

## FEATURES OF PLANTAR PRESSURE DISTRIBUTION OF CHILDREN WITH SPASTIC DIPLEGIA

### CARACTERISTICILE DISTRIBUȚIEI PRESIUNII PLANTARE LA COPIII CU DIPLEGIE SPASTICĂ

Weijuan ZHANG<sup>1</sup>, Bo XU<sup>2</sup>, Jin ZHOU<sup>2</sup>, Baozhen CHENG<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Tianjin University of Science & Technology, Tianjin, China, zhang\_weijuan@163.com

<sup>2</sup>National Engineering Laboratory for Clean Technology of Leather Manufacture, Sichuan University, Chengdu, P. R. China

#### FEATURES OF PLANTAR PRESSURE DISTRIBUTION OF CHILDREN WITH SPASTIC DIPLEGIA

**ABSTRACT.** The aim of this study was to investigate the features of plantar pressure distribution of children with spastic diplegia. Totally, 18 spastic diplegia children (SDCP) and 36 typical developed counterparts (TD) with matching age, height and weight were recruited. Their plantar pressure distributions were measured and analyzed. Three-masks model was first used to divide the foot regions: forefoot, midfoot and hindfoot, then the relative contact time (CTrel) (%), peak pressure (PP) (N/cm<sup>2</sup>), relative pressure time integral (PTIrel) (%) and relative contact area (CA) (%) were calculated. Our outcomes show that pressure variables were significantly higher than those of TD in most regions, with the exception of PP; further, a prolonged first PP curve was obtained for SDCP in the double support phase. At last, all data of SDCP were moderate for the most of variables and regions. Thereby, features of SDCP children are shown below: no bimodal pressure curve was obtained and they usually performed with valgus deformities, so that midfoot was used as a major loading area.

**KEY WORDS:** plantar pressure distribution, spastic diplegia, cerebral palsy, typical developed children

#### CARACTERISTICILE DISTRIBUȚIEI PRESIUNII PLANTARE LA COPIII CU DIPLEGIE SPASTICĂ

**REZUMAT.** Scopul acestui studiu a fost de a investiga caracteristicile distribuției presiunii plantare la copiii cu diplegie spastică. S-au recrutat în total 18 copii cu diplegie spastică (PC) și 36 copii cu dezvoltare normală (TD), cu vârstă, înălțime și greutate similare. S-a măsurat și analizat distribuția presiunii plantare. Mai întâi s-a utilizat modelul cu trei zone de analiză pentru a împărți regiunile piciorului în: antepicior, zona centrală și retropicior, apoi s-au calculat timpul de contact relativ (CTrel) (%), presiunea maximă (PP) (N/cm<sup>2</sup>), integrala relativă presiune-timp (PTIrel) (%) și zona de contact relativă (CA) (%). Rezultatele arată că variabilele de presiune au fost semnificativ mai mari decât cele ale grupei TD în majoritatea regiunilor, cu excepția PP; mai mult, s-a obținut o primă curbă PP prelungită pentru grupa PC în faza de sprijin dublu. În cele din urmă, toate datele obținute pentru grupa PC au fost moderate pentru majoritatea variabilelor și regiunilor. Astfel, caracteristicile subiecților cu PC sunt următoarele: la copiii cu PC nu s-a obținut o curbă de presiune bimodală și, în general, aceștia au prezentat deformări de tip valgus, astfel încât cea mai mare presiune s-a constatat în regiunea MF.

**CUVINTE CHEIE:** distribuția presiunii plantare, diplegie spastică, paralizie cerebrală, copii cu dezvoltare normală

#### LES CARACTÉRISTIQUES DE RÉPARTITION DE LA PRESSION PLANTAIRE CHEZ LES ENFANTS AVEC DIPLÉGIE SPASTIQUE

**RÉSUMÉ.** Le but de cette étude a été d'étudier les caractéristiques de la répartition des pressions plantaires chez les enfants avec diplégie spastique. On a sélectionné 18 enfants avec diplégie spastique (SDCP) et 36 enfants développés normalement (TD) avec l'âge, le poids et la taille similaires. On a mesuré et analysé la répartition de la pression plantaire. On a utilisé d'abord le modèle à trois régions d'analyse pour répartir les régions du pied: l'avant-pied, le mi-pied et l'arrière-pied, puis on a calculé le temps de contact relatif (CTrel) (%), la pression maximale (PP) (N/cm<sup>2</sup>), l'intégrale relative pression-temps (PTIrel) (%) et la zone de contact relative (CA) (%). Les résultats montrent que les variables de pression ont été significativement plus élevées que celles de TD dans la plupart des régions, à l'exception du PP; en outre, une première courbe PP prolongée a été obtenue pour SDCP dans la phase de double appui. Enfin, toutes les données de SDCP ont été modérées pour la plupart des variables et des régions. Ainsi, les caractéristiques des sujets avec SDCP sont: il n'y a pas une courbe de pression bimodale chez les enfants avec SDCP et ils ont généralement montré des déformations de valgus, de telle sorte que la plus grande pression a été trouvée dans la région MF.

