

INVESTIGATION OF MOTION BALANCE OF CHILDREN WITH SPASTIC DIPLEGIA

ANALIZA ECHILIBRULUI ÎN MIȘCARE LA COPIII CU DIPLEGIE SPASTICĂ

Ying SONG^{1,2}, Haojun FAN^{1,2}, Jin ZHOU^{1,3*}, Bo XU^{1,2}, Jianxin WU³

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

²Key Laboratory for Leather Chemistry and Engineering of the Education Ministry, Chengdu 610065, P.R. China

³Science Lab, Zhejiang Red Dragonfly Footwear Co., Ltd., Wenzhou 325105, P.R. China

INVESTIGATION OF MOTION BALANCE OF CHILDREN WITH SPASTIC DIPLEGIA

ABSTRACT. The aim of this study was to find the features of balance control of cerebral palsy (CP) children by exploring the variances between the CP and TD groups in terms of centre of pressure (COP) deviation, velocity and sum of distances. Eighteen spastic diplegia children (CP) and 36 typical developed counterparts (TD) who were matching with age, height and weight were recruited and measured by pressure plate and then COP parameters such as Relative deviation in the X (Dxrel) and Y axis (Dyrel), Relative velocity in the X (Vxrel) and Y axis (Vyrel) and Relative sum distance in X (Dxrel) and Y axis (Dyrel). Independent T test and reliability analysis were carried out with significance level of 0.05 and confidence interval of 95%. Our results show that Dxrel, Vxrel, Vyrel, SumXrel and SumYrel of CP were significantly higher than those of TD; meanwhile COP of CP was always located at the medial side of foot which indicated a severe valgus and distances in anterior-posterior (AP) direction of CP were smaller than that of TD. At last, a reasonable repeatability was obtained for CP, since their COV of Dxrel, Dyrel, Vxrel, Vyrel, SumXrel and SumYrel CoV were overall <13%, whereas, with exception of ICC of Vxrel and SumXrel, ICC of Dxrel, Dyrel and SumYrel were higher than 0.5. Overall, in order to fulfill the balance control, strategies of foot valgus, larger deviation in medial-lateral (ML) direction, longer contact time and higher velocity in AP and ML directions were adopted by CP children.

KEY WORDS: spastic diplegia, balance control, centre of pressure, plantar pressure measurement

ANALIZA ECHILIBRULUI ÎN MIȘCARE LA COPIII CU DIPLEGIE SPASTICĂ

REZUMAT. Scopul acestui studiu a fost de a găsi caracteristicile de control al echilibrului la copiii cu paralizie cerebrală (PC) prin explorarea diferențelor dintre grupele PC și TD din punctul de vedere al deviației, vitezei și sumei distanțelor centrului de presiune (COP). S-au recrutat optsprezece copii cu diplegie spastică (PC) și 36 subiecți cu dezvoltare normală (TD), cu vârstă, înălțime și greutate similare și s-au efectuat măsurători utilizând platforma de presiune și apoi s-au determinat parametrii COP, cum ar fi abaterea relativă pe axele X (Dxrel) și Y (Dyrel), viteza relativă pe axele X (Vxrel) și Y (Vyrel) și suma distanțelor relative pe axele X (Dxrel) și Y (Dyrel). S-au efectuat testul t independent și analiza fiabilității cu un nivel de semnificație de 0,05 și interval de încredere de 95%. Rezultatele noastre arată că parametrii Dxrel, Vxrel, Vyrel, SumXrel și SumYrel la subiecții cu PC au fost semnificativ mai mari decât cei pentru grupa TD; pe de altă parte, COP pentru grupa PC s-a situat întotdeauna în partea mediană a piciorului, ceea ce a indicat o deformare severă în valgus, iar distanțele în direcția antero-posterioară (AP) la grupa PC au fost mai mici decât cele din grupa TD. În cele din urmă, s-a obținut o repetabilitate rezonabilă pentru PC, întrucât CoV al parametrilor Dxrel, Dyrel, Vxrel, Vyrel, SumXrel și SumYrel a fost în general <13%, în timp ce, cu excepția ICC al Vxrel și SumXrel, ICC al parametrilor Dxrel, Dyrel și SumYrel a fost mai mare decât 0,5. În general, pentru a obține controlul echilibrului, copiii cu PC au adoptat strategii precum poziția în valgus a piciorului, deviația mai mare în direcția medio-laterală (ML), timpul de contact mai lung și viteza mai mare în direcțiile AP și ML.

