and 11 were first obtained by the way of three-dimensional scanning and plantar pressure measurement. All children were checked by an experienced orthopedic expert and those with foot deformity were excluded. The parameters such as foot length, foot width, arch angle and arch ratio were determined. Paired-T test was mainly applied for statistical analysis with the significant level 0.05. The result shows that significant differences existed between the children's static and dynamic footprint in terms of size, angle and proportion and according to those distinctions, the function of children's foot arch could be quantitatively defined. Besides, our result also indicates that except the age group of two, there were no significant differences between the boys and girls in all age groups and variables. Overall, the function of foot arch was quantitatively defined by variable of foot size, angle and proportion and it was independent to the effect of the gender; meanwhile results of this study could be used in the clinical practice of orthopedics.

KEY WORDS: orthopedics; dynamic footprint; static footprint; children; foot arch

EXAMINAREA BOLȚII PICIORULUI LA COPII PE BAZA VARIAȚIEI DINTRE AMPRENTA PLANTARĂ ÎN STARE STATICĂ ȘI DINAMICĂ

REZUMAT. Întrucât nu s-au depus eforturi pentru a înțelege funcția bolții piciorului la copii din punctul de vedere al amprentei plantare în stare statică și dinamică, studiu nostru a urmărit, în primul rând, definirea cantitativă a funcției bolții longitudinale și a celei transversale la copii sănătoși pe baza variației dintre amprentă în stare statică și cea în stare dinamică în ceea ce privește parametrii de mărime, unghi și proporție ai piciorului, oferind apoi un interval normativ al modificărilor piciorului datorate bolții pentru diagnosticarea funcției anormale a piciorului la copii. S-au obținut mai întâi amprentele în stare statică și dinamică de la 401 de copii sănătoși cu vîrstele cuprinse între doi și 11 ani prin scanarea tridimensională și măsurarea presiunii plantare. Toți copiii au fost examinați de un specialist ortoped cu experiență, iar cei cu deformări ale piciorului au fost excluși. S-au determinat parametri precum lungimea piciorului, lățimea piciorului, unghiu bolții și indicele bolții longitudinale. S-a aplicat testul T asociat pentru analiza statistică cu un nivel de semnificație de 0,05. Rezultatul arată diferențe semnificative între amprentă în stare statică și cea în stare dinamică la copii în ceea ce privește dimensiunea, unghiu și proporția piciorului, și pe baza acestor diferențe, s-a putut defini cantitativ funcția bolții piciorului la copii. În plus, rezultatele noastre indică faptul că, în afara grupei de vîrstă de doi ani, nu au existat diferențe semnificative între băieți și fete din toate grupele de vîrstă și între variabile. Per ansamblu, funcția bolții piciorului a fost definită cantitativ de variabile precum mărimea piciorului, unghiu și proporția și nu a fost influențată de sex. Rezultatele acestui studiu ar putea fi utilizate în practica clinică ortopedică.

CUVINTE CHEIE: ortopedie, amprentă în stare dinamică, amprentă în stare statică, copii, bolta piciorului

ANALYSE DE LA VOÛTE PLANTAIRE CHEZ LES ENFANTS À PARTIR DE LA VARIATION ENTRE L'EMPREINTE EN STATIQUE ET EN DYNAMIQUE

RÉSUMÉ. Comme il n'y avait fait aucun effort pour comprendre la fonction de la voûte plantaire chez les enfants dans la perspective de l'empreinte en statique et en dynamique, notre étude a eu le but principal de définir quantitativement la fonction de la voûte longitudinale et transversale chez les enfants en bonne santé à partir de la variation entre l'empreinte en statique et en dynamique en analysant des paramètres tels que la taille du pied, l'angle et la proportion; puis on a fourni une gamme normative de changement du pied en raison de la voûte plantaire pour le diagnostic de la fonction anormale du pied chez les enfants. On a obtenu l'empreinte en statique et en dynamique chez 401 enfants en bonne santé âgés de deux à 11 ans par la balayage en trois dimensions et par la mesure de la pression plantaire. Tous les enfants ont été vérifiés par un expert orthopédique expérimenté et ceux avec déformations du pied ont été exclus. Les paramètres tels que la longueur du pied, la largeur du pied, l'angle de la voûte et le rapport de la voûte ont été déterminés. On a appliqué le test T pour les échantillons appariés pour l'analyse statistique avec le niveau de signification de 0,05. Le résultat montre des différences significatives entre l'empreinte plantaire en statique et en dynamique chez les enfants en ce qui concerne la taille, l'angle et la proportion et selon ceux distinctions, on a peut définir quantitativement la fonction de la voûte plantaire chez les enfants. En outre, notre résultat indique également que, sauf le groupe d'âge de deux ans, il n'y a eu pas de différences significatives entre les garçons et les filles dans tous les groupes d'âge et parmi les variables. Dans l'ensemble, la fonction de la voûte plantaire a été quantitativement définie par les variables de la taille du pied, l'angle et la proportion et a été indépendante à l'effet du sexe. Les résultats de cette étude pourraient être utilisés dans la pratique clinique de l'orthopédie.

MOTS CLÉS: orthopédie; empreinte en dynamique; empreinte en statique; enfants; voûte plantaire

*Correspondence to: Bo XU, National Engineering Laboratory for Clean Technology of Leather Manufacture, Sichuan University Chengdu 610065, P. R. China, fax: 86-28-85405237, email: xubo666@263.net

INTRODUCTION

Children's foot changes dramatically during their childhood since independent walking [1, 2] and significant progress of both foot function and morphology could be observed [1-3, 4]. Foot arch is an important structure of the foot, and it helps foot loading and shifts the pressure from the rear foot to the forefoot [1]. The maldevelopment of the arch contributes to the flat foot [5], pain of sinus tarsi [6] or excessive pronation [7], which could risk the health of foot. Methods such as radiography and plantar pressure measurement [8, 9] were usually reported in the examination of foot arch; whereas, based on the footprint, the function of foot arch could also be quantitatively evaluated. Two methods were used to describe the foot posture: the static footprint and the dynamic one. Static footprint indicates the foot morphology in static standing posture; while the dynamic one shows the footprint whilst walking. Due to the work of foot arch, differentiations exist between the static and dynamic foot. Therefore, comprehension of those variations in healthy children is beneficial for the diagnosis of children's flat foot or foot pain in the clinical practice of orthopedics.