**MOTS CLÉS:** répartition de la pression plantaire, diplégie spastique, paralysie cérébrale, enfants développés normalement

## INTRODUCTION

Cerebral palsy (CP) is caused by a non-progressive brain damage which occurs between pre-birth and the infant period of after birth and it leads to a series of muscle spastics, abnormal gaits and foot deformities [1], which are the direct causes of foot ulceration, fractures and even death [2, 3]. Therefore, before developing strategies of ulcer prevention and pressure

## INTRODUCERE

Paralizia cerebrală (PC) este cauzată de leziuni non-progresive ale creierului care apar între perioada prenatală și perioada de după naștere și duce la o serie de spasme musculare, tulburări de mers și deformări ale picioarelor [1], care la rândul lor sunt cauzele directe ale ulcerărilor la nivelul piciorului și ale fracturilor, ducând chiar până la deces [2, 3]. Prin urmare, înainte de a dezvolta strategii de prevenire a

\* Correspondence to: Baozhen CHENG, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin, China, chbzh@tust.edu.cn

relieving, investigation of their features of plantar pressure was critical.

Currently, literature concerning foot biomechanics of healthy children is widely reported and outcomes show that fat pad existed in the early age of toddlers and this structure alleviated the peak pressure and protected the safety of feet [4]; while, as the foot arch formed around the age of six, loading was shifting anterior and posterior and a sharp increase of plantar pressure was primarily found at fore and hind foot [5]; further, with the age increasing, walking stability improved dramatically and a typical bimodal [6] pressure curve was observed [6]; finally, body weight, as well as characteristics of pressure distribution were similar with those of adults. In contrast with typical developed children (TD), those with CP usually exhibit poor motion control [7] and a random gait pattern. According to the pressure curve drawn by Li Hai *et al.* [8], a unimodal or asymmetrical bimodal curve was usually observed in CP patients; moreover, they also studied plantar pressure distribution of those subjects and they concluded that CP children had a longer contact time during double support phases, a higher relative impulse and a larger relative contact area. Kedem and Scher [9] systematically reviewed the feet deformities in CP population and they summarized that equinus, valgus and varus feet were the types commonly seen; in addition, their outcomes indicated that equinus led to a higher pressure at forefoot; while varus and valgus made the mid foot contact directly with the ground, at which pressure increased significantly. Maurer's [10] and Yi's [11] research further confirmed the above findings. However, subjects of the above studies included several types of cerebral palsy, such as spastic hemiplegia and diplegia etc. In terms of spastic diplegia, an abnormal but symmetrical gait on each lower limb could be obtained and according to the study of plantar pressure distribution of this CP type, the influence of CP on the children's gait could be comprehended. Unfortunately, seldom were investigations carried out concerning these issues.

Hence, the aim of this study was to investigate features of plantar pressure distribution of children with spastic diplegia. Based on current knowledge, hypotheses were proposed: (1) a unimodal pressure

ulcerațiilor și de reducere a presiunii, este necesară o investigație a caracteristicilor presiunii plantare.

În prezent, literatura de specialitate raportează multe studii în domeniul biomecanicii piciorului la copiii sănătoși, ale căror rezultate arată că existența unui strat de grăsime la copiii mici care a atenuat presiunea maximă și a contribuit la siguranța piciorului [4]; pe măsură ce se formează bolta piciorului, în jurul vârstei de șase ani, presiunea se deplasează în direcțiile anterioară și posterioară și se constată o creștere bruscă a presiunii plantare mai ales la antepicior și la retropicior [5]; mai mult, odată cu înaintarea în vârstă, stabilitatea mersului se îmbunătățește dramatic și se observă o curbă bimodală tipică a presiunii [6]; în cele din urmă greutatea corporală, precum și caracteristicile distribuției presiunii au fost similare celor ale adulților. Spre deosebire de copiii cu dezvoltare normală (TD), cei cu PC au prezentat un control redus al mișcării [7] și un tipar aleatoriu de mers. Conform curbelor de presiune trasate de Li Hai și colab. [8], la pacienții cu PC se observă de obicei o curbă unimodală sau una bimodală asimetrică; mai mult decât atât, aceștia au studiat și distribuția presiunii plantare la acei subiecți și au ajuns la concluzia că pacienții cu PC au prezentat un timp de contact mai lung în timpul fazelor de sprijin dublu, un impuls relativ mai mare și o suprafață de contact relativ mai mare. Kedem și Scher [9] au studiat sistematic deformările picioarelor la subiecți cu PC și au raportat prezența deformărilor de tip varus equin, valgus și varus; în plus, rezultatele au indicat faptul că deformarea de tip equin a dus la o presiune mai mare în zona antepiciorului, iar deformările în varus și valgus au dus la contactul direct al piciorului median cu solul, presiunea crescând semnificativ în această zonă. Cercetările lui Maurer [10] și Yi [11] au confirmat rezultatele de mai sus. Cu toate acestea, subiecții care au participat la studiile menționate au avut diferite tipuri de paralizie cerebrală, cum ar fi hemiplegia sau diplegia spastică etc. În ceea ce privește diplegia spastică, se obține un mers anormal, dar simetric, la ambele membre inferioare și pe baza studiului distribuției presiunii plantare la subiecții cu acest tip de PC, se poate înțelege influența PC asupra mersului copiilor. Din păcate, investigații asupra acestor probleme s-au făcut rareori.