CUVINTE CHEIE: diplegie spastică, controlul echilibrului, centru de presiune, măsurarea presiunii plantare

L'ANALYSE DE L'ÉQUILIBRE EN MOUVEMENT CHEZ LES ENFANTS AVEC DIPLÉGIE SPASTIQUE

RÉSUMÉ. Le but de cette étude a été de trouver les caractéristiques de contrôle de l'équilibre chez les enfants avec paralysie cérébrale (CP) en explorant les différences entre les groupes de CP et TD en termes de la déviation, la vitesse et la somme des distances du centre de pression (CdP). On a recruté dix-huit enfants diploéiques spastiques (CP) et 36 sujets développés normalement (TD) avec l'âge, le poids et la taille similaires et on a mesuré leur pression plantaire, puis les paramètres du CdP tels que la déviation relative sur les axes X (Dxrel) et Y (Dyrel), la vitesse relative sur les axes X (Vxrel) et Y (Vyrel) et la somme des distances relatives sur les axes X (Dxrel) et Y (Dyrel). On a appliqué le test t indépendant et l'analyse de fiabilité avec le niveau de signification de 0,05 et l'intervalle de confiance de 95%. Nos résultats montrent que les paramètres Dxrel, Vxrel, Vyrel, SumXrel et SumYrel du groupe CP ont été significativement plus élevés que ceux de TD; le CdP du groupe CP a été toujours situé à la face interne du pied, ce qui a indiqué un valgus sévère et les distances dans la direction antéro-postérieure du groupe CP ont été inférieures à celles du groupe TD. Enfin, une répétabilité raisonnable a été obtenue pour le groupe CP, parce que le COV de Dxrel, Dyrel, Vxrel, Vyrel, SumXrel et SumYrel a été globalement <13%, alors que, à l'exception de l'ICC de Vxrel et SumXrel, l'ICC de Dxrel, Dyrel et SumYrel a été supérieur à 0,5. Dans l'ensemble, afin d'obtenir le contrôle de l'équilibre, les enfants avec CP ont adopté des stratégies telles que le pied valgus, un plus grand écart dans la direction médio-latérale, le temps de contact plus long et la vitesse plus élevée dans les directions antéro-postérieure et médio-latérale.

MOTS CLÉS: diplégie spastique, contrôle de l'équilibre, centre de pression, mesure de la pression plantaire

* Correspondence to: Jin ZHOU, National Engineering Laboratory for Clean Technology of Leather Manufacture, Sichuan University, Chengdu 610065, P.R.China, e-mail: zj_scu@qq.com

INTRODUCTION

Cerebral palsy (CP) is caused by a non-progressive brain damage which occurs between pre-birth and the infant period after birth and it leads to a series of muscle spastic, abnormal gait and foot deformity [1], such as tip toeing, rigidity gait, flexed knee, leap gait, equines deformity and rotated lower limb deformity [2]. Therefore, the motion balance mechanism of CP patients is interrupted and it needs to be evaluated during their rehabilitation procedure.

Dynamic balance of CP children could be quantitatively evaluated by parameters of centre of mass (COM) and centre of pressure (COP). COM was usually at the position of the third section of the spine and it was the center of body mass; while trajectory of COM was the result of force reacted on the body [4]. COP displayed the geometric location of the peak pressure in each frame of pressure distribution image and it recorded the ground reaction force on the feet [3]. When the human was standing still, the position of COP was in the middle of the two feet; whereas, instantaneous movement shifted the COP to the leading leg and then COP transferred to another leading leg from the trailing one in the late of middle stance phase [5]. As complications of CP, COP path of CP patients varied with their healthy counterparts, whose COP trajectory was more fluent. Current literature showed that the ability of balance control of CP was significantly inferior than their peer subjects [6-8]; further, other researchers implied that those imbalances reflected the necessary strategies of balance control adopted by the CP child in order to overcome the influences from the muscle spastic and deformities [9]. Besides, more studies were focusing on the variance between the COP and COM in terms of angle and distance and they suggested that the more differences between COP-COM existed, the higher reaction force needed to be generated; meanwhile, recovering the normal position of COM and COP would consume more energy [4, 10] and require a much higher longitudinal acceleration [11-13]. However, although combined with COM and COP, study of balance could be more objective and explicit; COP was the direct index reflecting the ground reaction forces and lacking a basic knowledge about

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], cum ar fi mersul pe vârfuri, rigiditate în mers, genunchi flexați, mers în salturi, deformare de tip *varus equin* și rotirea membrelor inferioare [2]. Prin urmare, mecanismul de echilibru în mișcare al pacienților cu PC este întrerupt și trebuie evaluat în timpul procedurii de reabilitare a acestora.

