

INVESTIGATION OF CHILDREN'S PLANTAR PRESSURE DISTRIBUTION WITH VARIED ANGLE OF HALLUX

ANALIZA DISTRIBUȚIEI PRESIUNII PLANTARE CU VARIATIA UNGHIULUI HALUCELUI LA COPII

Jin ZHOU, Ting LI, Bo XU, Wuyong CHEN*

National Engineering Laboratory for Clean Technology of Leather Manufacture, Sichuan University; Chengdu P. R. China;
rufuszhou.scu@gmail.com, wuyong.chen@163.com

INVESTIGATION OF CHILDREN'S PLANTAR PRESSURE DISTRIBUTION WITH VARIED ANGLE OF HALLUX

ABSTRACT. Fashion shoes with narrow and tight toe are widely designed for children and their influence was rarely considered. Therefore, the aim of this study is to investigate children's plantar pressure distribution with varied angle of hallux (AoH), so as to simulate the effect of the tight shoes on the children's feet. Totally, 892 healthy children aged between two and 11 were recruited and those with the foot deformities were excluded by an experienced clinical expert. Both the dynamic AoH and plantar pressure distribution were measured by a pressure plate, with the two-steps protocol and self-selected walking speed. Regions of Hallux, medial forefoot (MFF), central forefoot (CFF), lateral forefoot (LFF), mid foot (MF) and Heel were considered and peak pressure (PP) (N/cm^2), relative pressure time integral (PTIrel) (%) and relative contact area (CArel) (%) at each region were calculated. All the subjects were classified into nine groups according to the AoH with the 5° interval and within groups variations for each plantar pressure parameters were examined by the One Way ANOVA. Our results show that within group differences of PP, PTIrel and CArel existed at the Hallux, MFF and MF and phenomenon of hallux off-load and MFF and MF over-load was observed. Overall, lateral shift of the hallux changed the pressure pattern at MFF and MF and the pressure rising at those two areas could hamper the normal development of the foot arch in both longitudinal and transverse. Therefore, straight and wider footwear should be recommended to children's parents.

KEY WORDS: fashion shoes; children; *hallux valgus*; plantar pressure

ANALIZA DISTRIBUȚIEI PRESIUNII PLANTARE CU VARIATIA UNGHIULUI HALUCELUI LA COPII

REZUMAT. Se concepe pe scară largă pantofi de modă cu vârful îngust și strâmt pentru copii, dar influența acestora a fost rareori luată în considerare. Prin urmare, scopul acestui studiu este de a investiga distribuția presiunii plantare cu variația unghiului halucelui (AoH) la copii, pentru a simula efectul pantofilor strâmti asupra picioarelor copiilor. În total, 892 de copii sănătoși cu vârste cuprinse între doi și 11 ani au fost recruteți, iar cei cu disomorftăți ale piciorului au fost excluși de către un specialist cu experiență. AoH în dinamică și distribuția presiunii plantare au fost măsurate folosind o placă de presiune, cu un protocol în doi pași, iar viteza de mers a fost la libera alegere a subiectului. S-au luat în considerare următoarele zone: haluc, antepicior median (MFF), antepicior central (CFF), antepicior lateral (LFF), partea mediană a piciorului (MF) și zona călcâiului și s-au calculat presiunea maximă (PP) (N/cm^2), integrală relativă presiune-timp (PTIrel) (%) și zona de contact relativă (CArel) (%) în fiecare zonă. Subiecții au fost împărțiți în nouă grupe, în funcție de AoH cu un interval de 5° și variațiile între grupe pentru fiecare parametru de presiune plantară au fost examinate utilizând One Way ANOVA. Rezultatele noastre arată că s-au înregistrat diferențe între grupe cu privire la PP, PTIrel și CArel în zonele halucelui, MFF și MF, fiind observat fenomenul de încărcare slabă a halucelui și de supra-încărcare în zonele MFF și MF. În general, deplasarea laterală a halucelui a modificat modelul de presiune în zonele MFF și MF, iar presiunea crescândă în cele două zone poate împiedica dezvoltarea normală a bolții piciorului, atât longitudinal, cât și transversal. Prin urmare, părinților trebuie să li se recomande încălțăminte dreaptă și mai largă pentru copiii lor.

CUVINTE CHEIE: pantofi de modă; copii; *hallux valgus*; presiune plantară

L'ANALYSE DE LA DISTRIBUTION DE PRESSION PLANTAIRE AVEC L'ANGLE DE HALLUX VARIABLE CHEZ LES ENFANTS

RÉSUMÉ. Les chaussures de mode à bout étroit et serré sont largement conçus pour les enfants, mais leur influence a été rarement prise en compte. Par conséquent, le but de cette étude est d'examiner la distribution de pression planteaire chez les enfants avec l'angle de hallux (AoH) variable, afin de simuler l'effet des chaussures serrées sur les pieds des enfants. Totalement, 892 enfants en bonne santé âgés de deux à 11 ans ont été recrutés et ceux avec des déformations du pied ont été exclus par un expert expérimenté. On a mesuré l'AoH en dynamique et la distribution de pression planteaire par une plaque de pression, en employant un protocole en deux étapes et une vitesse de marche auto-sélectionnée. On a examiné les régions de l'hallux, l'avant-pied médial (MFF), l'avant-pied central (CFF), l'avant-pied latéral (LFF), le mi-pied (MF) et le talon et on a calculé le pic de pression (PP) (N/cm^2), l'intégrale relative pression-temps (PTIrel) (%) et la surface de contact relative (CArel) (%) à chaque région. Tous les sujets ont été classés en neuf groupes selon l'AoH avec un intervalle de 5° et les variations au sein des groupes pour chacun des paramètres de pression planteaire ont été examinées par la technique One Way ANOVA. Nos résultats montrent qu'il existe des différences entre les groupes sur le PP, la PTIrel et la CArel dans les régions de l'hallux, MFF et MF et on a observé le phénomène de souscharge de l'hallux et de surcharge des régions MFF et MF. Dans l'ensemble, le décalage latéral de l'hallux a changé le modèle de pression dans les régions MFF et MF et la pression croissante dans les deux régions peut entraver le développement normal de la voûte planteaire à la fois longitudinale et transversale. Par conséquent, les chaussures droites et plus larges devraient être recommandées aux parents de l'enfant.