Prin urmare, scopul acestui studiu a fost de a investiga caracteristicile distribuției presiunii plantare la copiii cu diplegie spastică. Pe baza cunoștințelor actuale, s-au propus următoarele ipoteze: (1) obținerea

curve would be found for CP group; (2) significant differences would be seen between CP and TD in each pressure variable and in most regions.

## MATERIALS AND METHODS

### Subjects

Totally, 18 spastic diplegia children (SDCP) and 36 typical developed counterparts (TD) with matching age, height and weight were recruited. The inclusion criteria are shown below: (1) Gross Motor Function Classification System (GMFCS) less than 3, which was evaluated by an experienced clinician; (2) walking independently without support including orthopedic instruments; (3) cooperating in the whole test and completing all the measurements; (4) at least 5 trails being successfully recorded. Subjects' demographic information is given in Table 1. The aims and methods of this test were first explained to patients' parents and a formal approval was obtained before the test. Furthermore, the ethics committee of the university approved this study and all procedures followed the principles of Helsinki Declaration.

unei curbe de presiune unimodale pentru grupa PC; (2) diferențe semnificative între PC și TD în ceea ce privește toate variabilele de presiune și în majoritatea regiunilor.

## MATERIALE ȘI METODE

### Subiecți

S-au recrutat în total 18 copii cu diplegie spastică (SDCP) și 36 de copii cu dezvoltare normală (TD) cu vârstă, înălțime și greutate similare. Criteriile de includere au fost următoarele: (1) gradul de clasificare a funcției motorii grosiere (GMFCS) mai mic decât 3, evaluat de către un clinician cu experiență; (2) capacitatea de a merge în mod independent, fără sprijin, inclusiv fără instrumente ortopedice; (3) cooperarea pe tot parcursul testului și finalizarea tuturor măsurătorilor; (4) înregistrarea cu succes a cel puțin 5 trasee. Datele demografice ale subiecților sunt prezentate în Tabelul 1. Obiectivele și metodele acestui test au fost explicate în primul rând părinților pacienților și s-a obținut o aprobare oficială din partea acestora înainte de testare. Mai mult decât atât, acest studiu a fost aprobat de către comitetul de etică al Universității și toate procedurile au respectat principiile declarației de la Helsinki.

Table 1: Demographic information of subjects  
Tabelul 1: Datele demografice ale subiecților

	TD <i>Dezvoltare normală</i>	SDCP <i>Diplegie spastică</i>
N	36	18
Age <i>Vârstă</i>	6.4±2.4	6.6±3.0
Gender <i>Sex</i>	M=18 F=18	M=12 F=6
Height (m) <i>Înălțime (m)</i>	1.1±1.7	1.1±1.6
Weight (kg) <i>Greutate (kg)</i>	22.8±7.7	21.2±7.7
BMI <i>IMC</i>	16.8±2.4	17.0±3.5
GMFCS	None <i>Niciunul</i>	Level I = 4 <i>Nivelul I = 4</i> Level II = 8 <i>Nivelul II = 8</i> Level III = 6 <i>Nivelul III = 6</i>

## 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 N/cm<sup>2</sup>, and the range of measure is 0-200 N/cm<sup>2</sup>. A two-step initial protocol was performed by the children and they were guided to walk with their selected speed on the pressure plate which was located in the middle of a six-meter-long track. Before the measurement, the system was calibrated; and then three to five minutes warm up was provided. At least five successful measures for each side of the foot were also required.

## Data Processing

Three-masks model was regrouped and plantar regions were redefined as: forefoot area (including five toes and five metatarsals), midfoot area and hind foot (including medial and lateral heel), under which parameters of contact time (ms), peak pressure (N/cm<sup>2</sup>), pressure time integral (S\*N/cm<sup>2</sup>) and contact area (cm<sup>2</sup>) were calculated. In order to compare within groups, a normalization processing was carried out for contact time (CTrel) (according to Equation (1)), contact area (CArel) (according to Equation (2)) and pressure-time integral (PTIrel) (according to Equation (3)):

$$CTrel = 100\% \times \text{contact time } (Xi) / \text{contact time } (Xi) \quad (1)$$

$$CTrel = 100\% \times \text{ timp de contact } (Xi) / \text{ timp de contact } (Xi)$$

$$CArel = 100\% \times \text{contact area } (Xi) / \text{contact area } (Xi) \quad (2)$$

$$CArel = 100\% \times \text{ zona de contact } (Xi) / \text{ zona de contact } (Xi)$$

$$PTIrel = 100\% \times \text{pressure time integral } (Xi) / \text{pressure time integral } (Xi) \quad (3)$$

$$PTIrel = 100\% \times \text{ integrala presiune-timp } (Xi) / \text{ integrala presiune-timp } (Xi)$$

where Xi indicates one of the plantar regions.

## Statistical Analysis

First of all, One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test showed that all data resulted in this study followed the normal distribution; then results of independent T test verified that no significant differences existed, so that data of both feet were combined for analysis.

