

INFLUENCE OF TREADS GROOVE, HARDNESS AND CONTAMINANTS ON THE SLIP RESISTANCE OF OUTSOLE OF HIGH-HEELED SHOES

INFLUENȚA CANELURILOR, DURITĂII ȘI CONTAMINANȚILOR ASUPRA REZistențEI LA ALUNECARE A TĂLPIILOR PANTOFILOR CU TOC ÎNALT

Ying SONG^{1,2}, Haojun FAN^{1,2}, Bo XU^{1,2}, Sijia REN¹, Jianxin Wu³, Jin ZHOU^{1,3*}

¹National Engineering Laboratory for Clean Technology of leather Manufacture, Sichuan University, Chengdu 610065, P.R. China

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

INFLUENCE OF TREADS GROOVE, HARDNESS AND CONTAMINANTS ON THE SLIP RESISTANCE OF OUTSOLE OF HIGH-HEELED SHOES

ABSTRACT. The aim of this study was to explore the interaction effects of hardness (75A, 80A, 90A), structures of tread groove (spacing, width, depth and orientation) and contaminants (dry, wet and vegetable oil) on coefficient of friction (COF) of TPU outsole of high-heeled shoe, by application the SATRA whole shoe tester with normalized ceramic tile. Results of univariate analysis show that (1) in the dry condition, orientation of tread groove was the main factor impacting the COF of TPU outsole; (2) 'Orientation * contaminant', 'Hardness * contaminant' and 'Orientation * hardness * contaminant' had significant interaction impact on COF; (3) COF at the hardness of 80A was lower than that of 70A and 90A in the dry condition; while, those in the wet and oil conditions were controversial. Overall, variables of hardness, contaminant and orientation of tread groove were main influence factors in terms of slip resistance.

KEY WORDS: coefficient of friction; hardness; contaminants; tread groove

INFLUENȚA CANELURILOR, DURITĂII ȘI CONTAMINANȚILOR ASUPRA REZistențEI LA ALUNECARE A TĂLPIILOR PANTOFILOR CU TOC ÎNALT

REZUMAT. Scopul acestui studiu a fost acela de a explora efectele interacțiunii dintre duritate (75A, 80A, 90A), structura canelurilor tălpilor (distanță, lățime, adâncime și orientare) și contaminanți (uscat, cu apă și cu ulei vegetal) asupra coeficientului de frecare (COF) al tălpilor din TPU la pantofii cu toc înalt, utilizând dispozitivul SATRA pentru testarea întregului pantof cu plăci ceramice normalizate. Rezultatele analizei univariante arată că: (1), în stare uscată, orientarea canelurilor reprezintă principalul factor care a influențat COF al tălpilor din TPU; (2) combinațiile „Orientare * contaminant”, „Duritate * contaminant” și „Orientare * duritate * contaminant” au avut un impact semnificativ asupra COF; (3) COF la duritatea 80A a fost mai mic decât în cazul durităților 70A și 90A în stare uscată, iar valorile obținute în condiții de contaminare cu apă și cu ulei au fost controversate. În general, duritatea, contaminanții și orientarea canelurilor au reprezentat principali factori care influențează rezistența la alunecare.

CUVINTE CHEIE: coeficient de frecare; duritate; contaminanți; canelură

L'INFLUENCE DES RAINURES, DE LA DURETÉ ET DES CONTAMINANTS SUR LA RÉSISTANCE AU GLISSEMENT DES SEMELLES DE CHAUSSURES À TALONS HAUTS