Echilibrul în dinamică al copiilor cu PC a putut fi evaluat cantitativ prin parametri precum centrul de masă (COM) și centrul de presiune (COP). COM s-a situat, de obicei, în cea de a treia secțiune a coloanei vertebrale și a constituit centrul de masă corporală; în timp ce traiectoria COM a fost rezultatul forțelor care au acționat asupra corpului [4]. COP a indicat amplasarea geometrică a presiunii maxime în fiecare cadru al imaginii de distribuție a presiunii și a înregistrat forța de reacție a solului asupra picioarelor [3]. Când subiectul a stat în picioare nemișcat, COP s-a situat la mijlocul picioarelor; în contrast, mișcarea instantanee a determinat deplasarea COP spre piciorul dominant și apoi transferarea acestuia la celălalt picior la sfârșitul fazei de sprijin intermediare [5]. Ca o complicație a PC, traiectoria COP a pacienților cu PC a variat, ca și în cazul copiilor sănătoși, a căror traiectorie COP a fost mai fluentă. Studiile actuale arată că abilitatea de controlare a echilibrului la pacienții cu PC a fost semnificativ inferioară comparativ cu semenii lor dezvoltați normal [6-8]; în plus, alți cercetători au sugerat că dezechilibrele reflectă strategiile de control al echilibrului necesare adoptate de copiii cu PC, pentru a contracara influențele spasmelor musculare și ale deformărilor [9]. Pe lângă aceasta, mai multe studii s-au axat pe variația dintre COP și COM în ceea ce privește unghiul și distanța și au sugerat că, cu cât există mai multe diferențe între COP și COM, cu atât este mai mare forța de reacțiune necesară; între timp, recuperarea poziției normale a COM și COP ar consuma mai multă energie [4, 10] și ar necesita o accelerație longitudinală mult mai mare [11-13]. Cu toate acestea, deși este combinat cu COM și COP, studiul echilibrului ar putea fi mai obiectiv și mai explicit; COP a reprezentat indicii care reflectă în mod direct forțele de reacțiune ale solului, iar lipsa de

the COP such as its deviation, velocity and sum of motion would make the comprehension of balance be pale. Unfortunately, no studies reported the features of COP of CP patients.

Thereby, the aim of this study was to find the features of balance control of CP children by exploring the variances between the CP and typical developed (TD) groups in terms of COP deviation, velocity and sum of distances. Based on current literature, hypotheses were proposed: (1) in order to maintain balance, longer contact time and larger deviation of COP in medial-lateral (ML) direction would be found in the CP group; (2) requiring more support areas, foot valgus would be observed in the CP group during the entire gait cycle; (3) uncertainties of CP's gait, reliability would be moderate to poor for each variables of COP of CP children.

METHODS

Subjects

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

cunoștințe de bază cu privire la COP, cum ar fi abaterea, viteza și suma mișcărilor, duce la o înțelegere slabă a echilibrului. Din păcate, în literatură nu se găsesc rapoarte ale caracteristicilor COP la pacienții cu PC.

Astfel, scopul acestui studiu a fost de a găsi caracteristicile de control al echilibrului la copiii cu PC prin explorarea diferențelor dintre grupele de subiecți cu PC și cei dezvoltați normal (TD) din punctul de vedere al devierii, vitezei și sumei distanțelor COP. Pe baza studiilor actuale, au fost propuse următoarele ipoteze: (1) pentru a menține echilibrul, în grupa PC se constată un timp de contact mai lung și o deviere mai mare a COP în direcția medio-laterală (ML); (2), pe durata întregului ciclu de mers în grupa PC se observă piciorul în *valgus*, întrucât necesită mai multe zone de sprijin; (3) incertitudinea și fiabilitatea în timpul mersului sunt moderate până la slabe pentru fiecare variabilă COP la copiii cu PC.

METODE

Subiecți

S-au recrutat optsprezece copii cu diplegie spastică (PC) și 36 subiecți 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; (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. GMFCS a fost evaluat de către un clinician cu experiență. 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>	DiCP <i>Diplegie spastică</i>
N	36	18
Age <i>Vârsta</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/cm², and the range of measure is 0-200N/cm². A two-step 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 [15]. Before the measurement, the system was calibrated; and then three to five minutes warm up was provided. According to Hopkins' studies [16], with the increase of testing times, the subjects' performance tends to be stable. Five successful measures for each side of foot were also required.

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/cm², iar gama de măsurare este 0-200 N/cm². 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 pistei de șase metri lungime. Protocolul în două etape a redus efectiv durata procesului și, în același timp, a îmbunătățit repetabilitatea mersului [15]. Înainte de măsurare, sistemul a fost calibrat, apoi s-au alocat trei până la cinci minute de încălzire. În conformitate cu studiile lui Hopkins [16], odată cu creșterea duratei de testare, performanța subiecților tinde să devină stabilă. De asemenea, a fost nevoie de cel puțin cinci măsurători reușite pentru fiecare parte a piciorului.