## Măsurarea presiunii

Presiunea plantară a copiilor a fost măsurată utilizând platforma 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 N/cm<sup>2</sup>, iar gama de măsurare este 0-200 N/cm<sup>2</sup>. Copiii au urmat un protocol inițial în două etape și au fost îndrumați să meargă cu o viteză la alegere pe placa de presiune, care a fost poziționată în mijlocul unei piste de șase metri lungime. Înainte de măsurare, sistemul a fost calibrat, apoi s-au alocat trei până la cinci minute de încălzire. De asemenea, a fost nevoie de cel puțin cinci măsurători reușite pentru fiecare parte a piciorului.

## Prelucrarea datelor

S-a utilizat modelul cu trei zone de analiză, iar regiunile plantare au fost redefinite după cum urmează: zona antepiciorului (inclusiv cele cinci degete și cele cinci metatarsiene), zona centrală și zona retropiciorului (inclusiv părțile mediană și laterală ale călcâiului), în care s-au calculat parametri precum timpul de contact (ms), presiunea maximă (N/cm<sup>2</sup>), integrala presiune-timp (S\*N/cm<sup>2</sup>) și zona de contact (cm<sup>2</sup>). Pentru a face comparații între grupe, s-a efectuat o normalizare pentru timpul de contact (CTrel) (conform ecuației (1)), zona de contact (CArel) (conform ecuației (2)) și integrala presiune-timp (PTIrel) (conform ecuației (3)):

unde Xi indică una dintre regiunile plantare.

## Analiza statistică

Mai întâi, testul Kolmogorov-Smirnov cu un eșantion a arătat că toate datele testate au urmat distribuția normală; apoi rezultatele testului t independent au confirmat că nu au existat diferențe semnificative, astfel încât s-au combinat pentru analiză

Differences between the SDCP and TD were explored by independent T test. In order to compare the variance between SDCP and TD in terms of the trajectories of sum force during the whole gait cycle, coordination of force points of SDCP and TD were filtered and normalized into 100 points' modified gait cycle (MGC). At last, reliability was evaluated for each variable under each region. Suggested by Hopkins [12], typical error and re-test reliability needed to be calculated, where the typical error needed to be normalized in order to compare within groups. Then the coefficient of variance (CoV) was calculated by dividing the typical error by mean value of the group. Test-retest reliability was evaluated by intraclass correlation coefficient (ICC). The ICC's evaluation standard is:  $ICC < 0.5$ , poor reliability;  $0.5 < ICC < 0.75$ , medium reliability;  $ICC > 0.75$ , good reliability. All the statistical models were operated under SPSS (16.0 V, SPSS Inc., Chicago, USA) with a significance level of 0.05 and 95% confidence interval.

## RESULTS

Trajectory of forces during MGC showed that a unimodal and a similar bimodal pressure curve were found for SDCP and TD, respectively. Whereas, in contrast with TD whose first peak of curve occurred at 30% MGC, that of SDCP was observed at around 50% MGC (Figure 1).

datele ambelor picioare. Diferențele dintre grupele SDCP și TD au fost explorate prin testul t independent. Pentru a compara variația dintre SDCP și TD în ceea ce privește traiectoriile forțelor pe parcursul întregului ciclu de mers, punctele de forță ale SDCP și TD au fost filtrate și normalizate la ciclul de mers modificat de 100 de puncte (MGC). În cele din urmă, s-a evaluat fiabilitatea fiecărei variabile în fiecare regiune. După cum sugerează Hopkins [12], a fost necesară calcularea erorii tipice și a fiabilității retestării, unde eroarea tipică trebuia normalizată pentru a face comparații în cadrul grupelor. Apoi s-a calculat coeficientul de variație (CoV) prin împărțirea erorii tipice la valoarea medie a grupului. Fiabilitatea testare-retestare a fost evaluată prin coeficientul de corelație intra-clasă (ICC). Standardul de evaluare al ICC este:  $ICC < 0,5$ , fiabilitate slabă;  $0,5 < ICC < 0,75$ , fiabilitate medie;  $ICC > 0,75$ , fiabilitate bună. Toate modelele statistice au fost prelucrate cu software-ul SPSS (v. 16.0, SPSS Inc., Chicago, SUA), cu nivel de semnificație de 0,05 și interval de încredere de 95%.

## REZULTATE

Traietoria forțelor în timpul ciclului de mers modificat a indicat o curbă de presiune unimodală și una similară bimodală pentru SDCP, respectiv TD. Spre deosebire de grupa TD, la care maximumul curbei a apărut la 30% din MGC, la grupa SDCP, acesta s-a observat la aproximativ 50% din MGC (Figura 1).