RÉSUMÉ. Le but de cette étude a été d'étudier les effets de l'interaction de la dureté (75A, 80A, 90A), de la structure de rainures (distance, largeur, profondeur et orientation) et des contaminants (sec, humide et huile végétale) sur le coefficient de frottement (COF) des semelles de TPU de chaussures à talon haut, par l'application du testeur de la chaussure entière SATRA aux carreaux de céramique normalisés. Les résultats de l'analyse univariée montrent que : (1) à l'état sec, l'orientation des rainures a été le principal facteur impactant le COF des semelles de TPU ; (2) les combinaisons "Orientation * contaminant", "Dureté * contaminant" et "Orientation * dureté * contaminant" ont eu un impact significatif sur le COF ; (3) COF pour la dureté 80A a été inférieur à la dureté 70A et 90A à l'état sec, et les valeurs obtenues dans des conditions de contamination de l'eau et de l'huile ont été controversées. Généralement, la dureté, les contaminants et l'orientation des rainures ont été les principaux facteurs qui influencent la résistance au glissement.

MOTS CLÉS: coefficient de frottement, dureté, contaminants, rainure

* 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

Incidences such as slip and fall are common in both workplaces and leisure activities [1]. It was reported [2] that in the UK, 20% of injury accidents were on account of the slip; while, those happened in the US were 20% in family, 18% in public places and 17% in industry [3]. Non-slip could be defined as the ability of a material to overcome the slip [4] and it is quantified by the coefficient of friction (COF). The higher COF, the better slip resistance. Since outsole is the only shoe part in contact with the ground, it is critical to explore the correlation between the characteristics of outsole and the COF, so as to build a guidance of safety while designing the outsole.

Key parameters of outsole can be summarized in the aspects of materials, structure of tread groove and hardness, where the structure of tread groove was represented with beveled edge, microscopic and macroscopic roughness, width, depth, orientation and contact area [1, 5-10]. Moreover, external environment, including pavement materials and contaminants, was a potential factor contributing to the accident of slip.

In current literature, correlations between the characteristics of outsole and the COF were studied. Gronqvist [11] assessed the slip resistance on contaminated floors using new and used safety shoes with rectangular, waveform, and triangular sole tread patterns and he suggested that reasonable design of tread groove was an effective approach in the dispersion of contaminants, by which potential ability of outsole in terms of slip resistance was promoted [9, 12-14]. Research of Leclercq *et al.* [12] showed that patterns of tread significantly affected the COF on the dry and contaminated conditions. Further, Tisserand [13] pointed out that treaded sole achieved a higher COF than that of smooth one on a dry smooth floor while loading hydrodynamic pressure; his finding also suggested that the tread groove on the sole should be long enough to drain liquids away from the maximum pressure areas under foot. Strandberg [15] also indicated that the texture and pattern on the sole should allow contaminants flow between their cavities and away from the contact surfaces to speed up the squeeze-film process. Li *et al.* [1, 7-8] discussed

INTRODUCERE

Accidente legate de alunecare și cădere sunt comune la locurile de muncă și în activitățile de petrecere a timpului liber [1]. S-a raportat [2] că în Marea Britanie 20% din accidente au avut loc din cauza alunecării; în timp ce, în SUA, 20% din accidente au avut loc în familie, 18% în locuri publice și 17% în industrie [3]. Antideraparea poate fi definită ca fiind capacitatea unui material de a preveni alunecarea [4] și este cunoscătoare prin coeficientul de frecare (COF). Cu cât este mai mare COF, cu atât mai bună este rezistența la alunecare. Întrucât talpa exterioară este singura componentă a pantofului care vine în contact cu solul, este esențial să se analizeze corelația dintre caracteristicile tălpilor și COF, în vederea elaborării unor linii directoare cu privire la siguranță la proiectarea tălpilor.

Parametrii cheie ai tălpilor cuprind materialele, structura canelurilor și duritatea, iar structura canelurilor a fost caracterizată prin marginea teșită, asperități microscopic și macroscopice, lățime, adâncime, orientare și zona de contact [1, 5-10]. Mai mult decât atât, mediul extern, inclusiv materialele de pavaj și contaminanții, reprezintă un potențial factor care contribuie la alunecare.