MOTS CLÉS : chaussures de mode ; enfants ; *hallux valgus* ; pression planteaire

INTRODUCTION

More and more fashion shoes are designed for children, especially the type with narrow and tight toe.

INTRODUCERE

Se proiectează din ce în ce mai multă încălțăminte de modă destinată copiilor, în special tipul de pantof cu

* Correspondence to: Wuyong CHEN, National Engineering Laboratory for Clean Technology of Leather Manufacture, Sichuan University; Chengdu 610065, P. R. China, wuyong.chen@163.com

When wearing this type of footwear, the hallux is forced to move laterally which could contribute to the *hallux valgus* deformity [1] and abnormal plantar pressure distribution. Since wearing this fault shoes are harmful to children's feet, the studies of evaluation are difficult to be made. However, some alternative methods could be used to simulate the influence of angle of hallux (AoH) on the change of foot load mechanism.

Naturally, the hallux of infant was observed in a status of *varus* in their infant period [2], and this status played a key role in their independent walking; and then the hallux shifted to a neutral position, as their feet became full-fledged in both foot structure [3, 4] and load mechanism [5]. Thereby, investigating the correlation between children's barefoot AoH and their plantar pressure distribution is helpful for comprehending the influence of the narrow and tight footwear on children's feet.

Currently, literatures such as the pathology of *hallux valgus* deformity [6], features of their gait pattern [7], planar pressure distribution of *hallux valgus* [8, 9], and correlations between the diabetic foot ulcer and deformity of *hallux valgus* were reported. Regarding to the healthy children, Klein *et al.* [1] measured AoH from 800 healthy children, and they explored the correlation between the children's footwear inner length and the deformity occurrence of *hallux valgus*; besides, Ferrari *et al.* [10] compared plantar pressure distribution between boys and girls in order to explain why the *hallux valgus* deformity was usually found in female population. Unfortunately, all the above studies did not mention how the plantar pressure distribution changed with the AoH and the correlation between those two variables was still unknown in child population.

Therefore, the aim of this study is to investigate children's plantar pressure distribution with varied AoH. At first, both the dynamic AoH and plantar pressure distribution of 892 healthy children aged between two and 11 years old were measured, and then AoH was classified into nine groups and within groups comparison in terms of pressure distribution were executed; finally, features of children's plantar pressure distribution with varied AoH could be explained. One hypothesis was assumed: phenomenon of a decreasing of plantar pressure at the hallux and the increasing one beneath the first metatarsal head would be observed in this study, as the hallux gradually abducted.

vârful îngust și strâmt. La purtarea acestui tip de încălțăminte, halucele este obligat să se deplaseze în lateral, ceea ce ar putea contribui la deformarea de tip *hallux valgus* [1] și la o distribuție anormală a presiunii plantare. Întrucât purtarea acestui tip de încălțăminte este nocivă pentru picioarele copiilor, studiile de evaluare sunt dificil de efectuat. Cu toate acestea, se pot utiliza unele metode alternative pentru a simula influența unghiului halucelui (AoH) asupra modificării mecanismului de încărcare al piciorului.

În mod obișnuit, s-a observat că halucele la bebeluși este în poziția *varus* [2], iar această poziție joacă un rol cheie în deprinderea mersului independent; apoi halucele se deplasează într-o poziție neutră, pe măsură ce picioarele lor se dezvoltă complet atât în ceea ce privește structura piciorului [3, 4], cât și mecanismul de încărcare [5]. Astfel, analiza corelației dintre valorile AoH la copii și distribuția presiunii plantare este utilă pentru înțelegerea influenței pantofilor cu vârf îngust și strâmt asupra picioarelor copiilor.

În prezent s-au raportat studii care analizează patologia de deformare de tip *hallux valgus* [6], caracteristicile tiparului de mers [7], distribuția presiunii plantare cu *hallux valgus* [8, 9] și corelații între ulcerul piciorului diabetic și deformarea de tip *hallux valgus*. Cu privire la copiii sănătoși, Klein și colab. [1] au măsurat AoH la 800 de copii sănătoși și au explorat corelația dintre lungimea interioară a încălțămintei pentru copii și apariția deformării de tip *hallux valgus*; în plus, Ferrari și colab. [10] au comparat distribuția presiunii plantare la băieți și la fete pentru a explica de ce deformarea de tip *hallux valgus* se regăsește de obicei la populația feminină. Din păcate, niciunul din studiile de mai sus nu a menționat modul în care distribuția presiunii plantare se modifică odată cu AoH, iar corelația dintre aceste două variabile la copii este încă necunoscută.

Prin urmare, scopul acestui studiu este acela de a investiga distribuția presiunii plantare cu AoH variabil la copii. Mai întâi s-au măsurat AoH în dinamică și distribuția presiunii plantare la 892 de copii sănătoși cu vârste cuprinse între doi și 11 ani, apoi s-a clasificat AoH în nouă grupe și s-a comparat distribuția presiunii între grupe; în cele din urmă, au putut fi explicate caracteristicile distribuției presiunii plantare la copii, cu AoH variabil. S-a formulat următoarea ipoteză: observarea unui fenomen de scădere a presiunii plantare în zona halucelui și de creștere sub capul primului metatarsian, pe măsură ce halucele se îndepărtează treptat.

MATERIALS AND METHODS

Subjects

Totally, 892 health children aged between two and 11 were recruited and those with the foot deformities were excluded by visual inspection from an experienced clinical expert. 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 confirmed by the ethic committee of the university.