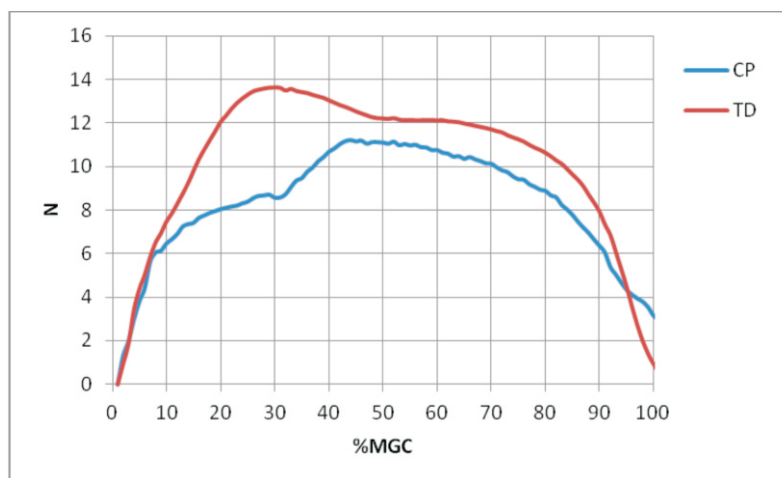


Figure 1. Trajectory of force during the modified gait cycle of SDCP and TD

Figura 1. Traietoria forței în timpul ciclului de mers modificat la copiii cu PC și la cei cu dezvoltare normală

Contact time of SDCP under forefoot and midfoot was significantly longer than that of TD ( $p = 0.000$  for forefoot,  $p = 0.026$  for midfoot); meanwhile PTIrel of SDCP was obviously higher than that of TD in each region ( $p = 0.000$  for forefoot,  $p = 0.010$  for midfoot,  $p = 0.000$  for hindfoot). Otherwise, PP of SDCP was significantly lower than that of TD ( $p = 0.000$  for forefoot,  $p = 0.000$  for midfoot,  $p = 0.000$  for hindfoot); except for midfoot, CArel at forefoot and hindfoot areas was significantly different between SDCP and TD ( $p = 0.000$  for forefoot,  $p = 0.001$  for hindfoot), see Table 2.

Timpul de contact la grupa SDCP în zonele antepicior și mediană a fost semnificativ mai lung decât la grupa TD ( $p = 0,000$  pentru antepicior,  $p = 0,026$  pentru zona mediană), iar PTIrel la grupa SDCP a fost în mod clar mai mare decât la grupa TD în toate regiunile ( $p = 0,000$  pentru antepicior,  $p = 0,010$  pentru zona mediană,  $p = 0,000$  pentru HF). În contrast, PP la grupa SDCP a fost semnificativ mai mică decât la grupa TD ( $p = 0,000$  pentru antepicior,  $p = 0,000$  pentru zona mediană,  $p = 0,000$  pentru retropicior); cu excepția regiunii zona mediană, au existat diferențe semnificative în ceea ce privește CArel în regiunile antepicior și retropicior între grupele SDCP și TD ( $p = 0,000$  pentru antepicior,  $p = 0,001$  pentru retropicior), a se vedea Tabelul 2.

Table 2: Independent T test of pressure variables between CP and TD in each foot region  
Tabelul 2: Testul t independent al variabilelor de presiune la copiii cu PC și la cei cu dezvoltare normală în fiecare regiune a piciorului

Regions <i>Regiuni</i>	Variables <i>Variabile</i>	Groups <i>Grupe</i>	N	Mean <i>Medie</i>	Std. Deviation <i>Abatere standard</i>	Mean Difference <i>Diferență medie</i>	sig.	Lower bound <i>Limita inferioară</i>	Upper bound <i>Limita superioară</i>
Forefoot <i>Antepicior</i>	CTrel	SDCP	40	52.9%	11.48	9.1%	0.000**	6.2%	11.9%
		TD	80	43.8%	4.21			5.3%	12.9%
	PP	SDCP	40	3.01	0.93	-1.56	0.000**	-1.97	-1.16
		TD	80	4.58	1.11			-1.95	-1.18
	PTIrel	SDCP	40	59.1%	20.89	20.0%	0.000**	14.9%	25.2%
		TD	80	39.0%	7.65			13.2%	26.9%
CArel	SDCP	40	64.7%	10.24	9.4%	0.000**	6.7%	12.1%	
	TD	80	55.2%	4.65			6.0%	12.8%	
Midfoot <i>Zona mediană</i>	CTrel	SDCP	40	32.6%	7.58	2.8%	0.026*	1.0%	4.7%
		TD	80	29.8%	2.33			0.4%	5.3%
	PP	SDCP	40	3.03	1.30	-1.03	0.000**	-1.43	-0.64
		TD	80	4.06	0.87			-1.48	-0.58
	PTIrel	SDCP	40	32.3%	18.59	8.2%	0.010*	3.7%	12.7%
		TD	80	24.1%	5.77			2.1%	14.2%
CArel	SDCP	40	32.5%	13.11	3.6%	0.097	0.5%	6.8%	
	TD	80	28.9%	3.99			-0.7%	7.9%	
Hindfoot <i>Retropicior</i>	CTrel	SDCP	40	28.6%	9.58	2.3%	0.153	-0.1%	4.6%
		TD	80	26.4%	3.05			-0.9%	5.4%
	PP	SDCP	40	3.29	2.35	-3.65	0.000**	-4.43	-2.88
		TD	80	6.94	1.83			-4.50	-2.81