Currently, static footprint of children has been extensively studied and domains of calculation of growth rate [4, 10, 11], identification of abnormal function [12] and evaluation of footwear [1, 13] were mostly concerned by researchers; whereas, only two studies reported the children's dynamic foot. Stavlas *et al.* [14] first measured the dynamic feet patterns of almost 6000 children aged between six and 17 and their results were used to classify the foot type, such as high arch or flat foot; however their outcomes were lacking of descriptions of the static data for comparison. Moreover, Muller *et al.* [3] studied both the static and dynamic feet of more than 10 thousand healthy children with the age between one and 13. Unfortunately, their dynamic feet were presented in terms of plantar pressure, rather than the foot morphology. Thereby, till now, no efforts have been made to comprehend the function of children's foot arch from the viewpoint of differences between the static and dynamic footprint in terms of size, angle and proportion parameters.

INTRODUCERE

Picioarele copiilor se schimbă dramatic în copilărie începând cu stadiul de mers independent [1, 2] și se pot observa progrese semnificative atât privind funcția piciorului, cât și morfologia acestuia [1-3, 4]. Bolta piciorului este o structură importantă a acestuia, ușurând sarcina și transferând presiunea de la retropicior la antepicior [1]. Dezvoltarea defectuoasă a boltii contribuie la apariția platfusului [5], apariția durerii în zona sinus tarsi [6] sau pronația excesivă [7], care pot prezenta riscuri pentru sănătatea piciorului. La examinarea boltii piciorului s-au raportat, de obicei, metode cum ar fi radiografia și măsurarea presiunii plantare [8, 9]; de asemenea, pe baza amprentei, se poate evalua cantitativ funcția boltii plantare. S-au folosit două metode pentru a descrie postura piciorului: amprenta în stare statică și cea în stare dinamică. Amprenta în stare statică indică morfologia piciorului în poziția stând în picioare pe loc, iar cea în stare dinamică prezintă amprenta în timpul mersului. Datorită activității boltii plantare, există diferențieri între piciorul în stare statică și cel în stare dinamică. Prin urmare, înțelegerea acestor variații la copiii sănătoși este benefică pentru diagnosticarea platfusului sau durerii de picioare la copii în practica clinică a ortopiediei.

S-a studiat extensiv amprenta plantară în stare statică la copii, cercetătorii vizând în special domenii precum calculul vitezei de creștere [4, 10, 11], identificarea funcției anormale [12] și evaluarea încălțăminteii [1, 13]; în timp ce doar două studii au raportat amprenta plantară în stare dinamică la copii. Stavlas și colab. [14] au fost primii care au măsurat modelele plantare în stare dinamică pentru aproape 6000 de copii cu vârste cuprinse între șase și 17 ani, iar rezultatele lor au fost folosite pentru a clasifica tipul piciorului, cu boltă exagerată sau cu platfus; cu toate acestea, din rezultatele lor au lipsit descrieri ale datelor amprentei în stare statică pentru comparație. Mai mult decât atât, Muller și colab. [3] au studiat piciorul în stare statică și dinamică la mai mult de 10 mii de copii sănătoși cu vîrstă între unu și 13 ani. Din păcate, aceștia au analizat picioarele în stare dinamică mai degrabă din punctul de vedere al presiunii plantare, decât al morfologiei piciorului. Astfel, până în prezent, nu s-a făcut niciun efort pentru a înțelege funcția boltii plantare la copii din punctul de vedere al diferențelor dintre amprenta în stare statică și dinamică în funcție de parametri precum dimensiunea, unghiul și proporția.

Hence, our study first aimed at quantitatively defining the function of healthy children's longitudinal and transverse arch based on the variation between static and dynamic footprint in terms of foot size, angle and proportion parameters; and then providing a normative range of foot change due to arch for the diagnosis of children's abnormal foot function. One hypothesis was proposed: variation between the static and dynamic footprint in terms of foot size, angle and proportion parameters would be used to explain the contribution of arch to the foot function.

MATERIALS AND METHODS

Subjects

Totally, 401 healthy children aged between two and 11 were recruited and those with foot deformities such as ligament hypermobility, with history of foot surgery or foot pain were excluded by an experienced orthopedic expert. Details of subjects' demography in each age group were shown in Table 1. Before the measurement, aims and procedures of this study were explained to the children's parent and their formal agreements have been given. Further, this study followed the requirement of "Declaration of Helsinki" and was confirmed by the ethic committee of the university.

Prin urmare, studiul nostru a avut în primul rând scopul de a defini cantitativ funcția bolții plantare longitudinale și transversale la copii sănătoși pe baza diferenței dintre amprenta în stare statică și cea în stare dinamică în ceea ce privește mărimea, unghii și proporția piciorului; și apoi de a oferi o gamă normativă a modificărilor piciorului datorate bolții pentru diagnosticarea funcției anormale a piciorului la copii. S-a propus următoarea ipoteză: variația dintre amprenta în stare statică și dinamică din punctul de vedere al parametrilor de mărime, unghi și proporție va fi utilizată pentru a explica contribuția bolții la funcția piciorului.

MATERIALE ȘI METODE

Subiecți

S-au recrutat în total 401 de copii sănătoși cu vârste cuprinse între doi și 11 ani, iar cei cu disformități ale piciorului, cum ar fi hipermobilitatea ligamentelor, cu antecedente de chirurgie a piciorului sau dureri de picioare au fost excluși de către un specialist ortoped cu experiență. Detalii despre demografia subiecților din fiecare grupă de vîrstă au fost prezentate în Tabelul 1. Înainte de a efectua măsurători, obiectivele și procedurile acestui studiu au fost explicate părinților copiilor și aceștia și-au dat acordul oficial. Mai mult decât atât, acest studiu a urmat principiile "Declarației de la Helsinki" și a fost aprobat de comisia de etică a universității.

Table 1: Demographic information of all the subjects in each age group
Tabelul 1: Date demografice ale tuturor subiecților din fiecare grupă de vîrstă

| | 2 years 2 ani | | | 3 years 3 ani | | | 4 years 4 ani | | | 5 years 5 ani | | | 6 years 6 ani | | |
|---------------------------------|------------------|---------------|---------------------------|------------------|---------------|---------------------------|------------------|---------------|---------------------------|------------------|---------------|---------------------------|------------------|---------------|---------------------------|
| | n | Mean Medie | SD Abatere standard |
| Age Vîrstă | 5 | 2.9 | 0.1 | 48 | 3.6 | 0.2 | 52 | 4.5 | 0.3 | 47 | 5.3 | 0.2 | 79 | 6.6 | 0.3 |
| Height Înălțime | 5 | 92.0 | 2.6 | 48 | 97.3 | 3.9 | 52 | 100.9 | 5.7 | 47 | 106.4 | 3.7 | 79 | 118.6 | 5.1 |
| Weight Greutate | 5 | 14.4 | 0.7 | 48 | 16.4 | 2.1 | 52 | 17.2 | 2.8 | 47 | 18.4 | 2.4 | 79 | 23.6 | 3.9 |
| Male/Female Sex (băiat/fată) | 2/3 | | | 23/25 | | | 27/25 | | | 25/22 | | | 43/36 | | |