Plantar Pressure Measurement

Children's plantar pressure was measured by Footscan pressure plate (one meter plate, RSscan Int., Belgium). The scanning frequency of this system is 250 Hz, pressure sensor density is $4/\text{cm}^2$, and the range of measure is $0\text{-}200\text{N}/\text{cm}^2$. A 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 has been proved to be effectively reducing the times of trial and at the same time to improve the repeatability of the gait [11]. 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).

MATERIALE ŞI METODE

Subiecți

S-au recrutat în total 892 de copii sănătoși cu vârste cuprinse între doi și 11 ani, iar cei cu disomorfii ale piciorului au fost excluși prin inspecție vizuală de către un specialist cu experiență. Înainte de măsurare, 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.

Măsurarea presiunii plantare

Presiunea plantară la copii a fost măsurată utilizând placă de presiune Footscan (placă de un metru, RSscan Int., Belgia). Frecvența de scanare a acestui sistem este de 250 Hz, densitatea senzorului de presiune este de $4/\text{cm}^2$, iar intervalul 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 placă de presiune situată în centrul unei piste lungi de şase metri. S-a dovedit că acest protocol în doi pași reduce în mod eficient durata testului și, în același timp, îmbunătățește repetabilitatea mersului [11]. 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).

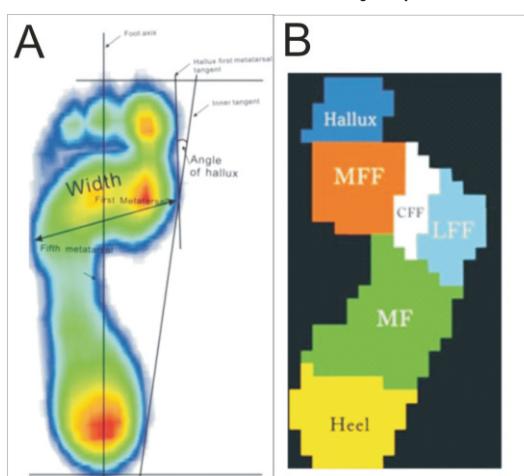


Figure 1. Method for analysis of plantar pressure and dynamic foot pattern.

"A": dynamic foot pattern; "B": six masks model of foot division

Figura 1. Metodă de analiză a presiunii plantare și a amprentei piciorului în dinamică.

„A”: amprenta piciorului în dinamică; „B”: modelul piciorului împărțit pe șase zone

Data Processing

At first, key points were marked according to dynamic foot patterns, such as foot axis (the line connects the posterior of heel and the middle of second toe), the prominence of hallux, the first metatarsal head (MTH) and swell of inner heel; then tangents were drawn for hallux-1st MTH and 1st MTH-heel. The angle of hallux (degree) was defined as the angle between the medial tangent of the foot and the tangent of the forefoot and it indicates a relative position of hallux to the first metatarsophalangeal joint [12] (Figure 1A,B).

The plantar pressure region was divided into six parts by Footscan analysis software: Hallux, medial forefoot (MFF) which included 1st and 2nd MTH, central forefoot (CFF) which indicated the 3rd MTH, lateral forefoot (LFF) which implied 4th and 5th MTH, mid foot (MF) and Heel areas. Then parameters of peak pressure (PP) (N/cm^2), pressure time integral (PTI) (S^*N/cm^2) and contact area (CA) (cm^2) were selected out for analysis. Furthermore, a unitary processing for CA and PTI is required to compare between different samples. Relative CA (Carel) = $100 \times (CA(Xi)/\Sigma CA(Xi))$; relative PTI (PTIrel) = $100 \times (PTI(Xi)/\Sigma PTI(Xi))$, where Xi indicates one of plantar regions. In addition, PTIrel has been proved to be an effective way to reduce the influence of weight, and it has been adopted in many researches [13].

Statistical Analyses

At first, the results of independent T test show that significant differences existed between the left and right foot, thereby only the right feet were considered in this study; then the data of three measures of each subject were averaged and all the data was approved to be the normal distribution. Further, all the subjects were classified into nine groups according to the AoH with the 5° interval: AoH<-15° (G1), -10°>AoH>-15°(G2), -5°>AoH>-10°(G3), 0°>AoH>-5° (G4), AoH=0° (G5), 0°<AoH<5° (G6), 5°<AoH<10°(G7), 10°<AoH<15° (G8), AoH>15° (G9); meanwhile, AoH<0° indicates the hallux abductor (HA), while AoH>0° implies the hallux valgus (HV). At last, within groups variations for each plantar pressure parameters were examined by the One Way ANOVA. All the models of analysis were operated under the software of SPSS, with significant level of 0.05 and confidence interval of 95%.

Prelucrarea datelor

Înțial s-au marcat puncte cheie în conformitate cu modelele dinamice ale piciorului, cum ar fi axa piciorului (linia care leagă partea posterioară a călcâiului și mijlocul celui de al doilea deget), proeminența halucelui, capul primului metatarsian (MTH) și curbura interioară a călcâiului; apoi s-au trasat tangentele haluce-primul metatarsian și primul metatarsian-călcâi. Unghiul halucelui (grade) a fost definit ca unghiul dintre tangenta mediană a piciorului și tangenta antepiciorului și indică poziția halucelui raportată la prima articulație metatarsofalangiană [12] (Figura 1A, B).

Regiunea presiunii plantare a fost împărțită în sase părți utilizând programul de analiză Footscan: haluce, antepicior median (MFF), care a inclus MTH 1 și 2, antepicior central (CFF), care a cuprins al treilea MTH, antepicior lateral (LFF) care a cuprins MTH 4 și 5, zona mediană a piciorului (MF) și zona călcâiului. S-au selectat următorii parametri pentru analiză: presiunea maximă (PP) (N/cm^2), integrala presiune-timp (PTI) (S^*N/cm^2) și zona de contact (CA) (cm^2). Mai mult decât atât, a fost necesară o prelucrare unitară a CA și PTI pentru a face comparație între diferite probe. CA relativă (Carel) = $100 \times (CA(Xi)/\Sigma CA(Xi))$; PTI relativă (PTIrel) = $100 \times (PTI(Xi)/\Sigma PTI(Xi))$, unde Xi indică una dintre regiunile plantare. În plus, PTIrel s-a dovedit a fi un mod eficient de a reduce influența greutății și a fost adoptată în multe studii de cercetare [13].