În literatura actuală există studii ale corelațiilor dintre caracteristicile tălpilor și COF. Gronqvist [11] a evaluat rezistența la alunecare pe pardoseli contaminate, utilizând încălțăminte de protecție nouă și folosită, cu caneluri dreptunghiulare, în formă de undă și triunghiulare și a sugerat că designul adecvat al canelurilor de pe suprafața tălpilor este o abordare eficientă în dispersia contaminanților, promovând capacitatea potențială a tălpilor exterioare de a mări rezistența la alunecare [9, 12-14]. Cercetările lui Leclercq și colab. [12] au arătat că modelul canelurilor a afectat în mod semnificativ COF în condiții uscate și contaminate. În plus, Tisserand [13] a subliniat faptul că talpa cu caneluri a atins o valoare COF mai mare decât cea netedă pe o podea netedă și uscată în condiții de presiune hidrodinamică; constatării lui au sugerat, de asemenea, că canelurile tălpilor trebuie să fie suficient de lungi pentru a permite scurgerea lichidelor din zonele de presiune maximă ale piciorului. Strandberg [15] a indicat, de asemenea, faptul că textura și modelul tălpilor trebuie să permită scurgerea

the influence of structures of tread groove on available friction. They first modified the grooves into four widths (3, 6, 9, and 12 mm), five depths (1 to 5 mm in 1 mm increments) and three orientations (parallel, perpendicular and oblique to direction of motion); then they contrasted the variations of COF on three floor surfaces (vinyl, terrazzo and steel) with contaminants of water, detergent and oily, respectively.

However, limitations existed in the current studies: (1) materials used in the above were mainly rubber, which is known as a material with nature of good slip resistance; but ability of slip resistance in soling materials such as thermoplastic polyurethanes (TPU) which was largely applied in the shoemaking industry was not obtained; (2) interaction effects within width, depth, spacing between two grooves and orientation were not systematically assessed in terms of whole shoe test; (3) varied hardness and their abilities in slip resistance were not considered in the current knowledge; (4) high-heeled shoes is in nature of fashion and artistic and it is popular in the female population. However, defects such as the less contact area between shoe and ground and increasing instability as heel heighted [16] contributed to a high probability of slip and fall. Unfortunately, rare studies assessed the COF of soling of high-heeled shoe.

Therefore, our study aimed to explore the interaction effects of hardness (75A, 80A, 90A), structures of tread groove (spacing, width, depth and orientation) and contaminants (dry, wet and vegetable oil) on COF of TPU outsole of high-heeled shoe, by application the SATRA STM 603 whole shoe tester with normalized ceramic tile. Two hypotheses were assumed: (1) impacts of structures of tread groove on the COF were significant; (2) hardness was an important variable determining the COF of TPU soling.

METHOD

Experimental Environment

This study was conducted in the laboratory with the temperature and relative humidity of 20.0°C and 60% RH, respectively.

contaminanților dintre cavitățile tălpii și departe de suprafețele de contact pentru a accelera procesul de expulzare a fluidului. Li și colab. [1, 7-8] au discutat despre influența structurilor canelurilor asupra frecării existente. Aceștia au modificat mai întâi canelurile, obținând patru lățimi (3, 6, 9 și 12 mm), cinci adâncimi (de la 1 până la 5 mm în trepte de 1 mm) și trei orientări (paralelă, perpendiculară și oblică pe direcția de mișcare); apoi au comparat variațiile COF pe trei suprafete de podea (vinil, terrazzo și oțel), utilizând contaminanți precum apa, detergentul și uleiul.