Table 1: Continued
Tabelul 1: Continuare

| | 7 years 7 ani | | | 8 years 8 ani | | | 9 years 9 ani | | | 10 years 10 ani | | | 11 years 11 ani | | |
|---------------------------------|------------------|---------------|---------------------------|------------------|---------------|---------------------------|------------------|---------------|---------------------------|--------------------|---------------|---------------------------|--------------------|---------------|---------------------------|
| | n | Mean Medie | SD Abatere standard | n | Mean Medie | SD Abatere standard | n | Mean Medie | SD Abatere standard | n | Mean Medie | SD Abatere standard | n | Mean Medie | SD Abatere standard |
| Age Vârstă | 36 | 7.6 | 0.3 | 78 | 8.4 | 0.3 | 32 | 9.4 | 0.3 | 18 | 10.6 | 0.3 | 6 | 11.2 | 0.2 |
| Height Înălțime | 36 | 125.1 | 4.3 | 78 | 129.8 | 5.7 | 32 | 134.5 | 4.7 | 18 | 143.9 | 6.5 | 6 | 147.9 | 3.7 |
| Weight Greutate | 36 | 27.4 | 4.4 | 78 | 29.6 | 6.6 | 32 | 32.5 | 5.2 | 18 | 38.5 | 5.8 | 6 | 41.9 | 3.6 |
| Male/Female Sex (băiat/fată) | 18/18 | | | 40/38 | | | 17/15 | | | 8/10 | | | 4/2 | | |

Static Measurement

Three dimensional laser scanner (INFOOT USB: Standard type, I-Ware Laboratory Co.,Ltd, Japan) was utilized. The scanning area is 400 (L) × 200 (W) × 150 (H) mm, frequency is 50/60Hz, scanning speed is 30mm/second, and scanning error is one to two mm in both X-Y and Y-Z plane. The Infoot system has been proved to be both reliable and repeatable in the foot measurement [15]. The child was guided in the posture of barefoot still standing and body weight was equally distributed onto both feet. Each side of the foot was measured individually in this study (Figure 1A).

Măsurători în stare statică

S-a utilizat un scanner tridimensional cu laser (INFOOT USB: de tip standard, I-Ware Laboratory Co., Ltd, Japonia). Zona de scanare este de 400 (L) x 200 (W) x 150 (H) mm, frecvența este de 50/60 Hz, viteza de scanare este de 30 mm/secundă, iar eroarea de scanare este de 1-2 mm în planurile XY și YZ. Sistemul Infoot s-a dovedit a fi de încredere și repetabil în măsurarea piciorului [15]. Copiii au fost îndrumați să stea desculți în picioare pe loc, iar greutatea corporală a fost distribuită în mod egal pe cele două picioare. Fiecare parte a piciorului a fost măsurată individual în acest studiu (Figura 1A).

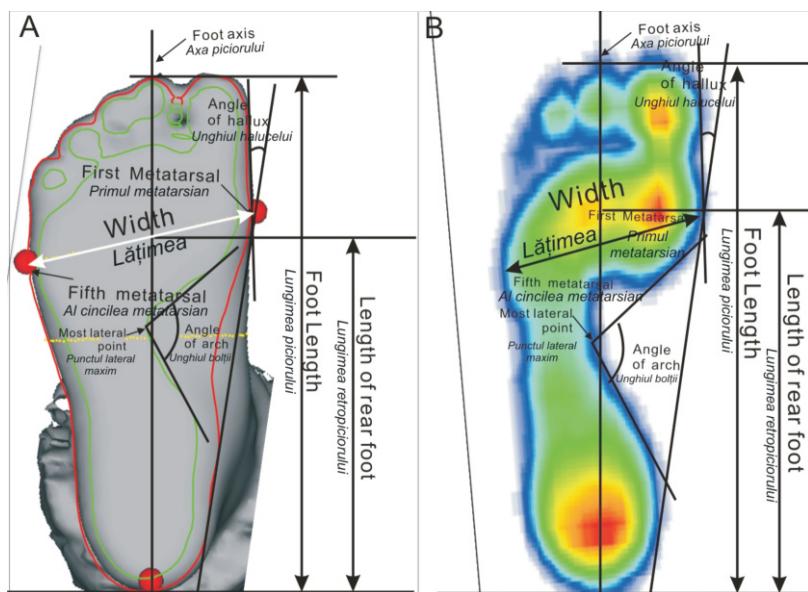


Figure 1. Analysis of the static and dynamic footprint: (a) static footprint; (b) dynamic footprint

Figura 1. Analiza amprentei în stare statică și dinamică: (a) amprentă în stare statică; (b) amprentă în stare dinamică

Dynamic Measurement

The dynamic foot was obtained by Footscan plantar pressure system (one meter plate, RSscan Int., Belgium). The scanning frequency of this system is 500Hz at most, pressure sensor density is $4/\text{cm}^2$, and the range of measure is $0\text{-}200\text{N}/\text{cm}^2$. Two-steps initial protocol was performed by the children and they were guided walking with their selected speed through the pressure plate which was located in the middle of six-meter-long track. The protocol of two-steps indicates that before stepping onto the pressure plate, two steps are required; besides, this protocol has been proved to be effectively reducing the times of trial and at the same time to improve the repeatability of the gait [16]. Before the measurement, the system was calibrated; and then three to five minutes warm up was provided. Three successful measures for each side of foot were also required (Figure 1B).

Data Processing

At first, key points were marked according to static and dynamic foot patterns, such as foot axis (the line connects the posterior of heel and the middle of second toe), the first metatarsal head (MTH), the fifth MTH, mid foot (the most lateral point of medial foot print); then both static and dynamic parameters in terms of foot size, angle and proportion were determined: Foot length (FL: the longest line of the foot) (mm); Foot width (FW: the line joins the first and the fifth MTH) (mm); Arch angle (AA: the angle between the line which start from the point of mid foot to the fore and hind foot respectively) (degree) and Arch ratio (AR: ratio between arch width and foot width) (%) (Figure 1A, B). In terms of dynamic footprint, only the gait phase of foot flat was applied for geometry analysis.