Analize statistice

În primul rând, rezultatele testului T independent arată că au existat diferențe semnificative între piciorul stâng și piciorul drept; prin urmare, doar piciorul drept a fost luat în considerare în acest studiu; apoi s-a făcut media datelor preluate din trei măsurători ale fiecărui subiect și toate datele au fost confirmate ca distribuție normală. Mai mult, toți subiecții au fost împărțiti în nouă grupe, în funcție de AoH cu un interval de 5°: AoH<-15° (G1), -10°>AoH>-15°(G2), -5°>AoH>-10°(G3), 0°>AoH>-5°(G4), AoH=0°(G5), 0°<AoH<5°(G6), 5°<AoH<10°(G7), 10°<AoH<15° (G8), AoH>15° (G9); în timp ce AoH<0° indică halucele în abducție (HA), iar AoH>0° indică hallux valgus (HV). În cele din urmă, variațiile între grupe pentru fiecare parametru de presiune plantară au fost examinate utilizând tehnica One Way ANOVA. Toate modelele de analiză au fost prelucrate utilizând software-ul SPSS, cu un nivel de semnificație de 0,05 și intervalul de încredere de 95%.

RESULTS AND DISCUSSIONS

Results

The mean age of 895 participants is 7.7 ± 2.2 y, the mean height is 126.1 ± 16.0 cm, the mean weight is 27.8 ± 9.0 Kg and the ratio of gender is 1:1. Demographic information of subjects in each AoH group were shown in the Table 1.

Table 1: Demographic information of subjects in each AoH group
Tabelul 1: Date demografice ale subiecților din fiecare grupă AoH

	-15>AoH			-15<AoH<-10			-10<AoH<-5		
	N	Mean Medie	SD Abatere standard	N	Mean Medie	SD Abatere standard	N	Mean Medie	SD Abatere standard
Age Vârstă	9	7.2	2.0	26	7.6	1.6	81	7.8	2.1
Height Înălțime	9	123.0	14.1	26	126.4	11.5	81	126.0	14.3
Weight Greutate	9	24.6	6.4	26	26.7	7.8	81	26.8	8.4
Male/female Sex (băiat/fată)	3/6	-	-	10/16	-	-	42/40	-	-
	-5<AoH<0			AoH=0			0<AoH<5		
	N	Mean Medie	SD Abatere standard	N	Mean Medie	SD Abatere standard	N	Mean Medie	SD Abatere standard
Age Vârstă	179	7.7	2.2	66	8.1	1.9	254	7.6	2.2
Height Înălțime	179	126.4	15.9	66	128.0	14.0	256	126.1	16.0
Weight Greutate	179	27.3	8.5	66	29.2	9.6	256	28.0	9.1
Male/female Sex (băiat/fată)	83/97	-	-	40/26	-	-	129/127	-	-
	5<AoH<10			10<AoH<15			AoH>15		
	N	Mean Medie	SD Abatere standard	N	Mean Medie	SD Abatere standard	N	Mean Medie	SD Abatere standard
Age Vârstă	191	7.6	2.4	61	8.0	2.8	23	7.4	2.3
Height Înălțime	190	124.9	16.9	59	128.2	19.7	23	124.6	16.2
Weight Greutate	190	27.7	9.4	59	29.3	9.5	23	27.1	8.1
Male/female Sex (băiat/fată)	105/87	-	-	25/36	-	-	10/13	-	-

RESULTATE ȘI DISCUȚII

Rezultate

Vârsta medie a celor 895 de participanți este de $7,7 \pm 2,2$ ani, înălțimea medie este de $126,1 \pm 16,0$ cm, greutatea medie este de $27,8 \pm 9,0$ kg și raportul de gen este de 1:1. Datele demografice ale subiecților din fiecare grupă AoH sunt prezentate în Tabelul 1.

The Hallux

With the AoH increasing, there was no significantly falling trend for PP at the hallux ($P=0.096>0.05$); whereas, that of CArel increased significantly ($P=0.000$). In terms of CArel, G3 was prominently higher than that of G4 to G9 ($P=0.04$ for G4, $P=0.02$ for G5, $P=0.001$ for G6 and G9; $P=0.000$ for G7 and G8) and G4 is obviously greater than that of the HV groups ($P=0.048$ for G6; $P=0.000$ for G7 and G8; $P=0.02$ for G9). Within the groups of HV, value of CArel of G6 was recorded significantly higher than that of G7 ($P=0.004$) and G8 ($P=0.009$). A similar result was also observed for variable of PTIrel ($P=0.005$), where PTIrel of G2 was significantly greater than that of G7 and G9 ($P=0.05$ for G7; $P=0.02$ for G8; $P=0.01$ for G9); While G3's PTIrel was presented to be higher than that of G6 and G9 ($P=0.01$ for both). Moreover, significant difference was shown between G5 and G9 in terms of PTIrel ($P=0.04$) (Figure 2, Table 2).