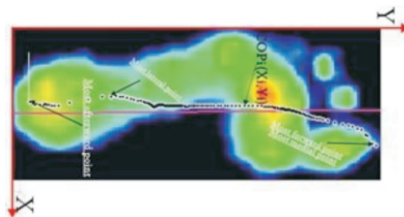


Figure 1. Trajectory of centre of pressure
 Figura 1. Traiectoria centrului de presiune

Data Processing

Any COPi was composed by coordination in the X and Y direction (X_i , Y_i) (Figure 1), as well as the time cost, hence, based on the coordination, we could calculate the minimum and maximum vibration in X (X_{min} and X_{max}) and Y (Y_{min} and Y_{max}) axis. The lateral side was defined as the positive direction, while medial side was as the negative direction. Besides, foot length (FL) and foot width (FW) were also used for the normalization. FL was defined as the longest distance between the toe and heel from the plantar pressure distribution images; whereas FW was the widest distance at the forefoot. The procedures of normalization of deviation, velocity and sum distance were shown below:

$$\begin{aligned} \text{Relative deviation in the X axis (Dxrel)} &= (X_{max}-X_{min}) / FW \\ \text{Abaterea relativă pe axa X (Dxrel)} &= (X_{max}-X_{min}) / FW \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Relative deviation in the Y axis (Dyrel)} &= (Y_{max}-Y_{min}) / FL \\ \text{Abaterea relativă pe axa Y (Dyrel)} &= (Y_{max}-Y_{min}) / FL \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{Relative velocity in the X axis (Vxrel)} &= Dxrel / \text{times} \\ \text{Viteza relativă pe axa X (Vxrel)} &= Dxrel / \text{timp} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{Relative velocity in the Y axis (Vyrel)} &= Dyrel / \text{times} \\ \text{Viteza relativă pe axa Y (Vyrel)} &= Dyrel / \text{timp} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{Relative sum distance in X axis (SumXrel)} &= (X_{i+1}-X_i) / FW \\ \text{Suma distanțelor relative pe axa X (SumXrel)} &= (X_{i+1}-X_i) / FW \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{Relative sum distance in Y axis (SumYrel)} &= (Y_{i+1}-Y_i) / FL \\ \text{Suma distanțelor relative pe axa Y (SumYrel)} &= (Y_{i+1}-Y_i) / FL \end{aligned} \quad (6)$$

Statistical Analyses

In this part we used three analytical methods, One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test, T test and reliability analyses. One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test was used to test if the data followed the normal distribution; then T test was used to test if the data had significant differences between the two feet. Afterward reliability was evaluated. Suggested by Hopkins, 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). ICC is calculated by the SPSS software with

Prelucrarea datelor

Orice parametru COPi a fost calculat prin coordonare în direcțiile X și Y (X_i , Y_i) (Figura 1), incluzând timpul, prin urmare, pe baza coordonării, s-a putut calcula vibrația minimă și maximă pe axele X (X_{min} și X_{max}) și Y (Y_{min} și Y_{max}). Partea laterală a fost definită ca direcție pozitivă, în timp ce partea mediană a fost definită ca direcție negativă. De altfel, lungimea piciorului (FL) și lățimea piciorului (FW) au fost, de asemenea, folosite pentru normalizare. FL a fost definită ca fiind cea mai lungă distanță dintre degete și călcâi din imaginile distribuției presiunii plantare; în timp ce FW a fost cea mai mare distanță în zona antepiciorului. Procedurile de normalizare a abaterii, vitezei și suma distanțelor sunt prezentate mai jos:

Analize statistice

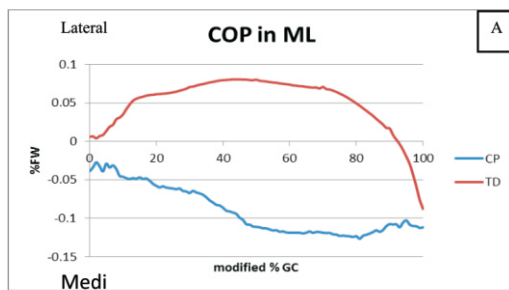
În această parte am utilizat trei metode analitice, testul Kolmogorov-Smirnov cu un eșantion, testul t și analiza fiabilității. Testul Kolmogorov-Smirnov cu un eșantion a fost utilizat pentru a vedea dacă datele urmează distribuția normală; apoi testul t a fost utilizat pentru a determina dacă există diferențe semnificative între cele două picioare. După aceea s-a evaluat fiabilitatea. Potrivit lui Hopkins, a fost necesară calcularea erorii tipice și a fiabilității retestării, unde eroarea tipică trebuia normalizată pentru a face comparații în cadrul grupurilor. 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). ICC este calculat de către software-ul SPSS cu un nivel de

significance level of 0.05 and confidence interval of 95%. The ICC's evaluation standard is: $ICC < 0.5$, poor reliability; $0.5 < ICC < 0.75$, medium reliability; $ICC > 0.75$, good reliability. Finally, differences between the CP and TD were explored by independent T test; whereas variances within age groups were evaluated by One-Way ANOVA. At last, the point line of CP and TD in anterior-posterior direction (AP) and medial-lateral (ML) direction were filtered and normalized into 100 points and comparisons were made. 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 AND DISCUSSION

Differences within the Gait Cycle (Figure 2)

In the ML direction, COP of CP significantly shifted medially throughout the whole gait cycle; while that of TD moved lateral at the early and middle stance phase and it transferred toward medially at the 70% gait cycle till toe off. In the AP direction COP of CP moved near than that of TD.