Correlation between Static and Dynamic Measurement

In order to explore the potential differences between the two methods or two test situations which were used in this study, 15 healthy students were recruited. Both the static and dynamic measurements were applied to obtain their static and dynamic footprint and three successful trials were required. The

Măsurători în stare dinamică

Amprenta dinamică a fost obținută cu ajutorul sistemului de presiune plantară Footscan (placă de un metru, RSscan Int., Belgia). Frecvența de scanare a acestui sistem este de cel mult 500 Hz, densitatea senzorului de presiune este de $4/\text{cm}^2$, iar gama de măsurare este $0\text{-}200 \text{ N}/\text{cm}^2$. Copiii au urmat un protocol inițial în doi pași, apoi au fost îndrumați să meargă cu o viteză la alegere pe placa de presiune situată în centrul unei piste lungi de şase metri. Protocolul în doi pași indică faptul că sunt necesari doi pași înainte de a păsi pe placa de presiune; în plus, s-a dovedit că acest protocol reduce în mod eficient durata testului și, în același timp, îmbunătățește repetabilitatea mersului [16]. Sistemul a fost calibrat înainte de efectuarea măsurătorii; apoi s-au alocat de la trei până la cinci minute pentru încălzire. Au fost necesare trei măsurători reușite pentru fiecare parte a piciorului (Figura 1B).

Prelucrarea datelor

Înțial s-au marcat puncte cheie în conformitate cu modelele statice și dinamice ale piciorului, cum ar fi axa piciorului (linia care leagă partea posterioară a călcâiului și mijlocul celui de al doilea deget), capul primului metatarsian (MTH), al cincilea metatarsian, mijlocul piciorului (punctul lateral maxim al amprentei zonei mediene a piciorului); apoi s-au determinat parametrii legați de mărime, unghi și proporție în stare statică și dinamică: lungimea piciorului (FL: cea mai lungă linie a piciorului) (mm); lățimea piciorului (FW: linia se alătură primului și celui de-al cincilea metatarsian) (mm); unghiul boltii (AA: unghiul dintre linia care pleacă din mijlocul piciorului spre antepicior și respectiv cea spre retropicior) (grade) și indicele boltii longitudinale (AR: raportul dintre lățimea boltii și lățimea piciorului) (%) (Figura 1A, B). În ceea ce privește amprenta dinamică, pentru analiza geometrică s-a luat în considerare doar piciorul în fază de mers.

Corelarea măsurătorilor în stare statică și dinamică

Pentru a explora potențialele diferențele dintre cele două metode sau două situații de testare care au fost utilizate în acest studiu, s-au recrutat 15 elevi sănătoși. S-au efectuat măsurători în stare statică și dinamică pentru a se obține amprente plantare în stare statică și dinamică ale subiecților și au fost necesare trei măsurători reușite. Rezultatul corelației

result of Pearson correlation demonstrated that FL and FW had a good correlation between their static and dynamic status ($r=0.78$, $p=0.00$ for FL; $r=0.73$, $p=0.00$ for FW); while the AA and AR showed a moderate one ($r=0.30$, $p=0.00$ for AA; $r=0.38$, $p=0.00$ for AR).

Statistical Analysis

Three times data of each foot was first averaged within subjects and then inter individuals. The whole age group was divided into ten subgroups with one year interval and error bar with mean \pm 2SD was also plotted. Independent-t test showed that no significant differences between left and right existed in this study, thereby all feet were mixed for analysis; meanwhile, Q-Q plot confirmed that all the data followed the normal distribution. Therefore, linear regression was used to evaluate the correlation between foot size parameter and the age; further, variations between static and dynamic foot and between boys and girls in each age group were examined by Paired-T test and independent T test respectively. Since the number of subjects in the age two and 11 were less than ten, non parametrical model of Mann-Whitney U was applied for those two groups separately in the variation assessing of static and dynamic and boys and girls. All statistical models were operated under the software of SPSS (V16.0, SPSS Inc., USA) with the significant level of 0.05.

RESULTS AND DISCUSSIONS

Results

Linear regression indicates that static FL increased with the age, mean augment was 7.2 mm a year ($r^2=0.50$, $FL=134.7+7.2*age$, $p=0.000$) (Figure 2A); while that of static FW was 2.6 mm ($r^2=0.42$, $FW=57.4+2.6*age$, $p=0.000$) (Figure 2C). Similar outcomes were also observed for dynamic FL and FW. Annual rising of dynamic FL was 8.8 mm ($r^2=0.80$, $FL-D=136.5+8.8*age$, $p=0.000$) (Figure 2B) and that of dynamic FW was 2.8 mm ($r^2=0.62$, $FW=58.1+2.8*age$, $p=0.000$) (Figure 2D).

Pearson a demonstrat că FL și FW au avut o bună corelație între starea statică și cea dinamică ($r=0,78$, $p=0,00$ pentru FL; $r=0,73$, $p=0,00$ pentru FW); în timp ce AA și AR au prezentat o corelație moderată ($r=0,30$, $p=0,00$ pentru AA; $r=0,38$, $p=0,00$ pentru AR).

Analiza statistică

Mai întâi s-a făcut o medie a datelor preluate efectuând trei măsurători la fiecare picior pentru fiecare subiect în parte și apoi între subiecți. Întreaga grupă de vîrstă a fost împărțită în zece sub-grupe la interval de un an și s-au reprezentat grafic barele de eroare cu abatere standard medie de ± 2 . Testul T independent a arătat că în acest studiu nu au existat diferențe semnificative între piciorul stâng și cel drept, astfel analiza a cuprins datele ambelor picioare; diagrama Q-Q a confirmat faptul că toate datele au urmat distribuția normală. Prin urmare, s-a utilizat regresia liniară pentru a evalua corelația dintre mărimea piciorului și vîrstă; în plus, variațiile dintre piciorul în stare statică și cel în stare dinamică și dintre băieți și fete din fiecare grupă de vîrstă au fost examineate prin testul asociat T, respectiv testul T independent. Având în vedere că numărul subiecților din grupele de vîrstă de 2 și 11 ani a fost mai mic decât zece, pentru cele două grupe s-a aplicat separat modelul non parametric Mann-Whitney U pentru a evalua variația dintre piciorul în stare statică și cel în stare dinamică și dintre băieți și fete. Toate modelele statistice au fost operate cu programul SPSS (V16.0, SPSS Inc., SUA), cu nivelul de semnificație de 0,05.

RESULTATE ȘI DISCUȚII

Rezultate

Regresia liniară indică faptul că FL în stare statică a crescut odată cu vîrsta, creșterea medie fiind de 7,2 mm pe an ($r^2=0,50$, $FL=134,7+7,2*vîrsta$, $p=0,000$) (Figura 2A), iar cea a FW în stare statică a fost de 2,6 mm ($r^2=0,42$, $FW=57,4+2,6*vîrsta$, $p=0,000$) (Figura 2C). S-au observat rezultate similare pentru FL și FW în dinamică. Creșterea anuală a FL în dinamică a fost de 8,8mm ($r^2=0,80$, $FL-D=136,5+8,8*vîrsta$, $p=0,000$) (Figura 2B) și cea a FW în dinamică de 2,8 mm ($r^2=0,62$, $FW=58,1+2,8*vîrsta$, $p=0,000$) (Figura 2D).