Halucele

Odată cu creșterea AoH, nu a existat nicio tendință de scădere semnificativă a PP în zona halucelui ($P=0.096>0.05$), în timp ce CArel a crescut semnificativ ($P=0.000$). CArel a avut valori vizibil mai mari la G3 decât la G4-G9 ($P=0.04$ pentru G4, $P=0.02$ pentru G5, $P=0.001$ pentru G6 și G9; $P=0.000$ pentru G7 și G8), iar la G4 a fost în mod evident mai mare decât la grupele HV ($P=0.048$ pentru G6; $P=0.000$ pentru G7 și G8; $P=0.02$ pentru G9). În cadrul grupelor HV, valoarea CArel înregistrată la G6 a fost semnificativ mai mare decât cea pentru G7 ($P=0.004$) și G8 ($P=0.009$). Un rezultat similar a fost observat, de asemenea, pentru variabila PTIrel ($P=0.005$); PTIrel pentru G2 a fost semnificativ mai mare decât cea pentru G7 și G9 ($P=0.05$ pentru G7, $P=0.02$ pentru G8; $P=0.01$ pentru G9), iar PTIrel pentru G3 a fost mai mare decât cea pentru G6 și G9 ($P=0.01$ pentru ambele). Mai mult decât atât, a existat o diferență semnificativă între G5 și G9 din punctul de vedere al PTIrel ($P=0.04$) (Figura 2, Tabelul 2).

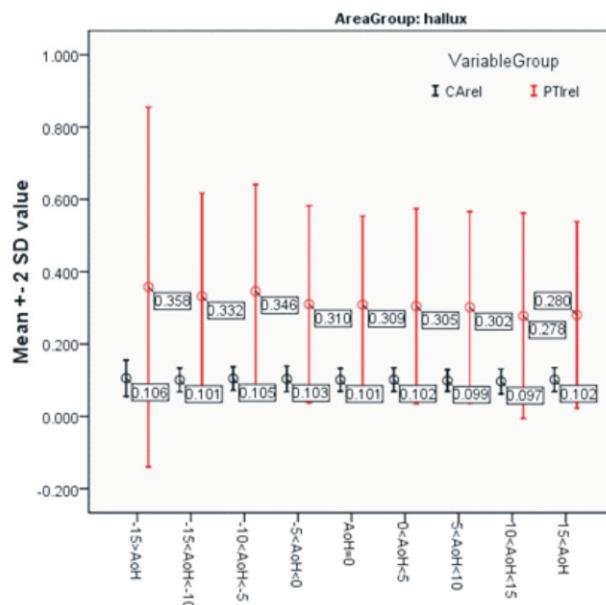


Figure 2. Changes of CArel and PTIrel with AoH at the hallux
Figura 2. Modificările CArel și PTIrel odată cu AoH în zona halucelui

Table 2: Plantar pressure distribution in each AoH group and the ANOVA analysis within AoH groups

Table 2: Continued
Tabelul 2: Continuare

PP(N/cm ³)	G1(a)		G2(b)		G3(c)		G4(d)		G5(e)		G6(f)		G7(g)		G8(h)		G9(i)		LSD§	
	Mean Media	2SD Abatere standard																		
Total area <i>Suprafața totală</i> (S*N/cm ²)	105.0	32.5	111.5	29.1	109.0	43.0	109.2	44.1	113.5	41.6	109.9	44.1	108.6	44.7	107.4	44.5	113.3	45.2	0.955	
Hallux <i>Haluce</i>	35.7	59.7	36.1	30.1	35.5	29.7	33.0	29.6	32.0	26.3	30.7	25.4	30.4	25.8	28.7	27.0	25.0	28.9	0.005*	b>h; c>f; d>h; e>
MFF	29.7	95	31.6	13.9	32.9	17.4	33.9	17.0	35.9	17.3	37.5	17.1	38.2	15.2	40.9	15.2	38.3	11.7	0.000**	a-c<e; d<e; e<h
CFF	77.4	45.9	90.2	57.9	94.3	60.3	97.1	72.5	89.8	56.1	94.7	55.0	94.1	51.6	93.8	54.4	87.3	46.4	0.443	
LFF	29.2	13.5	31.7	14.5	31.0	18.3	33.1	18.4	32.3	19.0	31.8	17.1	30.8	18.4	29.2	13.2	33.1	15.7	0.097	
MF	16.7	35.2	17.4	18.8	19.5	25.1	23.0	24.5	20.3	22.1	22.6	24.0	25.3	25.2	27.3	29.6	25.2	26.7	0.000**	a>g; b,c<f; h,b<e; d<h; e,f,g,h
Heel <i>călcâi</i>	23.0	8.0	20.7	12.3	18.4	11.9	19.0	13.7	18.4	12.5	19.2	12.9	18.6	12.7	20.2	14.2	19.1	11.0	0.303	

*: significant level <0.05; **: significant level <0.001

*: nivel de semnificație <0,05; **: nivel de semnificație <0,001

§: ANOVA within AoH groups, where "a>b" implies that value of a is significantly smaller than that of b
§: ANOVA în cadrul grupelor AoH, unde „a>b” presupune că valoarea lui a este semnificativ mai mică decât cea a lui b

The Forefoot Area

Significant differences ($P=0.000$) were demonstrated within the area of MFF, CFF and LFF in terms of variables of PP (Figure 3A), PTIrel (Figure 3B) and CArel (Figure 3C), where PP and PTIrel at CFF were significantly larger than those at MFF and LFF ($P=0.000$ for all); meanwhile, PP at MFF was also prominently larger than that at LFF ($P=0.000$).