semnificație de 0,05 și interval de încredere de 95%. Standardul de evaluare a ICC indică faptul că la $ICC < 0,5$, fiabilitatea este slabă; la $0,5 < ICC < 0,75$, fiabilitatea este medie; la $ICC > 0,75$, fiabilitatea este bună. În cele din urmă, diferențele dintre subiecții PC și cei TD au fost explorate prin testul t independent, iar variațiile din cadrul grupelor de vârstă au fost evaluate prin analiza de varianță unifactorială (ANOVA). În cele din urmă, liniile de puncte la subiecții PC și TD în direcțiile antero-posterioară (AP) și medio-laterală (ML) au fost filtrate și normalizate la 100 de puncte și s-au făcut comparații. 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 ȘI DISCUȚII

Diferențele din ciclul de mers (Figura 2)

În direcția ML, COP la subiecții PC s-a deplasat median în mod semnificativ pe parcursul întregului ciclu de mers, în timp ce, la subiecții TD, s-a deplasat lateral în perioada de început și intermediară a fazei de pășire și s-a transferat median la 70% din ciclul de mers până la desprinderea degetelor. În direcția AP, COP la subiecții PC s-a deplasat mai aproape decât în cazul subiecților TD.

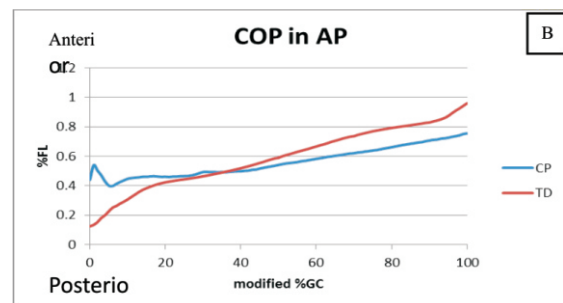


Figure 2. COP trajectories in ML (A) and AP (B) direction
Figura 2. Traiectoriile COP în direcțiile ML (A) și AP (B)

Differences between CP and TD in Terms of COP Parameters (Table 2)

Significant differences existed between CP and TD, with exception of Dyrel ($p=0.202 > 0.05$); further, Dxrel, Vxrel, Vyrel, SumXrel and SumYrel of CP were significantly larger than those of TD ($p=0.000 < 0.05$ for Dxrel, Vxrel, SumXrel and SumYrel; $p=0.001 < 0.05$ for Vyrel).

Diferențele dintre PC și TD cu privire la parametrii COP (Tabelul 2)

Au existat diferențe semnificative între grupele PC și TD, cu excepția parametrului Dyrel ($p=0,202 > 0,05$); în plus, parametrii Dxrel, Vxrel, Vyrel, SumXrel și SumYrel la subiecții PC au fost semnificativ mai mari decât cei ai grupei TD ($p=0,000 < 0,05$ pentru Dxrel, Vxrel, SumXrel și SumYrel; $p=0,001 < 0,05$ pentru Vyrel).

Table 2: Differences between CP and TD in terms of COP parameters
 Tabelul 2: Diferențele dintre CP și TD cu privire la parametrii COP

	Sample Eșantion	N	Mean Medie	Std. Deviation Abatere standard	Sig	Mean Difference Diferență medie	Std. Error Difference Eroare standard	95% Confidence Interval of the Difference Interval de încredere a diferenței de 95%	
								Lower Mai mic	Upper Mai mare
Dxrel	CP	36	0.34	0.09	0.000*	0.097	0.017	0.063	0.131
	TD	72	0.24	0.07					
Dyrel	CP	36	0.83	0.18	0.202	0.042	0.032	-0.023	0.107
	TD	72	0.79	0.12					
Vxrel	CP	36	1.30	0.56	0.000*	0.566	0.096	0.372	0.761
	TD	72	0.73	0.17					
Vyrel	CP	36	2.37	1.51	0.001*	0.913	0.254	0.398	1.427
	TD	72	1.46	0.28					
SumXrel	CP	36	0.94	0.31	0.000*	0.523	0.053	0.415	0.631
	TD	72	0.41	0.08					
SumYrel	CP	36	1.64	0.95	0.000*	0.825	0.159	0.502	1.149
	TD	72	0.82	0.12					

*significant differences were lower than 0.001

*diferențele semnificative au fost mai mici decât 0,001

Table 3: Reliability of each COP variable based on five measurements
 Tabelul 3: Fiabilitatea fiecărei variabile COP pe baza a cinci măsurători