Table 2: Continued  
 Tabelul 2: Continuare

Regions <i>Regiuni</i>	Variables <i>Variabile</i>	Groups <i>Grupe</i>	N	Mean <i>Medie</i>	Std. Deviation <i>Abatere standard</i>	Mean Difference <i>Diferență medie</i>	sig.	Lower bound <i>Limita inferioară</i>	Upper bound <i>Limita superioară</i>
Forefoot <i>Antepicior</i>	PTIrel	SDCP	40	22.4%	15.37	-14.5%	0.000**	-19.0%	-10.0%
		TD	80	36.9%	9.46			-19.8%	-9.2%
	CArel	SDCP	40	13.0%	4.87	-2.9%	0.001**	-4.6%	-1.2%
		TD	80	15.9%	4.37			-4.7%	-1.1%

\* Indicated the differences were significantly lower than 0.05;

\* *Diferențele au fost semnificativ mai mici decât 0,05;*

\*\* Indicated the differences were significantly lower than 0.001;

\*\* *Diferențele au fost semnificativ mai mici decât 0,001;*

$\alpha$  was the abbreviation of relative contact time;

$\alpha$  *este abrevierea timpului de contact relativ;*

$\beta$  was the abbreviation of peak pressure;

$\beta$  *este abrevierea presiunii maxime;*

$\gamma$  was the abbreviation of relative pressure time integral;

$\gamma$  *este abrevierea integralei presiune-timp;*

$\delta$  was the abbreviation of relative of contact area.

$\delta$  *este abrevierea zonei relative de contact.*

In terms of SDCP, outcomes of five measurements showed that ICC of CArel was the highest (ICC=0.990, CoV=9.4%, p=0.000), then was the PP (ICC=0.760, CoV=48.9%, p=0.000) and the PTIrel (ICC=0.714, CoV=44.5%, p=0.000); whereas, CP also displayed that with exception of ICC of CArel under each region being higher than 0.8 (p=0.000), that of PP and PTIrel proved to be forefoot < hindfoot < midfoot; meanwhile CoV of those two variables were higher than 50%, particularly in the hindfoot area. Similar outcomes were observed at TD group, where reliability sequences were CArel (ICC=0.994, CoV=9.4%, p=0.000) > PTIrel (ICC=0.900, CoV=23.3%, p=0.000) > PP (ICC=0.880, CoV=23.9%, p=0.000).

## DISCUSSION

In this study, plantar pressure distribution of 18 SDCP and 36 TD with matching age, height and weight was measured and analyzed. Pressure variables were compared between SDCP and TD and then within three types of gait. The outcomes show that significant differences of each variables existed between SDCP and TD; besides, a prolonged first peak of pressure curve was obtained for SDCP in the double support phase. At last, all data of SDCP were proved to be moderate for most variables and regions.

În ceea ce privește grupa SDCP, rezultatele a cinci măsurători au indicat că ICC al CArel a avut valoarea cea mai mare (ICC = 0,990, CoV = 9,4%, p = 0,000), urmat de PP (ICC = 0,760, CoV = 48,9%, p = 0,000) și PTIrel (ICC = 0,714, CoV = 44,5%, p = 0,000); o situație similară se întâlnește și în cazul copiilor cu PC, cu excepția faptului că ICC al CArel în fiecare regiune a fost mai mare decât 0,8 (p = 0,000), valorile PP și PTIrel au urmat secvența antepicior < retropicior < zona mediană, iar valoarea CoV a celor două variabile a depășit 50%, mai ales în regiunea retropiciorului. Rezultate similare s-au observat și la grupa TD, unde secvența fiabilității a fost CArel (ICC = 0,994, CoV = 9,4%, p = 0,000) > PTIrel (ICC = 0,900, CoV = 23,3%, p = 0,000) > PP (ICC = 0,880, CoV = 23,9%, p = 0,000).

## DISCUȚII

În acest studiu, s-a măsurat și analizat distribuția presiunii plantare la 18 subiecți cu diplegie spastică și 36 de subiecți cu dezvoltare normală, cu vârstă, înălțime și greutate similare. S-au comparat variabilele de presiune obținute pentru grupele PC și TD și pentru cele trei tipuri de mers. Rezultatele arată că au existat diferențe semnificative la fiecare variabilă, la ambele grupe; în plus, s-a obținut un punct maxim prelungit al curbei de presiune la grupa PC în timpul fazei de sprijin dublu. În cele din urmă, s-a confirmat că toate datele obținute pentru grupa PC au fost moderate pentru majoritatea variabilelor și regiunilor.

Bosch *et al.* [6] indicated that pressure under midfoot was attenuated as the foot arch formed at the age of six for TD group. Moreover, regarding TD with foot valgus, outcomes of Yi and Wang [11] suggested that significant differences were found between the valgus and normal ones in terms of relative contact area of each region, relative contact time and relative impulse. In terms of CP, current literature [1-4, 7, 8] showed that as the abnormal muscle force generated in the CP population, lower limb control became a difficult action for them, thereby, they adopted the strategies of prolonging contact time, so that gait stability could be promoted. Maurer *et al.* [10] divided gait types of CP into footflat, varus and valgus. By considering the plantar pressure distribution, they found that a higher pressure was obtained at medial midfoot for valgus, accompanied by a forefoot rotated outwards. They further suggested that, unlike the TD child, whose body was in a status of dynamic imbalance and it became stable in the double stance phase, because of the weakened lower limbs muscles, centre of body gravity was lowered in the SDCP children and more time was consumed in the period of double stance phase in order to recover the situation of balance [13]. In contrast, TD showed that after a short period of heel valgus, COP moved fast towards lateral side and finally became valgus in toe off, where its tendency was confirmed in the study of Zhou *et al.* [14].