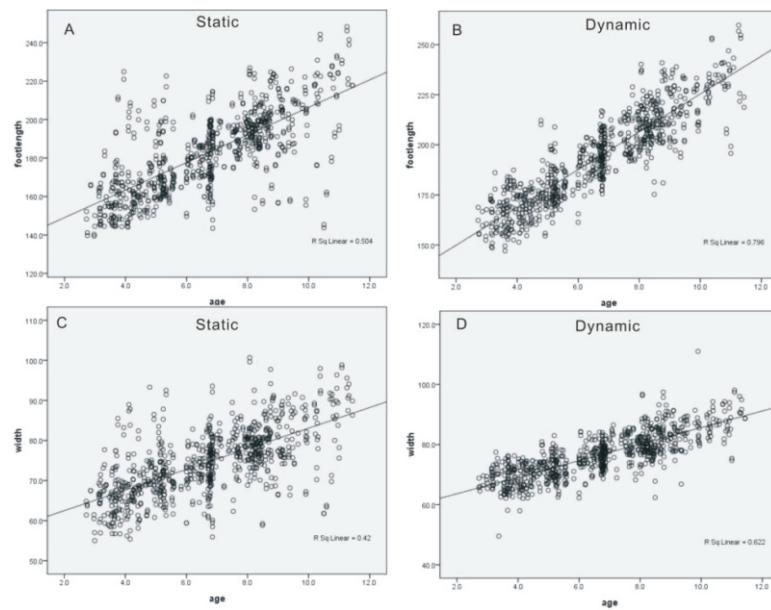


Figure 2. Linear regression of the static and dynamic foot length and foot width with the age:
 (a) static foot length; (b) dynamic foot length; (c) static width; (d) dynamic width

Figura 2. Regresia liniară a lungimii și lățimii piciorului în stare statică și dinamică în funcție de vîrstă:
 (a) lungimea piciorului în stare statică; (b) lungimea piciorului în stare dinamică;
 (c) lățimea piciorului în stare statică; (d) lățimea piciorului în stare dinamică

Paired-T test demonstrates that significant differences existed between the static and dynamic foot data, particular in the foot size parameters (Table 2). Dynamic FL and FW were significantly larger than their static counterparts in the majority age groups; meanwhile, those distinctions were increasing obviously since the age of six. The mean difference between static and dynamic FL was 11.9 mm; while that of FW was 2.2 mm. Moreover, the largest variation of FL was obtained at the age of 10 for 24 mm ($p=0.00$) and that of FW was 4.8 mm at the age of 2 ($p=0.00$) (Figure 3A, B).

Testul T asociat demonstrează că au existat diferențe semnificative între datele preluate pentru piciorul în stare statică și dinamică, mai ales în ceea ce privește dimensiunea piciorului (Tabelul 2). FL și FW în dinamică au fost semnificativ mai mari decât omologii lor în stare statică la majoritatea grupelor de vîrstă; aceste diferențe au început să se mărească în mod evident de la vîrsta de șase ani. Diferența medie dintre FL în stare statică și dinamică a fost de 11,9 mm, în timp ce în cazul FW, aceasta a fost de 2,2 mm. Mai mult decât atât, cea mai mare variație a FL, de 24 mm ($p=0,00$), a fost obținută la vîrsta de 10 ani, iar aceea a FW a fost de 4,8 mm, la vîrsta de 2 ani ($p=0,00$) (Figura 3A, B).

Table 2: Differences between the static and dynamic foot geometric parameters
 Tabelul 2: Diferențe între parametrii geometrici ai piciorului în stare statică și dinamică

| Age Vîrstă | 3 years 3 ani | | | 4 years 4 ani | | | 5 years 5 ani | | | 6 years 6 ani | | |
|---------------|------------------|---------------|-------|------------------|---------------|-------|------------------|---------------|-------|------------------|---------------|-------|
| | N | diff. dif. | p |
| FL (mm) | 96 | -5.2 | 0.00* | 104 | -4.4 | 0.01* | 93 | -5.9 | 0.00* | 158 | -13.3 | 0.00* |
| FW (mm) | 96 | -2.3 | 0.00* | 104 | -0.8 | 0.22 | 93 | -0.5 | 0.45 | 158 | -2.5 | 0.00* |
| AA (°) | 62 | 6.7 | 0.09 | 91 | 18.1 | 0.00* | 89 | 18.4 | 0.00* | 144 | 15.2 | 0.00* |
| AR (%) | 96 | -0.7 | 0.74 | 104 | 6.8 | 0.00* | 93 | 7.9 | 0.00* | 158 | 7.1 | 0.00* |

Table 2: Continued
Tabelul 2: Continuare

| Age Vârstă | 7 years 7 ani | | | 8 years 8 ani | | | 9 years 9 ani | | | 10 years 10 ani | | |
|---------------|------------------|---------------|-------|------------------|---------------|-------|------------------|---------------|-------|--------------------|---------------|-------|
| | N | diff. dif. | p | N | diff. dif. | p | N | diff. dif. | p | N | diff. dif. | P |
| FL (mm) | 72 | -12.6 | 0.00* | 155 | -14.7 | 0.00* | 64 | -20.1 | 0.00* | 36 | -24 | 0.00* |
| FW (mm) | 72 | -1.5 | 0.00* | 155 | -2.1 | 0.00* | 64 | -3.3 | 0.00* | 36 | -4.2 | 0.01* |
| AA (°) | 68 | 14.4 | 0.00* | 151 | 13 | 0.00* | 63 | 18.7 | 0.00* | 34 | 15.6 | 0.01* |
| AR (%) | 72 | 4.3 | 0.02* | 155 | 6.1 | 0.00* | 64 | 7.3 | 0.00* | 36 | 6.3 | 0.04* |