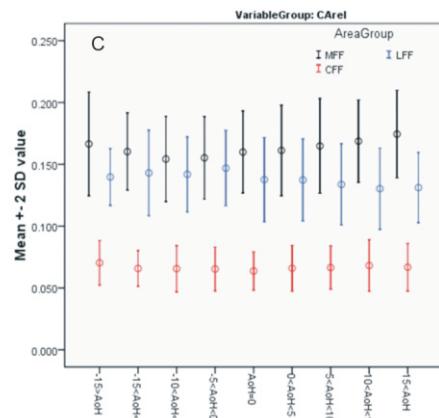
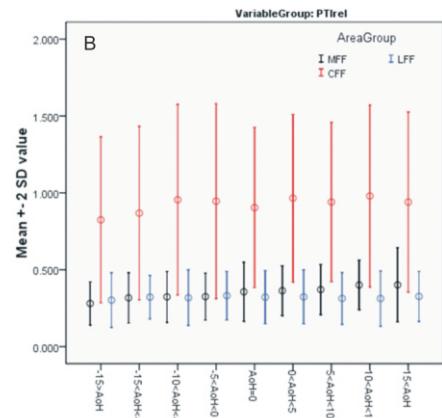
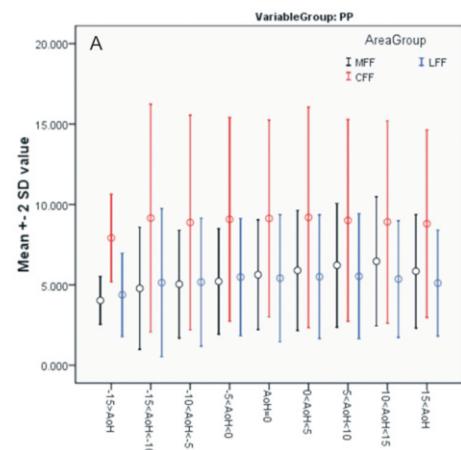


Figure 3. Changes of PP, PTIrel and CArel with the AoH at the forefoot.
“A” indicates the variable of PP, “B” implies the PTIrel and “C” displays the CArel
Figura 3. Modificările PP, PTIrel și CArel odată cu AoH în zona antepiciorului.
„A” indică variabila PP, „B” arată PTIrel și „C” arată CArel

The results of comparison within each AoH group shows that no significant differences existed between area of CFF ($P=0.972$ for PP; $P=0.443$ for PTI) and LFF ($P=0.661$ for PP; $P=0.097$ for PTI) (Table 2); while PP was observed as increasing with AoH ($P=0.000$) at MFF area, where PP of HA group was significantly lower than those of HV group ($P<0.05$). Besides, value of G5's PP was significant smaller than that of G7 and G8 irrespectively ($P=0.02$ for G7; $P=0.001$ for G8). Similarly, CArel at MFF also increased with AoH and HA group was significantly lower than those of HV group ($P<0.05$), excepting the value of G1.

PTIrel at MFF was consistent with PP; besides, significant variation of CArel was also found at CFF area, in which HA's CArel was significantly higher than those of HV group. Particularly, G1 was obtained the largest CArel of $7.3\pm1.4\%$ and it was prominently higher than those of HA groups ($P<0.05$). It is controversial that CArel at LFF of HA group was significantly lower than those of HA group (Table 2).

Zona antepiciorului

Au existat diferențe semnificative ($P=0,000$) în zonele MFF, CFF și LFF în ceea ce privește variabilele PP (Figura 3A), PTIrel (Figura 3B) și CArel (Figura 3B), PP și PTIrel la CFF fiind semnificativ mai mari decât cele pentru MFF și LFF ($P=0,000$ pentru toate). PP în zona MFF a fost, de asemenea, vizibil mai mare decât cea din zona LFF ($P=0,000$).

Rezultatele comparației din cadrul fiecărei grupe AoH arată că nu există diferențe semnificative între zona CFF ($P=0,972$ pentru PP, $P=0,443$ pentru PTI) și LFF ($P=0,661$ pentru PP, $P=0,097$ pentru PTI) (Tabelul 2); în timp ce s-a observat că PP crește odată cu AoH ($P=0,000$) în zona MFF, unde PP pentru grupa HA a fost semnificativ mai mică decât cele pentru grupa HV ($P<0,05$). În plus, valoarea PP pentru G5 a fost semnificativ mai mică decât cea pentru G7 și G8 ($P=0,02$ pentru G7, $P=0,001$ pentru G8). În mod similar, și CArel în zona MFF a crescut odată cu AoH, fiind semnificativ mai mică pentru grupa HA decât pentru grupa HV ($P<0,05$), cu excepția valorii înregistrate la G1.

PTIrel în zona MFF a fost în concordanță cu PP; în plus, s-a constatat o variație semnificativă a CArel în zona CFF, unde CArel pentru HA a fost semnificativ mai mare decât cele pentru grupa HV. În special, G1 a înregistrat cea mai mare valoare pentru CArel, de $7,3\pm1,4\%$, și a fost vizibil mai mare decât cea a grupelor HA ($P<0,05$). Este controversat că valoarea CArel în zona LFF pentru grupa HA a fost semnificativ mai mică decât cea pentru grupa HA (Tabelul 2).

The Midfoot and Heel Area

Increase of AoH also promoted the PP at MF area ($P=0.000$), in the one hand, PP of HA group was shown to be lower than those of HV group; in the other hand, within HV group, the lower AoH, the smaller PP value, for example, PP of G6 was significantly lower than that of G7 and G8 ($P<0.05$). Similar result was also found for PTIrel. Further, no significant effect was recorded for the PP, PTIrel and CArel at Heel area by the augment of AoH ($P=0.195$ for PP; $P=0.107$ for CArel; $P=0.303$ for PTIrel) (Table 2).

Discussions

In this study, both the dynamic AoH and plantar pressure data of 892 children aged between two and 11 were measured and the effect of AoH on the plantar pressure were investigated by contrasting the pressure distribution within nine AoH groups, which were categorized with 5° interval from -15° to 15°. Our results suggest that within group differences of PP, PTIrel and CArel at the Hallux, MFF and MF were recorded significantly; moreover, a hallux off-load and MFF and MF over-load was observed. Based on our outcomes, features of children's foot load with varied AoH could be explicated.