Cu toate acestea, au existat limitări în studiile actuale: (1) materialele utilizate în studiile de mai sus au constat în principal din cauciuc, cunoscut ca material cu rezistență bună la alunecare, dar nu s-a studiat rezistența la alunecare a altor materiale pentru tălpi, cum ar fi poliuretanii termoplastici (TPU), aplicați pe scară largă în industria încălțămintei; (2) efectele interacțiunii dintre lățime, adâncime, distanța dintre două caneluri și orientare nu au fost evaluate în mod sistematic, testând pantoful în ansamblu; (3) nu s-a luat în considerare duritatea variabilă și contribuția acesteia la rezistența la alunecare; (4) pantofii cu toc înalt sunt la modă și sunt foarte îndrăgiți de populația de sex feminin. Cu toate acestea, caracteristici precum zona de contact mai mică dintre pantof și sol și creșterea instabilității pe măsură ce crește înălțimea tocului [16] au contribuit la o probabilitate mare de alunecare și cădere. Din păcate, foarte puține studii au evaluat COF al tălpilor pantofilor cu toc înalt.

Prin urmare, studiul nostru a avut ca scop explorarea efectelor interacțiunii dintre duritate (75A, 80A, 90A), structura canelurilor (distanță, lățime, adâncime și orientare) și contaminanți (uscat, cu apă și cu ulei vegetal) asupra COF al tălpilor din TPU la pantofii cu toc înalt, utilizând dispozitivul SATRA STM 603 pentru a testa pantoful întreg cu plăci ceramice normalize. S-au emis două ipoteze: (1) impactul structurii canelurilor asupra COF este semnificativ; (2) duritatea este o variabilă importantă care determină COF al tălpilor din TPU.

METODĂ

Mediu experimental

Acest studiu a fost efectuat în laborator, în condiții de temperatură de 20,0°C și umiditate relativă de 60% RH.

Devices and Settings

The COF between the soles and the floors was measured by SATRA STM 603 whole shoe tester with normalized ceramic tile. It uses a stationary high-heeled shoe last with a pneumatically driven 400 N normal load. The floor slides underneath the shoe at a constant velocity and a force transducer measures the shear force during foot slide. The hardness of TPU were measured using the LX-A, measuring range: 0~100 HA, head-trip: 2.5 mm, size of pressing head: Φ0.79 mm, dimension: 115*60*25 mm. Available friction testing followed the guidelines established in EN ISO 13287 [17] and the similar ASTM F2913 [18].

Shoes for Testing

In this study, three kinds of hardness (75A, 80A, 90A), four orientations of tread groove changing in width, depth or spacing (orientation relative to motion: parallel (D1), oblique (D2), perpendicular (D3) and cross-shaped (D4); width: 2 mm (width-2), 4 mm (width-4), 6 mm (width-6), 8 mm (width-8), 11 mm (width-11), 17 mm (width-17); depth: 1 mm (depth-1), 2 mm (depth-2) and 3 mm (depth-3); spacing between grooves: 1 mm (space-1), 2 mm (space-2), 4 mm (space-4) and 6 mm (space-6), all the types were made into shoes with 75 mm heel height. Definitions of orientations of tread groove were shown in the Figure 1.

Aparatură și setări

COF dintre talpă și sol a fost măsurat cu dispozitivul SATRA STM 603 cu placă ceramică normalizată. Acesta folosește un pantof staționar cu toc înalt cu o sarcină normală de 400 N actionată pneumatic. Podeaua aluneca sub pantof la o viteză constantă, iar forța de forfecare în momentul alunecării este măsurată cu un traductor de forță. Duritatea TPU a fost măsurată utilizând dispozitivul LX-A, domeniul de măsurare: 0~100 HA, adâncime penetrare: 2,5 mm, dimensiunea capului de presare: Φ0,79 mm, dimensiune: 115*60*25 mm. Testarea frecării existente a urmat liniile directoare stabilite în EN ISO 13287 [17] și în standardul similar ASTM F2913 [18].

Încălțăminte de testat

În acest studiu, s-au realizat pantofi cu toc înalt de 75 mm, utilizând trei tipuri de duritate (75A, 80A, 90A), patru orientări ale canelurilor cu diferite lățimi, adâncimi sau spațieri (orientare în raport cu direcția de mișcare: paralelă (D1), oblică (D2), perpendiculară (D3) și în formă de cruce (D4); lățime: 2 mm (width-2), 4 mm (width-4), 6 mm (width-6), 8 mm (width-8), 11 mm (width-11), 17 mm (width-17); adâncime: 1 mm (depth-1), 2 mm (depth-2) și 3 mm (depth-3); distanța dintre caneluri: 1 mm (space-1), 2 mm (space-2), 4 mm (space-4) și 6 mm (space-6). Orientările canelurilor sunt prezentate în Figura 1.