*: significant difference < 0.05

*: diferență semnificativă < 0.05

**: indicates the difference between the static and dynamic foot geometric data

**: indică diferența dintre datele geometriei piciorului în stare statică și dinamică

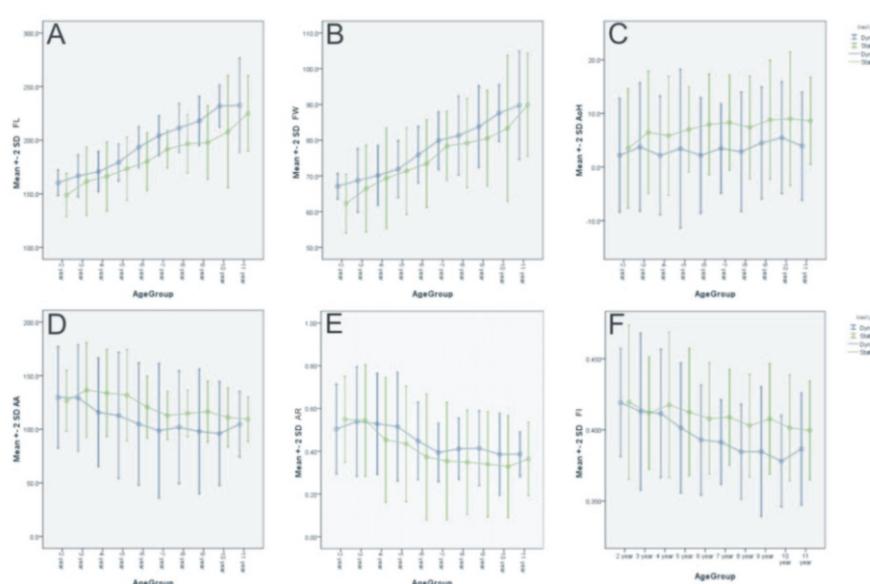


Figure 3. Comparison between the static and dynamic footprint:

(a) foot length; (b) foot width; (c) arch angle; (d) arch ratio

Figura 3. Comparație între amprenta piciorului în stare statică și dinamică:

(a) lungimea piciorului; (b) lățimea piciorului; (c) unghiul bolții; (d) indicele bolții longitudinale

In terms of angle parameter, AA was diminishing with the age and the main deviation between the static and dynamic foot were exhibited at the age of six, seven, nine and 10, in which the static AA was significantly higher than that of dynamic one by almost 10 degrees ($p=0.000$ for all) (Figure 3C; Table 2).

In terms of proportion parameter, both static and dynamic AR demonstrated a falling trend, where the dynamic AR was significantly larger than its static opponent (Figure 3D). The mean variation

În ceea ce privește parametrul referitor la unghi, AA a scăzut cu vîrstă și abaterile semnificative dintre piciorul în stare statică și cel în stare dinamică au apărut la vîrstele de șase, șapte, nouă și zece ani, AA în stare statică fiind semnificativ mai mare, cu aproape 10 grade, decât AA în stare dinamică ($p=0.000$ pentru toți) (Figura 3C, Tabelul 2).

În ceea ce privește parametrul referitor la proporție, AR în stare statică și dinamică a prezentat o tendință de scădere, AR în stare dinamică fiind semnificativ mai mare decât omologul acestuia în stare

between static and dynamic AR was 7.9%. In addition, results of Mann-Whitney U show that significant differences were obtained between static and dynamic FL ($z=-2.721$, $p=0.007$) and FW ($z=-2.797$, $p=0.005$) in the age group of two; whereas, significant variations were found at the age group of 11 between static and dynamic AA ($z=-2.136$, $p=0.033$) (Table 3).

statică (Figura 3D). Variația medie între AR în stare statică și AR în stare dinamică a fost de 7,9%. În plus, rezultatele testului Mann-Whitney U arată că au fost obținute diferențe semnificative între FL ($z=-2,721$, $p=0,007$) și FW ($z=-2,797$, $p=0,005$) în stare statică și dinamică la grupa de vîrstă de doi ani, iar la grupa de vîrstă de 11 ani s-au găsit variații semnificative între AA în stare statică și dinamică ($z=-2,136$, $p=0,033$) (Tabelul 3).

Table 3: Nonparametric analysis of variation between static and dynamic foot
and boy and girl for the age group of two and 11

Tabelul 3: Analiza nonparametrică a variației piciorului în stare statică și dinamică
la băieți și fete din grupele de vîrstă de doi și 11 ani

| Static-dynamic variation Variație statică-dinamică | | | | | |
|---|----------------|--------|--------|---------|---------|
| Age group Grupă de vîrstă | Item Test | AA (°) | AR(%) | FL (mm) | FW (mm) |
| 2 | Mann-Whitney U | 47 | 36 | 14 | 13 |
| | Wilcoxon W | 102 | 91 | 69 | 68 |
| | Z | -0.227 | -1.058 | -2.721 | -2.797 |
| | sig. | 0.821 | 0.29 | 0.007†† | 0.005†† |
| 11 | Mann-Whitney U | 35 | 49 | 52 | 70 |
| | Wilcoxon W | 113 | 127 | 130 | 148 |
| | Z | -2.136 | -1.328 | -1.155 | -0.115 |
| | sig. | 0.033† | 0.184 | 0.248 | 0.908 |
| Gender variation Variație între sexe | | | | | |
| Age group Grupă de vîrstă | Item Test | AA (°) | AR(%) | FL (mm) | FW (mm) |
| 2 | Mann-Whitney U | 21 | 42 | 39 | 14 |
| | Wilcoxon W | 99 | 78 | 75 | 92 |
| | Z | -2.083 | -0.463 | -0.694 | -2.623 |
| | sig. | 0.037† | 0.643 | 0.487 | 0.009†† |
| 11 | Mann-Whitney U | 57 | 32 | 32 | 47 |
| | Wilcoxon W | 93 | 68 | 68 | 183 |
| | Z | -0.429 | -1.96 | -1.96 | -1.041 |
| | sig. | 0.668 | 0.05 | 0.05 | 0.298 |

†: significant differences < 0.05

†: diferențe semnificative < 0.05

††: significant differences < 0.01

††: diferențe semnificative < 0.01

Gender effects on the differences between static and dynamic footprint were limited. In the age group of

Influența sexului asupra diferențelor dintre amprentă în stare statică și dinamică au fost limitate. În

two, boys were recorded with significant higher AA ($z=-2.083$, $p=0.037$) and FW ($z=-2.623$, $p=0.009$) than those of girl (Table 3). No significant differences were observed between boys and girls in all variables in each age group between the age group of three and ten.

Discussion

The static and dynamic footprint of 401 healthy children aged between two and 11 were studied and then the function of children's foot arch was quantitatively defined. Our result shows that significant differences existed between the children's static and dynamic footprint in terms of size, angle and proportion and according to those distinctions, the function of children's foot arch could be quantitatively defined. Besides, our result also indicates that except the age group of two, there were no significant differences between the boys and girls in all age groups and variables.