Hallemans *et al.* [2] first described the function of toddler's hallux within the period after five months independent walking and their outcomes found that hallux varus existed. This hallux adductor played an important role in the early of toddler's independent walking. On the one hand, it promoted the CA of forefoot and benefit for the gait control; on the other hand, mechanism of hallux abduction improved the force generation whilst walking, so as to assist the forward movement during the propulsion phase. Till the age of six, children's foot arch and heel to toe gait pattern have been full-fledged [14], so that the function of hallux diminished. Klein *et al.* [1] studied correlation between children's AoH and inner length of their footwear, in order to explain the effect of footwear on the foot deformity. In their 1579 foot database, they reported that 26.3% foot was normal and the range of AoH was 4-6°; then, 23% foot was in neutral position and their AoH was 0°. Moreover, their outcomes implied that significant correlation existed

Zona mediană și zona călcâiului

Creșterea AoH a facilitat, de asemenea, creșterea PP în zona MF ($P=0,000$); pe de o parte, PP pentru grupa HA s-a dovedit a fi mai mică decât cea pentru grupa HV; pe de altă parte, în cadrul grupului HV, cu cât a fost AoH mai mic, cu atât a fost mai mică valoarea PP; de exemplu, PP pentru G6 a fost semnificativ mai mică decât cea pentru G7 și G8 ($P<0,05$). Un rezultat similar s-a constatat pentru PTIrel. Mai mult, nu s-a înregistrat niciun efect semnificativ pentru PP, PTIrel și CArel în zona călcâiului la creșterea AoH ($P=0,195$ pentru PP; $P=0,107$ pentru CArel; $P=0,303$ pentru PTIrel) (Tabelul 2).

Discuții

În acest studiu, s-au măsurat atât AoH în stare dinamică, cât și presiunea plantară la 892 copii cu vârste cuprinse între doi și 11, iar influența AoH asupra presiunii plantare a fost analizată prin compararea distribuției presiunii la nouă grupe AoH, care au fost clasificate de la -15° la 15° cu un interval de 5°. Rezultatele noastre sugerează că s-au înregistrat diferențe semnificative între grupe cu privire la PP, PTIrel și CArel în zonele halucelui, MFF și MF; în plus, a fost observată o încărcare slabă a halucelui și o supra-încărcare în zonele MFF și MF. Pe baza rezultatelor noastre, se poate explica încărcarea piciorului la copii, cu AoH variabil.

Hallemans și colab. [2] au descris pentru prima dată funcția halucelui copilului în perioada de după cinci luni de mers independent, iar rezultatele acestora au arătat existența *hallux valgus*. Acest halucel în abducție a jucat un rol important la începutul perioadei de mers independent al copilului. Pe de o parte, a crescut CA a antepiciorului și a îmbunătățit controlul mersului; pe de altă parte, mecanismul de abducție al halucelui a îmbunătățit generarea forței în timpul mersului, astfel încât să ajute mișcarea înainte în timpul fazei de propulsie. Până la vîrstă de șase ani la copii se dezvoltă complet bolta piciorului și modelul mersului de la călcâi până la degete [14], astfel încât funcția halucelui se diminuează. Klein și colab. [1] au studiat corelația între AoH la copii și lungimea interioară a pantofului, pentru a explica influența încălțăminteii asupra deformării picioarelor. În baza lor de date cu 1579 de înregistrări au raportat că 26,3% din amprentele picioarelor au fost normale, iar intervalul AoH a fost de 4-6°; în timp ce 23% din amprente au fost în poziție neutră, având AoH de 0°. Mai mult decât atât,

between the AoH and inner length of footwear and the smaller inner foot length, the larger AoH. However, the direct relation between AoH and plantar pressure was not considered. Based on biomechanics, Ute *et al.* [15] made an interpretation about hallux valgus deformity of adults. They found that with the AoH increasing, a transfer of plantar pressure from medial forefoot to its lateral side was obtained and a higher pressure was found at the LFF area. Similar outcomes were approved by Yavuz [9] whose study showed a larger shear pressure and impulse value at the LFF.

The results in our study were similar with the above ones. At first, statistics shows that G6 and G7 were the most prevalent AoH type, which occupied 28.3% and 21.2% of all subjects respectively; and then only 7.3% of subjects belonged to the G5 group. Our outcomes were different with those of Klein *et al.* [1] and those variations could be due to the method for the foot data collection. Klein measured the AoH in the way of static still standing, while our approach were made in a dynamic way. Whilst walking, the hallux and the first metatarsal head function as the pressure generator and balance controller, hence, their relative position might change. Secondly, our study also displays that pressure at CFF was the highest one in the forefoot; however it did not change with the development of AoH. Whereas, development of AoH significantly affected PP at T1, MFF and MF. PP and CA at T1 were presented to be high when the AoH < 0°; but it dramatically decreased as AoH increasing. Statistically, the decrease of PP at T1 mainly transferred to the area of MFF and MF and pressure rising at those two areas might affect the normal development of foot arch in forefoot and mid foot. Although a rising of PP at LFF could also be found, those pressure transfer were not statistically significant. Thereby, we suggested that only if the AoH larger than 20°, such as the sample of Yavuz who recruited the subject with the mean AoH of 25.3°, the forefoot load transfer from medial to the lateral side would happen.

Limitations still existed and should be considered when comprehending the results. Firstly, since self-selected walking speed was performed, the dynamic foot geometry might be changed by the varied walking speed. Secondly, because the AoH was measured

resultatele lor au sugerat că există o corelație semnificativă între AoH și lungimea interioară a încălțămintei; cu cât e mai mică lungimea interioară a încălțămintei, cu atât e mai mare AoH. Cu toate acestea, relația directă dintre AoH și presiunea plantară nu a fost luată în considerare. Pe baza principiilor biomecanicii, Ute și colab. [15] au făcut o interpretare cu privire la deformarea de tip *hallux valgus* la adulți. Ei au descoperit că, odată cu creșterea AoH, s-a obținut un transfer de presiune plantară de la antepiciorul median la partea laterală și s-a constatat o presiune mai mare în zona LFF. Rezultate similare au fost obținute de către Yavuz [9], al cărui studiu a demonstrat o presiune de forfecare și o valoare a impulsului mai mare în zona LFF.