Outcomes of our study were consistent with the above ones. In terms of pressure distribution, we found that the peak of pressure curve of SDCP was seen at 50% MGC, during the period of double support phase; moreover, a longer CT<sub>rel</sub> and a higher PTI<sub>rel</sub> were found under midfoot. These two phenomena implied that a severe valgus of CP occurred for both feet and their performances were consistent with Li's report [8]: according to the strategies of increasing the CT or CA, gait stability could be promoted. Nevertheless, the values of PP of SDCP in all three regions were significantly lower than those of TD; this could be explained by the fact that spastic muscles have led to an abnormal gait and made the feet in a lifted strike [15, 16], which indicated that not all body weight was loaded on the

Bosch și colab. [6] au indicat că presiunea în zona mediană s-a atenuat pe măsură ce s-a format bolta piciorului, până la vârsta de șase ani pentru grupa TD. Mai mult decât atât, în ceea ce privește subiecții TD cu deformare de tip valgus, rezultatele lui Yi și Wang [11] au sugerat existența unor diferențe semnificative între cei cu deformare de tip valgus și cei cu picioare normale în ceea ce privește zona de contact relativă în fiecare regiune, timpul de contact relativ și impulsul relativ. Referitor la subiecții cu PC, studii actuale [1-4, 7, 8] arată că generarea unei forțe musculare anormale la subiecții cu PC îngreunează controlul membrilor inferioare și, prin urmare, aceștia adoptă strategia de a prelungi timpul de contact, pentru a facilita stabilitatea mersului. Maurer și colab. [10] au împărțit tipurile de mers la subiecții cu PC în mers cu contact total al piciorului pe sol, mers cu deformări de tip varus și valgus. Analizând distribuția presiunii plantare, au constatat o presiune mai mare în zona centrală mediană pentru deformarea de tip valgus, însoțită de o rotire a antepiciorului spre exterior. Aceștia au mai sugerat că, spre deosebire de copiii cu dezvoltare normală, al căror corp se află în dezechilibru dinamic și devine stabil în faza de sprijin dublu, din cauza mușchilor slăbiți la nivelul membrilor inferioare, centrul de greutate al corpului s-a situat mai jos la copiii cu PC și s-a consumat mai mult timp în faza de sprijin dublu pentru a redobândi echilibrul [13]. În contrast, la grupa TD s-a observat că după o scurtă perioadă de poziționare a călcâiului în valgus, centrul de presiune s-a deplasat rapid în lateral și s-a poziționat în valgus la desprinderea degetelor, această tendință fiind confirmată în studiul lui Zhou și colab. [14].

Rezultatele studiului nostru au fost în conformitate cu cele de mai sus. În ceea ce privește distribuția presiunii, s-a constatat că maximumul curbei de presiune la grupa PC a avut loc la 50% din MGC, în timpul fazei de sprijin dublu; mai mult decât atât, s-au constatat CT<sub>rel</sub> și PTI<sub>rel</sub> mai lungi în zona mediană. Aceste două fenomene au implicat o deformare severă în valgus la ambele picioare ale subiecților cu PC, iar performanțele lor au fost în acord cu raportul lui Li [8]: s-au adoptat strategiile de a mări CT sau CA pentru a facilita stabilitatea mersului. Totuși, valoarea PP la grupa PC în toate cele trei regiuni a fost semnificativ mai mică decât la grupa TD, acest fapt fiind pus pe seama spasmelor musculare; mersul anormal a dus la un contact al piciorului cu solul mai puțin accentuat [15, 16], ceea ce a indicat că picioarele nu au suportat în



feet. Hence, our first and second hypotheses were proved.

At last, in terms of SDCP, our results indicated that the best reliable data were obtained for CArel in all three areas; while the reliability of PP and PTIrel under heel and forefoot were moderate to poor and this might be caused by the unstable gait patterns. Although ICC and CoV of SDCP varied within various regions, 44.4% ICC items were larger than 0.75, 33.3% of those were between 0.5-0.75; 77.8% CoV items were lower than 50%. Thereby, a reasonable reliability was approved for SDCP.

Although positive outcomes were obtained, limitations still existed and need to be comprehended with caution: 1) subjects were asked to walk with their own selected speed and the factor of speed was potentially correlated with PP and PTIrel; 2) a small sample strategy was adopted in this study. Further medical application was suggested since the SDCP patients were lacking the first heel rocker, which would reduce the ankle plantar flexion and knee flexion, making the single leg support unstable, procedure of orthotics design and a rigid joint would be considered in order to stimulate the foot ankle in a dorsiflexion status and increase the extent of the heel contact. Another suggestion of our study was that the plantar pressure measurement was a reliable and repeatable protocol in the research of patients such as cerebral palsy and so on.