Foot arch is an important issue when comprehending the foot function. Walther *et al.* [1] reported that the mid foot of young infant was filled with fat pad and it supplied a relative larger contact area than that of adult, by which the pressure caused by the significantly increasing of body weight could be avoided. This phenomenon was called "physiological flat foot" [17]. The fat pad gradually disappeared as the arch was constructed. Furthermore, Muller *et al.* and Gould *et al.* [3, 10] explored the foot arch by the way of arch-index (percentage of mid foot contact area to the total contact area) and they suggested that this index was decreasing since independent walking and it further became stable after the age of six; similarly, Yalcin *et al.* [9] studied arch function by means of radiography, they also found that the height of arch increases with age. Based on the current studies, the age of six was considered as the time of mature of children's foot arch. Although no similar studies were reported in terms of static and dynamic footprint, our finding also approved the above conclusion by variables of AA and AR. At the age of two, the child had the largest AA and AR; and then they were falling with age and became stable after six years old. Hence, our result confirmed the current acknowledge of the arch progress.

grupa de vîrstă de doi ani, la băieți s-a înregistrat valori pentru AA ($z=-2,083$, $p=0,037$) și FW ($z=-2,623$, $p=0,009$) semnificativ mai mari decât cele înregistrate la fete (Tabelul 3). Nu s-au observat diferențe semnificative cu privire la variabilele între băieți și fete din fiecare grupă de vîrstă la grupele de vîrstă cuprinse între trei și zece ani.

Discuții

S-a studiat amprenta plantară în stare statică și dinamică la 401 de copii sănătoși cu vîrste cuprinse între doi și 11 ani și apoi s-a definit cantitativ funcția boltii piciorului copiilor. Rezultatele noastre arată că au existat diferențe semnificative între amprenta în stare statică și cea în stare dinamică la copii în ceea ce privește dimensiunea, unghiu și proporția, și în conformitate cu aceste distincții se poate defini cantitativ funcția boltii piciorului la copii. În plus, rezultatele noastre arată, de asemenea, că nu au existat diferențe semnificative cu privire la variabilele între băieți și fete din toate grupele de vîrstă, cu excepția grupei de vîrstă de doi ani.

Bolta piciorului este un aspect important când e vorba de înțelegerea funcției piciorului. Walther și colab. [1] au raportat că zona mediană a piciorului bebelușului conține mai multă grăsimi și oferă o zonă relativ mai mare de contact decât în cazul adulților, prin care se poate evita presiunea cauzată de creșterea semnificativă a greutății corporale. Acest fenomen a fost denumit „picior plat fizologic” [17]. Portiunea de grăsimi dispără treptat, pe măsură ce se definește bolta piciorului. Mai mult decât atât, Muller și colab. și Gould și colab. [3, 10] au explorat bolta piciorului prin intermediul indicelui boltii (raportul dintre procentul zonei de contact în zona mediană a piciorului și zona totală de contact) și au sugerat că acest indice scade din momentul în care copilul începe să meargă independent și devine ulterior stabil după vîrsta de șase ani; în mod similar, Yalcin și colab. [9] au studiat funcția boltii prin intermediul radiografiei, descoperind, de asemenea, că înălțimea boltii crește odată cu vîrsta. Pe baza literaturii actuale, vîrsta de șase ani a fost considerată ca fiind perioada de maturizare a boltii piciorului la copii. Deși nu s-au raportat studii similare în ceea ce privește amprenta în stare statică și dinamică, constatarea noastră a confirmat, de asemenea, concluzia de mai sus prin intermediul variabilelor AA și AR. La vîrsta de doi ani, copilul a avut cele mai mari valori ale AA și AR; apoi au scăzut cu vîrsta și s-au stabilizat după vîrsta de șase ani. Prin urmare, rezultatul nostru a confirmat cunoștințele actuale privind evoluția boltii.

In terms of foot size, our results also showed that dynamic FL was generally 7.0% larger than that of the static one and this augment implied the mean flexibility of foot longitudinal arch; meanwhile, FW was affected by the transverse arch at forefoot and FW-D was 0.1% wider than their static opponent. In terms of parameters of angle and proportion, our results indicated a 12 degree mean difference between the static and dynamic AA; besides, AR presented a collapse of the longitudinal arch and mean collapse was 7.9%. Those features above represented a range of foot arch, thereby, the function of arch could be defined: the range of change of FL caused by foot arch was 4.4 mm at least and 24 mm at most, while that of FW was 0.2 mm and 4.8 mm; the range of AA was -3.1° to 18.7° and AR was -4.5% and 7.9%. Finally, our hypothesis was proved.

Gender was considered as an important factor which influences the children's foot development. Muller *et al.* [3] showed that boys had a larger middle foot contact area than that of girls and they attributed this phenomenon to the fact that the body weight increase of boys was faster than that of girls. Other gender differences, such as foot type [1, 3] and foot size [4] could also be found in the database. Nevertheless, our study demonstrated that variations of boys between static and dynamic footprint were not significantly higher than those of girls, except those variations at the age group of two. Hence we suggested that the function of foot arch could be independent to the factor of the gender after the age of three.

Results of our study could be applied in clinical practice of orthopedics, such as orthopedic footwear design, evaluation of orthopedic surgery and diagnosis of the children's abnormal foot function. For example, the toe allowance of the child's footwear should not be lower than the 7.0% of static foot length, which is the mean variation between static and dynamic footprint; otherwise, not enough in-shoe space would hamper the normal development of feet [18].

Although differences between the static and dynamic footprint have been clarified, limitations still existed and should be considered when comprehending the results. The first one was sample size. The sample size in the age group of two and 11 was lesser than the one in other groups, so that data of those two groups should be interpreted with caution. The second one was walking speed. Although the

În ceea ce privește mărimea piciorului, rezultatele noastre au indicat, de asemenea, că FL în stare dinamică a fost, în general, cu 7,0% mai mare decât cel în stare statică, iar această creștere a implicat flexibilitatea medie a bolții longitudinale a piciorului; în timp ce FW a fost afectat de bolta transversală a antepiciorului, iar FW-D a fost cu 0,1% mai lat decât același parametru în stare statică. În ceea ce privește unghiul și proporția, rezultatele noastre au indicat diferențe medii de 12 grade între AA în stare statică și în stare dinamică; în plus, AR a prezentat o scădere a bolții longitudinale, iar scăderea medie a fost de 7,9%. Caracteristicile de mai sus au reprezentat un interval al bolții piciorului și astfel, s-a putut defini funcția bolții: intervalul modificărilor FL cauzate de bolta piciorului a fost de minimum 4,4 mm și maximum 24 mm, în timp ce FW a variat între 0,2 mm și 4,8 mm; intervalul AA a fost de la -3,1° la 18,7° și cel al AR a fost de la -4,5% la 7,9%. În cele din urmă, ipoteza noastră a fost confirmată.