Rezultatele studiului nostru au fost similare cu cele de mai sus. În primul rând, statisticile arată că G6 și G7 au fost predominant de tipul AoH, întâlnindu-se la 28,3%, respectiv 21,2%, din totalul subiecților; iar doar 7,3% dintre subiecți aparțin grupei G5. Rezultatele noastre au fost diferite de cele ale lui Klein și colab. [1], iar aceste variații s-ar putea datora metodei de colectare a datelor. Klein a măsurat AoH în poziția statică în picioare, în timp ce noi am abordat starea dinamică. În timpul mersului, halucele și primul metatarsian funcționează ca generatori de presiune și regulatori de echilibru; prin urmare, poziția lor relativă se poate schimba. În al doilea rând, studiul nostru arată de asemenea, că presiunea în zona CFF a fost cea mai ridicată la antepicior; cu toate acestea, nu a modificat dezvoltarea AoH. Dezvoltarea AoH a afectat în mod semnificativ PP în zonele T1, MFF și MF. PP și CA în zona T1 au fost mari atunci când AoH < 0°, dar au scăzut dramatic atunci când AoH a crescut. Din punct de vedere statistic, scăderea PP în zona T1 s-a transferat în special în zonele MFF și MF și presiunea în creștere în cele două zone ar putea afecta dezvoltarea normală a bolții piciorului în zona antepiciorului și în zona mediană a piciorului. Deși s-a constatat, de asemenea, o creștere a PP în zona LFF, transferul de presiune nu a fost semnificativ din punct de vedere statistic. Astfel, am sugerat că doar dacă AoH este mai mare de 20°, ca în cazul eșantionului lui Yavuz care a recrutat subiecți cu AoH mediu de 25,3°, are loc transferul de presiune din zona antepiciorului de la partea mediană spre partea laterală.

Încă există limitări și ar trebui să fie luate în considerare la înțelegerea rezultatelor. În primul rând, întrucât viteza mersului a fost la libera alegere a subiectului, geometria dinamică a piciorului se poate modifica în funcție de viteza mersului. În al doilea rând,

based on the outline of the foot pattern and only a moderate correlation with the X-ray approaches ($r=0.70$) were recorded [16], our outcomes may differ from those measured by the way of X-ray. Future work would explore the potential factors contributing to the occurrence of ulceration of elder adult population.

CONCLUSIONS

Overall, lateral shift of the hallux changed the pressure pattern at MFF and MF, the pressure rising at those two areas could hamper the normal development of the foot arch in both longitudinal and transverse. Therefore, child should not wear the footwear with tight and narrow forefoot spaces and straight and wider footwear should be recommended to their parents.

Acknowledgement

This study was supported by the project of "University funding for young researcher" (2014SCU11029) and the project of Funding of Sichuan University (2014SCU11029).

REFERENCES

1. Klein, C., Groll-Knapp, E., Kundi, M., Kinz, W., *BMC Musculoskeletal Disorders*, **2009**, 10-159.
2. Hallemans, A., De Clercq, D., Van Dongen, S., Aerts, P., *Gait Posture*, **2006**, 23, 142-148.
3. Sutherland, D.H., Olshen, R., Cooper, L., Woo, S.L.Y., *J. Bone Joint Surg.*, **1980**, 62, 336-353.
4. Bosch, K., Gerss, J., Rosenbaum, D., *Gait Posture*, **2007**, 26, 238-247.
5. Walther, M., *Foot Ankle Surg.*, **2008**, 14, 180-189.
6. Thomas, S., *Current Orthopaedics*, **2003**, 17, 299-307.
7. Hutton, W.C., Dhanendran, M., *Clin. Orthop. Relat. Res.*, **1981**, 157, 7-13.
8. Bryant, A., *The Foot*, **2000**, 10, 18-22.
9. Yavuz, M., Hetherington, V.J., Botek, G., Hirschman, G.B., Bardsley, L., Davis, B.L., *Gait Posture*, **2009**, 30, 257-259.
10. Ferrari, J., Watkinson, D., *Foot Ankle International*, **2005**, 26, 739-747.
11. Bus, S.A., de Lange, A., *Clinical Biomechanics*, **2005**, 20, 892-899.
12. Deenik, A.R., de Visser, E., Louwerens, J.W., de Waal Malefijt, M., Draijer, F.F., de Bie, R.A., *BMC Musculoskeletal Disorders*, **2008**, 9-70.
13. Hallemans, A., D'Août, K., De Clercq, D., Aerts, P., *Foot Ankle International*, **2003**, 24, 444-453.
14. Bertsch, C., Heidi, U., Winfried, W., Dieter, R., *Gait Posture*, **2004**, 19, 235-242.
15. Ute, W., *J Foot Ankle Surg.*, **2002**, 41, 300-308.
16. Park, J.M., Kwon, S.J., Lee, D.W., Im, H.T., *J. Korean Acad. Rehabil. Med.*, **2008**, 32, 689-692.

Article received/Data primirii articolului: 21.10.2014

Accepted/Acceptat la data: 09.02.2015

întrucât AoH a fost măsurat pe baza conturului amprentei piciorului și s-a înregistrat doar o corelație moderată prin metoda de analiză cu raze X ($r=0,70$) [16], rezultatele noastre pot fi diferite de cele măsurate utilizând doar analiza cu raze X. Lucrările viitoare vor explora potențialii factori care contribuie la apariția unor ulcerații la populația în vîrstă.

CONCLUZII

În general, deplasarea laterală a halucelui a modificat modelul de presiune în zonele MFF și MF, iar presiunea crescândă în cele două zone poate împiedica dezvoltarea normală a boltii piciorului, atât longitudinal, cât și transversal. Prin urmare, copilul nu ar trebui să poarte încălțăminte cu spații înguste la vârf, ci părinților trebuie să li se recomande încălțăminte dreaptă și mai largă pentru copiii lor.

Mulțumiri

Acest studiu a fost realizat în cadrul proiectului "University funding for young researcher" (2014SCU11029) sprijinit finanțar de către Universitatea Sichuan (2014SCU11029).