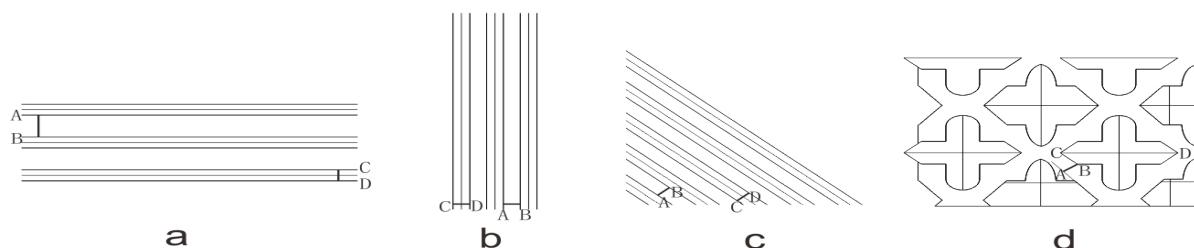


Figure 1. The definition of structures of tread groove (a: parallel orientation; b: perpendicular orientation; c: oblique orientation; d: cross-shaped orientation; AB section: the spacing between grooves; CD section: width)

Figura 1. Definirea structurilor canelurilor (a: orientare paralelă; b: orientare perpendiculară; c: orientare oblică; d: orientare în formă de cruce; secțiune AB: spațiul dintre caneluri; secțiune CD: lățimea canelurilor)

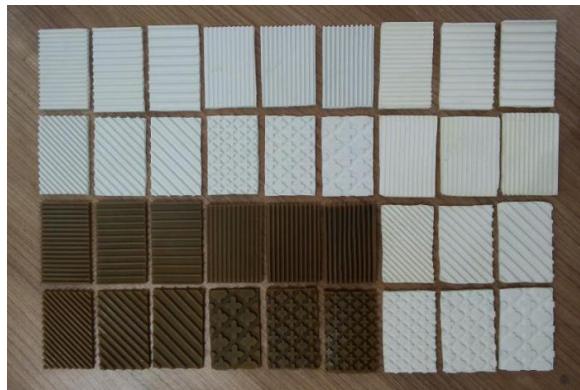


Figure 2. Different structures of tread groove used in the tests and the experimented shoe
Figura 2. Diferite structuri ale canelurilor folosite în cadrul experimentelor și încălțăminte testată

Contaminant Conditions

There were three contaminant conditions tested in the experiment: dry, wet and oil. In the wet condition, water was applied and replenished on the footwear pad striking area during repeated strikes. The amount of water for each replenishment was 10 ml to build up a thickness determined by surface tension. In the oil condition, 10 ml of vegetable oil was brushed onto the floor to duplicate oil spillage conditions. The thickness of the oil on the floor, in this condition, was controlled by the surface tension. All contaminants were removed from the floor and the footwear pad using absorbent papers after each experimental condition measurement. The floor and the footwear pad were blown dry using a hair drier after the cleaning process.

Test Procedure

All the models of high-heeled shoes were tested in three contaminant conditions individually, where random seeds were randomly arranged. At least five successful measures were made for each trial.