Variables Variabile	Groups Grupe	Mean Medie	Residual Media pătrată a reziduurilor	CoV	ICCave	95% CI Interval încredere 95%		Sig.
						Lower Mai mic	Upper Mai mare	
Dxrel	CP	1.8	0	9.20%	0.739	0.501	0.884	0.00*
	TD	0.8	0	8.70%	0.753	0.476	0.554	0.00*
Dyrel	CP	4.4	0.1	5.10%	0.503	0.048	0.778	0.02*
	TD	2.4	0	4.80%	0.562	0.361	0.456	0.00*
Vxrel	CP	7.5	0.9	12.40%	0.455	-0.042	0.757	0.03*
	TD	2.1	0	8.70%	0.623	0.516	0.588	0.00*
Vyrel	CP	12.6	2.3	12.20%	0.771	0.562	0.898	0.00*
	TD	4.1	0.1	5.60%	0.78	0.557	0.623	0.00*
SumXrel	CP	5.4	0.2	9.10%	0.291	-0.356	0.684	0.15
	TD	1.3	0	7.30%	0.576	0.434	0.519	0.00*
SumYrel	CP	9.2	1.3	12.40%	0.683	0.393	0.858	0.00*
	TD	2.4	0	4.90%	0.721	0.239	0.352	0.00*

Reliability Analysis (Table 3)

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

Analiza fiabilității (Tabelul 3)

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

terms of CP children, CoV of all COP variables were <13%, which indicated a good repeatability; whereas, excepting with Vyrel whose ICC was $0.77 > 0.75$ and exhibited with a good reliability, ICC of Dxrel, Dyrel and SumYrel were between $0.5 \sim 0.75$; then was Vxrel and SumXrel recording with a poor reliable data ($ICC < 0.5$). In terms of TD group, CoV of all variables were lower than 9% and their ICC were larger than 0.75, with exception of Dyrel, Vxrel and SumXrel whose ICC was within 0.5 and 0.75.

Discussion

In this study, trajectories of COP of 18 CP and 36 TD matched with age, height and weight were measured by pressure plate and then COP parameters of CP and TD were compared, our results show that Dxrel, Vxrel, Vyrel, SumXrel and SumYrel of CP were significantly higher than those of TD; meanwhile COP of CP was always located at the medial side of foot which indicated a severe valgus and distances in AP of CP were smaller than that of TD. At last, a reasonable repeatability was obtained for CP, since their COV of Dxrel, Dyrel, Vxrel, Vyrel, SumXrel and SumYrel were overall <13%, whereas, with exception of ICC of Vxrel and SumXrel, ICC of Dxrel, Dyrel and SumYrel were higher than 0.5.

Current studies exhibited that CP usually performed with muscle weakness [17], motion limited [18], weakening of ankle [19], and stiff leg [20]. Besides, disadvantages in balance control and coordination were also reported [21]. Generally our research was consistent with the results of existing research. At first, Hsue et al. studied the time-spatial characteristics of COM-COP of CP participants and their finding showed a phenomenon of "walking by falling" [10]. 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 CP children and more time was consumed in the period of double stance phase in order to restore balance [22]. Similarly, in our study, COP trajectory in AP and ML direction of CP showed that in order to keep balance, COP shifted towards lateral side rapidly and the peak value was reached at the 50% of modified

datele ambelor picioare. În ceea ce privește copiii cu PC, coeficientul de variație (CoV) al tuturor variabilelor COP a fost <13%, ceea ce indică o bună repetabilitate; întrucât, cu excepția Vyrel al cărui ICC a fost $0,77 > 0,75$ și a prezentat o fiabilitate bună, ICC al Dxrel, Dyrel și SumYrel a fost cuprins între $0,5 \sim 0,75$; apoi s-au înregistrat Vxrel și SumXrel cu o serie de date puțin fiabile ($ICC < 0,5$). În ceea ce privește grupa TD, CoV al tuturor variabilelor a fost mai mic decât 9% și ICC a fost mai mare decât 0,75, cu excepția parametrilor Dyrel, Vxrel și SumXrel al căror ICC s-a încadrat între 0,5 și 0,75.

Discuții

În acest studiu s-au măsurat traiectoriile COP la 18 subiecți cu PC și 36 de subiecți cu dezvoltare normală, având vârsta, înălțimea și greutatea similare, utilizând platforma de presiune și s-au comparat apoi parametrii COP ai grupelor PC și TD. Rezultatele noastre arată că parametrii Dxrel, Vxrel, Vyrel, SumXrel și SumYrel ai grupei PC au fost semnificativ mai mari decât cei ai grupei TD; pe de altă parte, COP pentru grupa PC s-a situat întotdeauna în partea mediană a piciorului, ceea ce a indicat o deformație severă în *valgus*, iar distanțele în partea antero-posterioară la grupa PC au fost mai mici decât cele din grupa TD. În cele din urmă, s-a obținut o repetabilitate rezonabilă pentru PC, întrucât CoV al parametrilor Dxrel, Dyrel, Vxrel, Vyrel, SumXrel și SumYrel a fost în general <13%, în timp ce, cu excepția ICC al Vxrel și SumXrel, ICC al parametrilor Dxrel, Dyrel și SumYrel a fost mai mare decât 0,5.