## CONCLUSION

Overall, features of plantar pressure distribution of SDCP are shown below: no bimodal pressure curve was obtained for SDCP children and they usually performed with valgus deformities, so that midfoot was used as a major loading area.

## REFERENCES

1. Sorsdahl, A.B., Moe-Nilssen, R., Strand, L.I., *Gait Posture*, **2008**, 27, 43–50.
2. Boldingh, E.J.K., Jacobs-van der Bruggen, M., Bos, C.F.A., Lankhorst, G.J., Bouter, L.M., *J Pediatr Orthop*, Part B, **2007**, 16, 1, 31-34.
3. Stasikelis, P.J., Lee, D.D., Sullivan, C.M., *J Pediatr Orthop*, **1999**, 19, 2, 207-210.

totalitate greutatea corpului. Prin urmare, s-au confirmat prima și a doua ipoteză.

În cele din urmă, în ceea ce privește grupa PC, rezultatele noastre au indicat că datele cele mai fiabile au fost obținute pentru CArel în toate cele trei regiuni, în timp ce fiabilitatea PP și PTIrel în regiunile călcâiului și antepiciorului a fost moderată până la slabă, fapt ce poate fi cauzat de tiparele de mers instabil. Deși ICC și CoV la grupa PC au variat în diferite regiuni, 44,4% din valorile ICC au fost mai mari decât 0,75, 33,3% s-au încadrat între 0,5 și 0,75, iar 77,8% din valorile CoV au fost mai mici decât 50%. Prin urmare, s-a atribuit o fiabilitate rezonabilă grupei PC.

Deși s-au obținut rezultate pozitive, au existat și limitări și acestea trebuie să fie luate în considerare cu precauție: 1) subiecții au fost rugați să meargă cu o viteză la alegere, iar factorul de viteză a fost potențial corelat cu PP și PTIrel; 2) în acest studiu s-a adoptat o strategie pentru un eșantion mic. S-au sugerat aplicații medicale suplimentare, deoarece la pacienții SDCP lipsește prima perioadă a fazei de pășire, ceea ce reduce flexia plantară și flexia genunchiului, ducând la un sprijin unipodal instabil, trebuind să se ia în considerare o procedură de proiectare a ortezelor și o articulație rigidă pentru a stimula flexia dorsală a gleznei și pentru a crește gradul de contact al călcâiului cu solul. Studiul nostru a sugerat că măsurarea presiunii plantare a reprezentat un protocol repetabil și de încredere în studierea pacienților cu paralizie cerebrală și alte afecțiuni.

## CONCLUZII

Per ansamblu, caracteristicile distribuției presiunii plantare la subiecții cu PC au fost următoarele: la copiii cu PC nu s-au obținut curbe de presiune bimodală și, în general, aceștia au prezentat deformări de tip valgus, astfel încât cea mai mare presiune s-a constatat în zona mediană.

4. Bosch, K., Gerss, J., Rosenbaum, D., *Gait Posture*, **2007**, 26, 2, 238-247.
  5. Hallems, A., D'Août, K., De Clercq, D., Aerts, P., *Foot Ankle Int*, **2003**, 24, 5, 444-453.
  6. Bosch, K., Gerss, J., Rosenbaum, D., *Gait Posture*, **2010**, 32, 4, 564-71.
  7. Davies, B.L., Kurz, M.J., *Res Dev Disabil*, **2013**, 34, 11, 3648-3653.
  8. Li, H., Zhou, A.Y., Huang, D.F., Ding, J.X., Jiang, Q., Yin, Y.D., *Chinese Journal of Rehabilitation Medicine*, **2007**, 22, 1, 44-47.
  9. Kedem, P., Scher, D.M., *Curr Opin Pediatr*, **2015**, 27, 1, 67-74.
  10. Maurer, J.D., Ward, V., Mayson, T.A., Davies, K.R., Alvarez, C.M., Beauchamp, R.D., Black, A.H., *Gait Posture*, **2014**, 39, 1, 1-6.
  11. Liu, Y., Wu, J.X., *Anhui Medical Journal*, **2011**, 32, 1, 1-4.
  12. Hopkins, W.G., *Sports Med*, **2000**, 30, 1, 1-15.
  13. Zhou, J., Li, T., Xu, B., Chen, W., *Revista de Pielarie Incaltaminte (Leather and Footwear Journal)*, **2015**, 15, 1, 3-14.
  14. Li, T., Li, B., Chen, W., Wu, J., Xu, B., Zhou, J., *Revista de Pielarie Incaltaminte (Leather and Footwear Journal)*, **2015**, 15, 4, 239-248.
  15. Hsue, B.J., Miller, F., Su, F.C., *Gait Posture*, **2009**, 29, 3, 465-470.
  16. Hou, X., Wan, Y., Li, C., Yang, X., Fan, Y., Li, Y., *Chinese Journal of Rehabilitation Medicine*, **2010**, 25, 9, 870-874.
- 

Article received/Data primirii articolului: 15.12.2015

Accepted/Acceptat la data: 11.04.2016