Data Processing and Statistical Analysis

Five measures of each test were first averaged; then One-Sample Kolmogorov-Smirnov confirmed that all data followed the normal distribution. Univariate analysis was applied to explore the interaction effect of width/depth/spacing/orientation of tread groove, outsole hardness and contaminants on the COF. COF was considered as dependent variable;

Condiții de contaminare

În cadrul experimentului s-au testat trei condiții de contaminare: uscat, cu apă și cu ulei. În situația de contaminare cu apă, s-a aplicat apă în mod repetat în zona în care încălțăminte atinge solul. Cantitatea de apă a fost de 10 ml pentru fiecare reaprovisionare pentru a ajunge la grosimea determinată de tensiunea de suprafață. În situația de contaminare cu ulei, s-au aplicat cu o pensulă 10 ml de ulei vegetal pe podea pentru a simula condițiile unei scurgeri de ulei. Grosimea uleiului pe podea, în această condiție, a fost controlată de tensiunea superficială. După testarea fiecărei condiții experimentale, s-au îndepărtat toți contaminanții de pe sol și de pe talpa încălțăminte, folosind șervețele absorbante. După curățare, s-au uscat podeaua și talpa încălțăminte folosind un uscător de păr.

Procedura de testare

Toate modelele de pantofi cu toc înalt au fost testate individual în trei condiții de contaminare, în ordine aleatoare. S-au efectuat cel puțin cinci măsurători reușite pentru fiecare încercare.

Prelucrarea datelor și analiza statistică

Mai întâi s-a făcut media a cinci măsurători ale fiecărui test; apoi analiza One-Sample Kolmogorov-Smirnov a confirmat faptul că toate datele au urmat distribuția normală. S-a efectuat analiza univariată pentru a explora efectul interacțiunii dintre lățimea / adâncimea / spațierea / orientarea canelurii, duritatea tălpii și contaminanți asupra COF. COF a fost considerat

Table 1: The parameters of the tread groove

Tabelul 1: Parametrii canelurilor

Orientation <i>Orientare</i>	The structure of tread groove		
	Depth (mm) <i>Adâncime (mm)</i>	Parameters	
		<i>Parametrii Spacing (mm)</i>	<i>Lățime (mm)</i>
Parallel	2.0	2.0	2.0
	2.0	2.0	4.0
Paralelă	2.0	2.0	6.0
Perpendicular	1.0	2.0	2.0
	2.0	2.0	2.0
Perpendiculară	3.0	2.0	2.0
Oblique	2.0	2.0	2.0
	2.0	4.0	2.0
Oblică	2.0	6.0	2.0
Cross-shaped	2.0	1.1	8.4
	2.0	1.6	11.3
În formă de cruce	2.0	2.3	17.0

whereas, structures of treads groove, hardness and contaminants were deemed as independent factors. All the statistical models were operated under SPSS (22.0 V, SPSS Inc., Chicago, USA) with a significant level of 0.05 and 95% confidence interval.

RESULTS

In dry condition, COF of D2 with 75A was significantly lower than that of other three directions ($p = 0.000$ for D2 to D1; $p = 0.000$ for D2 to D3; $p = 0.006$ for D2 to D4); while D3 was recorded with a smaller COF than that of D3 ($p = 0.005$). There are no significant differences within four types of orientations in the hardness of 80A and 90A, respectively. Further, on the wet and oil floors, changes orientations of tread groove did not apparently affect the COF (Figure 2A). The impacts of depth (Figure 2B), width (Figure 2C) and spacing (Figure 2D) of tread grooves on COF were found to be less significant in condition of neither harness nor contaminants. Generally, COF at the hardness of 80A was lower than that of 70A and 90A in the dry condition ($p = 0.000$ for 70A vs. 80A; $p = 0.000$ for 80A vs. 90A; $p = 0.056$ for 70A vs. 90A); while, those in the wet and oil

variabilă dependentă, iar structura canelurilor, duritatea și contaminanții au fost considerați factori independenti. Toate modelele statistice au fost efectuate cu ajutorul programului SPSS (22.0 V, SPSS Inc., Chicago, SUA), cu un nivel de semnificație de 0,05 și un interval de încredere de 95%.