Studiile actuale indică faptul că subiecții cu PC prezintă, de regulă, slăbiciune musculară [17], mișcare limitată [18], slăbirea gleznei [19] și picior rigid [20]. În plus, s-au raportat, de asemenea, dezavantaje în controlul echilibrului și coordonare [21]. În general, studiul nostru a fost în acord cu rezultatele cercetărilor existente. În primul rând, Hsue și colab. au studiat caracteristicile de timp și spațiu ale COM-COP la subiecții cu PC și constatările acestora au indicat un fenomen de „mers prin cădere” [10]. Ei au sugerat, de asemenea, că, spre deosebire de subiecții TD, al căror corp a fost într-o stare de dezechilibru dinamic și a devenit stabil în faza de sprijin dublu, din cauza mușchilor slăbiți ai membrilor inferioare, centrul de greutate corporală s-a situat mai jos la copiii cu PC și s-a consumat mai mult timp în perioada fazei de sprijin dublu, pentru a reveni în starea de echilibru [22]. În mod similar, în studiul nostru, la subiecții cu PC, traiectoria COP în direcțiile AP și ML a indicat la început că, pentru a menține echilibrul, COP s-a deplasat rapid spre partea laterală și valoarea maximă a fost atinsă la 50% din ciclul de mers modificat. Apoi s-a menținut

gait cycle. It then has kept the valgus status throughout the gait cycle. In contrast, TD showed that after a short period of heel valgus, COP moved fast towards lateral side and finally became valgus in the toe off, where its tendency was confirmed in the study of Zhou et al. [23].

Furthermore, C. Stackhouse et al. [19] contrasted differences of motor control in the gait initiation stage between CP and TD. Their outcomes of sacral shifting in the downward was smaller than that of their counterparts and this finding implied that CP child was more cautious in their first step of walking. In terms of motion in AP, Hsue et al. [10] pointed out that a small range of motion of COP of CP in AP was found and this was attributed by attenuated force generation and muscle control at ankle and thigh; additionally, they also demonstrated that acceleration of COP was promoted at the late phase of single support and beginning of double support phase and they suggested this was caused by the ankle plantar flexion of swing foot. Our results displayed that although the deviation of COP of CP at AP was smaller than that of TD, SumYrel of CP was two times larger than the one of TD. This finding suggested that COP of CP was with a faster shifting speed and longer duration whilst the whole gait cycle, particularly at the double support phase.

Besides, outcomes of COP of CP were approved to be reliable and repeatable and CoV of all variables were lower than 13%; whereas with exception of Vxrel and SumXrel, ICC of Dxrel, Dyrel and SumYrel were demonstrated to be moderate to good. Thereby, it was further proved that pressure plate was a reliable protocol in the CP study [24].

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 COP's shifting velocity; 2) a small sample strategy was adopted in this study and this might contribute to a larger variation range of data.

CONCLUSION

Overall, features of CP in balance control were summarized below:

starea de *valgus* pe parcursul ciclului de mers. În contrast, grupa TD a arătat că, după o perioadă scurtă de poziționare în *valgus* în zona călcâiului, COP s-a deplasat rapid spre partea laterală și în cele din urmă a ajuns în poziția *valgus* în faza de desprindere a degetelor, această tendință fiind confirmată în studiul lui Zhou și colab. [23].

În plus, C. Stackhouse și colab. [19] au comparat diferențele de control al mișcării în faza de inițiere a mersului la subiecții cu PC și TD. Rezultatele lor au evidențiat că deplasarea sacrală în jos a fost mai mică decât cea a omologilor lor, iar această descoperire a sugerat că subiecții cu PC au fost mai prudenți la efectuarea primului pas. În ceea ce privește mișcarea în direcția antero-posterioară, Hsue și colab. [10] au găsit o gamă restrânsă de mișcare a COP la subiecții cu PC în direcția antero-posterioară și acest lucru a fost atribuit generării de forțe atenuate și controlului muscular slab la glezne și coapse; în plus, ei au demonstrat că accelerarea COP a fost facilitată în faza târzie de sprijin unic și la începutul fazei de sprijin dublu și au sugerat că acest lucru a fost cauzat de flexia plantară a gleznei piciorului în balans. Rezultatele noastre au arătat că, deși abaterea COP la subiecții PC în direcția AP a fost mai mică decât cea din grupa TD, parametrul SumYrel la grupa PC a fost de două ori mai mare decât cel al grupei TD. Această constatare a sugerat că COP la subiecții cu PC a avut o viteză de deplasare mai mare și o durată mai lungă, pe parcursul întregului ciclu de mers, în special în faza de sprijin dublu.

Pe lângă aceasta, rezultatele cu privire la COP la subiecții cu PC s-au dovedit a fi sigure și repetabile, iar CoV al tuturor variabilelor a fost mai mic decât 13%; pe de altă parte, cu excepția Vxrel și SumXrel, ICC al parametrilor Dxrel, Dyrel și SumYrel s-a dovedit a fi moderat până la bun. Prin urmare, s-a dovedit în continuare că utilizarea platformei de măsurare a presiunii a fost fiabilă în studiul subiecților cu PC [24].