Sexul a fost considerat un factor important care influențează dezvoltarea piciorului la copii. Muller și colab. [3] au arătat că băieții au o suprafață mai mare de contact în zona mediană decât fetele și au atribuit acest fenomen faptului că creșterea greutății corporale la băieți este mai rapidă decât la fete. Alte diferențe de gen, cum ar fi tipul piciorului [1, 3] și mărimea piciorului [4] pot fi, de asemenea, găsite în baza de date. Cu toate acestea, studiul nostru a demonstrat că variațiile amprentei în stare statică și dinamică la băieți nu au fost semnificativ mai mari decât cele constatate la fete, cu excepția acelor variații la grupa de vîrstă de doi ani. De aceea am sugerat că funcția bolții piciorului ar putea fi independentă de sex după vîrstă de trei ani.

Rezultatele studiului nostru ar putea fi aplicate în practica clinică ortopedică, în proiectarea încălțăminteii ortopedice, evaluarea intervențiilor chirurgicale ortopedice și diagnosticarea funcției anormale a piciorului la copii. De exemplu, toleranța la degete la încălțăminta copilului nu ar trebui să fie mai mică decât 7,0% din lungimea piciorului în stare statică, care reprezintă variația medie între amprenta în stare statică și cea în stare dinamică; în caz contrar, spațiul insuficient în interiorul pantofului va împiedica dezvoltarea normală a picioarelor [18].

Deși diferențele dintre amprenta în stare statică și cea în stare dinamică au fost clarificate, încă există limitări și ar trebui să fie luate în considerare la înțelegerea rezultatelor. Prima limitare a fost mărimea eșantionului. Eșantionul din grupele de vîrstă de doi și 11 ani a fost mai mic decât cel din alte grupe, astfel încât datele celor două grupe trebuie să fie interpretate cu precauție. A doua a fost viteza mersului. Deși amprenta

dynamic footprint might be affected by the varied walking speed, its influence was not significant [19] and self-selected speed was commonly adopted in the foot biomechanics evaluation [1-3]. The third one was the validity of the measurements. Since only a moderate correlation was found between static and dynamic measurement of AA and AR, application of these two variables should be used with caution. Future work will focus on exploring the correlation between dynamic footprint and plantar pressure distribution and further to interpret children's foot function in other viewpoints.

CONCLUSIONS

Overall, the function of foot arch was quantitatively defined by variables of foot size, angle and proportion and it was independent to the effect of the gender; meanwhile results of this study could be used in the clinical practice of orthopedics.

Acknowledgement

The author would like to thank the financial support from Funding of Sichuan University (2014SCU11029).

REFERENCES

1. Walther, M., *Foot and Ankle Surgery*, **2008**, 14, 180–189.
2. Hallemans, A., De Clercq, D., Van Dongen, S., Aerts, P., *Gait Posture*, **2006**, 23, 142-8.
3. Muller, S., Carlsohn, A., Muller, J., Baur, H., Mayer, F., *Gait Posture*, **2012**, 35, 389-394.
4. Wenger, D.R., Mauldin, D., Morgan, D., *Foot Ankle*, **1983**, 3, 207-210.
5. Pfeiffer, M., Kotz, R., Ledl, T., Hauser, G., Sluga, M., *Pediatrics*, **2006**, 118, 634-639.
6. Lalvani, A.M., Mosca, V.S., Staheli, L.T., *Clinical Research*, **1992**, 40, A14-A14.
7. Dowling, A.M., Steele, J.R., Baur, L.A., *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.*, **2004**, 28, 1514-9.
8. Wearing, S.C., Hills, A.P., Byrne, N.M., Hennig, E.M., McDonald, M., *Foot Ankle Int.*, **2004**, 25, 575-581.
9. Yalcin, N., Esen, E., Kanatli, U., Yetkin, H., *Acta Orthopaedica Et Traumatologica Turcica*, **2010**, 44, 241-245.
10. Gould, N., Moreland, M., Alvarez, R., Trevino, S., Fenwick, J., *Foot Ankle*, **1989**, 9, 5.
11. Gould, N., Moreland, M., Trevino, S., Alvarez, R., Fenwick, J., Bach, N., *Foot Ankle*, **1990**, 10, 211-3.
12. Twomey, D.M., McIntosh, A.S., *The Foot*, **2012**, 22, 60-65.
13. Klein, C., Groll-Knapp, E., Kundi, M., Kinz, W., *Bmc Musculoskeletal Disorders*, **2009**, 10, 159.
14. Stavlas, P., Grivas, T.B., Michas, C., Vasiliadis, E., Polyzois, V., *J. Foot Ankle Surg.*, **2005**, 44, 424-428.
15. De Mits, S., Coorevits, P., De Clercq, D., Elewaut, D., Woodburn, J., Roosen, P., *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.*, **2011**, 101, 198-207.
16. Bus, S.A., De Lange, A., *Clinical Biomechanics*, **2005**, 20, 892-899.
17. Hennig, E.M., Rosenbaum, D., *Foot Ankle*, **1991**, 11, 306-311.
18. Klein, C., Groll-Knapp, E., Kundi, M., Kinz, W., *BMC Musculoskeletal Disorders*, **2009**, 10, 159.
19. Diop, M., Rahmani, A., Belli, A., Gautheron, V., Geyssant, A., Cottalorda, J., *J. Pediatr. Orthop. B*, **2004**, 13, 308-314.

Article received/Data primirii articolului: 25.06.2014

Accepted/Acceptat la data: 26.11.2014

în stare dinamică ar putea fi afectată de vitezele de mers diferite, influența acesteia nu a fost semnificativă [19], în mod obișnuit, în evaluarea biomecanică a piciorului adoptându-se o viteză la alegere [1-3]. A treia a fost validitatea măsurătorilor. Întrucât s-a găsit doar o corelație moderată între măsurătorile AA și AR în stare statică și dinamică, aceste două variabile ar trebui folosite cu precauție. Cercetările viitoare se vor concentra pe explorarea corelației dintre amprenta în stare dinamică și distribuția presiunii plantare, interpretând apoi funcția piciorului la copii din alte puncte de vedere.

CONCLUZII

Per ansamblu, funcția bolții piciorului a fost definită cantitativ de variabile precum mărimea piciorului, unghiul și proporția și nu a fost influențată de sex. Rezultatele acestui studiu ar putea fi utilizate în practica clinică ortopedică.

Mulțumiri

Autorul dorește să mulțumească Universității Sichuan pentru sprijin finanțării (2014SCU11029).