REZULTATE

În stare uscată, COF pentru orientarea D2 cu duritatea 75A a fost semnificativ mai mic decât în cazul celorlalte trei direcții ($p = 0,000$ pentru D2 față de D1; $p = 0,000$ pentru D2 față de D3; $p = 0,006$ pentru D2 față de D4); în cazul D3 s-a înregistrat o valoare a COF mai mică decât cea a D3 ($p = 0,005$). Nu există diferențe semnificative între cele patru tipuri de orientări în ceea ce privește durătările 80A și 90A. În plus, pe podeaua umedă și contaminată cu ulei, modificarea orientării canelurilor nu pare să fi afectat COF (Figura 2A). Impactul adâncimii (Figura 2B), lățimii (Figura 2C) și spațierii (Figura 2D) canelurilor asupra COF s-a dovedit a fi mai puțin semnificativ la variația durătății și a contaminanților. În general, COF la duritatea de 80A a fost mai mic decât în cazul valorilor 70A și 90A în stare uscată ($p = 0,000$ pentru 70A față de

conditions were controversial ($p = 0.000$ for 70A vs. 80A; $p = 0.000$ for 80A vs. 90A; $p = 0.036$ for 70A vs. 90A in wet condition; $p = 0.000$ for 70A vs. 80A; $p = 0.000$ for 80A vs. 90A; $p = 0.011$ for 70A vs. 90A in oil condition).

80A; $p = 0.000$ pentru 80A față de 90A; $p = 0.056$ pentru 70A față de 90A), în timp ce, în condițiile de contaminare cu apă și petrol, valorile COF au fost controverse (p = 0,000 pentru 70A față de 80A; p = 0,000 pentru 80A față de 90A; p = 0,036 pentru 70A față de 90A în stare umedă; p = 0,000 pentru 70A față de 80A; p = 0,000 pentru 80A față de 90A; p = 0,011 70A față de 90A în cazul contaminării cu ulei).