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 posibil corelat cu viteza de deplasare a COP; 2) în acest studiu s-a adoptat strategia de a efectua măsurătorile pe un eșantion mic, și acest lucru ar putea contribui la o mai mare variabilitate a datelor.

CONCLUZII

În general, caracteristicile copiilor cu PC în ceea ce privește controlul echilibrului au fost următoarele:

(1) Dxrel of CP was significantly larger than that of TD; CP made foot valgus during walking;

(2) Both SumXrel and SumYrel of CP were significantly larger than those of TD, therefore CP required a longer contact time to keep balance, in order to handle the extra force attributed from COP offset during walking;

(3) Both Vxrel and Vyrel of CP were significantly larger than those of TD, so that fast balance adjust could be achieved.

(1) Dxrel la grupa PC a fost semnificativ mai mare decât la grupa TD; copiii cu PC au avut piciorul în poziție valgus în timpul mersului;

(2) Atât SumXrel, cât și SumYrel la grupa PC au fost semnificativ mai mari decât la grupa TD, prin urmare, subiecții cu PC au avut nevoie de un timp de contact mai lung pentru a-și păstra echilibrul, pentru a putea face față forței suplimentare atribuite compensării COP în timpul mersului;

(3) Atât Vxrel, cât și Vyrel la grupa PC au fost semnificativ mai mari decât la grupa TD, astfel încât s-a putut ajunge rapid în starea de echilibru.

REFERENCES

1. Sorsdahl, A.B., Moe-Nilssen, R., Strand, L.I., *Gait Posture*, **2008**, 27, 43–50.
2. Chen, L., Li, S., Wang, J., Shi, L., *Chin J Sports Med*, **2012**, 31, 4, 303-307.
3. Kirtley, C., *Clinical Gait Analysis*, Churchill Livingstone, **2006**, 299-301.
4. Wallard, L., Dietrich, G., Kerlirzin, Y., Bredin, J., *Gait Posture*, **2014**, 40, 1, 43-47.
5. Ledebt, A., Bril, B., Breniere, Y., *Exp Brain Res Nurs Health*, **1998**, 120, 9-17.
6. Brenière, Y., Bril, B., *Exp Brain Res*, **1998**, 121, 3, 255-262.
7. Liao, H.F., Mao, P.J., Hwang, A.W., *Dev Med Child Neurol*, **2001**, 43, 180-6.
8. Rose, J., Wolff, D.R., Jones, V.K., Bloch, D.A., Oehlert, J.W., Gamble, J.G., *Dev Med Child Neurol*, **2002**, 44, 58–63.
9. Ferdjallah, M., Harris, G.F., Smith, P., Wertsch, J.J., *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, **2002**, 17, 203-210.
10. Hsue, B.J., Miller, F., Su, F.C., *Gait Posture*, **2009**, 29, 3, 465-470.
11. Corriveau, H., Hebert, R., Prince, F., Raiche, M., *Arch Phys Med Rehabil*, **2000**, 81, 45–48.
12. Corriveau, H., Prince, F., Hebert, R., Raiche, M., Tessier, D., Maheux, P., Ardilouze, J.L., *Diabetes Care*, **2000**, 23, 1187–91.
13. Hudson, C.C., Krebs, D.E., *Exp Brain Res*, **2000**, 132, 1, 103–13.
14. Hsue, B.J., Miller, F., Su, F.C., *Gait Posture*, **2009**, 29, 3, 471-476.
15. Hopkins, W.G., *Sports Medicine*, **2000**, 30, 1, 1-15.
16. Hopkins, W.G., Applications of Reliability [cited 2012 April 2]; Available from: <http://sports.org/resource/stats/generalize.html>
17. Wiley, M.E., Damiano, D.L., *Dev Med Child Neurol*, **1998**, 40, 100–7.
18. Mutsaerts, M., Steenbergen, B., Bekkering, H., *Motor Control*, **2005**, 9, 439–58.
19. Stackhouse, S.K., Binder-Macleod, S.A., Lee, S.C., *Muscle Nerve*, **2005**, 31, 594–601.
20. Fonseca, S.T., Holt, K.G., Saltzmann, E., Fetters, L., *Clin Biomech*, **2001**, 16, 793–805.
21. Abel, M., *J Pediatr Orthop B*, **1989**, 9, 4, 485.
22. Winter, D.A., Prince, F., Frank, J.S., Powell, C., Zabjek, K.F., *J Neurophysiol*, **1996**, 75, 2334–43.
23. Zhou, J., Li, T., Xu, B., Chen, W., *Revista de Pielarie Incaltaminte (Leather and Footwear Journal)*, **2015**, 15, 1, 3-14.
24. 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.

Article received/Data primirii articolului: 09.12.2015

Accepted/Acceptat la data: 17.03.2016