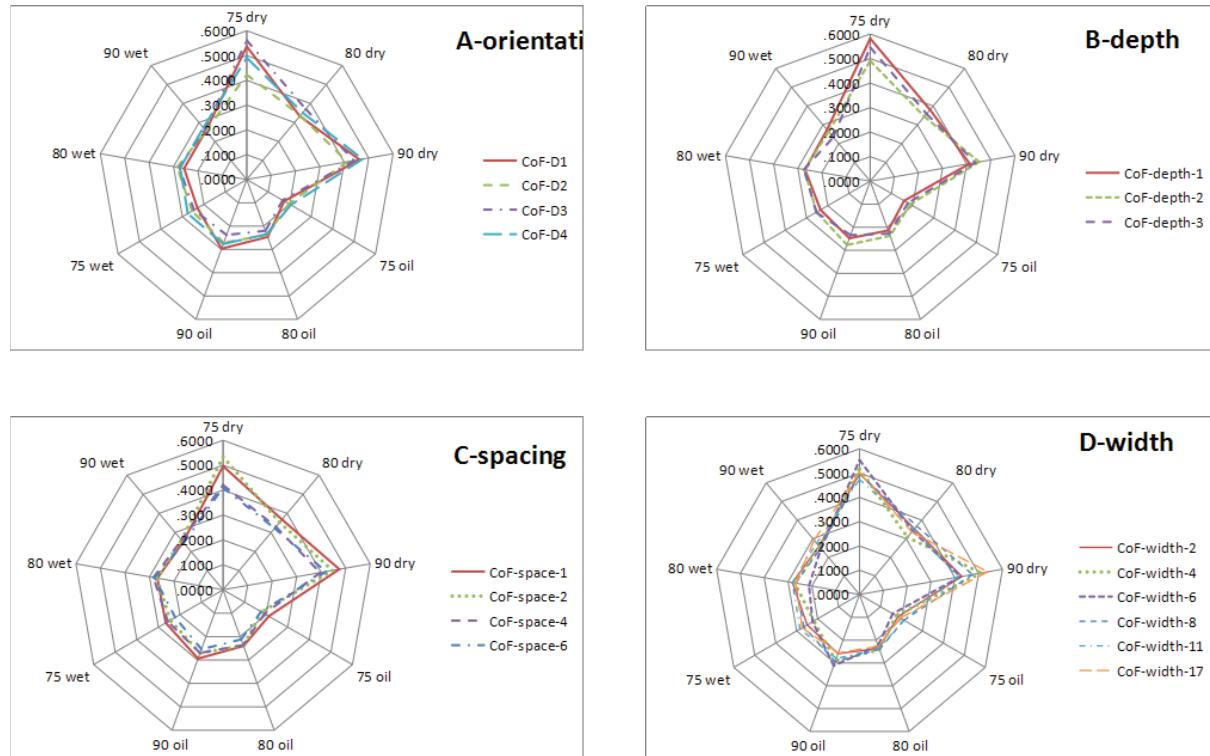


Figure 3. Radar plots of COF in each contaminant, hardness and tread groove condition.

(Each variable was composed of contaminant and hardness, such as that dry 75 means in the condition of dry and hardness of 75A; 'A' indicated the COF in condition of contaminant + hardness + orientation; 'B' indicated the COF in condition of contaminant + hardness + depth; 'C' indicated the COF in condition of contaminant + hardness + spacing; 'D' indicated the COF in condition of contaminant + hardness + width)

Figura 3. Diagrame radar ale COF pentru fiecare combinație de contaminant, duritate și tip de caneluri. (Fiecare variabilă a fost compusă din contaminant și duritate, astfel încât 75 dry înseamnă în stare uscată și cu duritate de 75A; A indică COF în situația contaminant + duritate + orientare; B indică COF în situația contaminant + duritate + adâncime; C indică COF în situația contaminant + duritate + lățime)

Findings of univariate analysis were shown in the Table 3. In terms of individual effect, variables of hardness ($p = 0.003 < 0.05$) and contaminant ($p = 0.000 < 0.001$) showed significant impacts on the COF of soling; while that of each variable of tread groove was recorded with low significant level in determining the COF. In terms of interaction effects, 'Orientation

Rezultatele analizei univariante au fost prezentate în Tabelul 3. În ceea ce privește efectele individuale, duritatea ($p = 0,003 < 0,05$) și contaminanții ($p = 0,000 < 0,001$) au un impact semnificativ asupra COF al tălpiei, în timp ce structura canelurilor a înregistrat un nivel de semnificație redus la determinarea COF. În ceea ce privește efectele interacțiunii, s-a dovedit că COF

* contaminant' ($p = 0.008 < 0.05$), 'Hardness * contaminant' ($p = 0.000 < 0.001$) and 'Orientation * hardness * contaminant' ($p = 0.000 < 0.001$) were found to be significantly affecting the COF.

este afectat în mod semnificativ de următoarele combinații: "Orientare * contaminant" ($p = 0,008 < 0,05$), "Duritate * contaminant" ($p = 0,000 < 0,001$) și "Orientare * duritate * contaminant" ($p = 0,000 < 0,001$).

Table 2: Outcomes of univariate analysis

Tabelul 2: Rezultatele analizei univariante

Source <i>Sursa</i>	dF	F	Sig.
Groove orientation <i>Orientarea canelurilor</i>	3	0.058	0.943
Groove depth <i>Adâncimea canelurilor</i>	2	0.085	0.919
Groove spacing <i>Spațierea canelurilor</i>	3	0.910	0.406
Groove width <i>Lățimea canelurilor</i>	5	0.411	0.664
Hardness <i>Duritate</i>	2	6.179	0.003*
Contaminant <i>Contaminant</i>	2	163.556	0.000**
Orientation * hardness <i>Orientare * duritate</i>	6	0.157	0.959
Orientation * contaminant <i>Orientare * contaminant</i>	6	3.931	0.008*
Depth * hardness <i>Adâncime * duritate</i>	4	0.253	0.906
Depth * contaminant <i>Adâncime * contaminant</i>	4	0.285	0.886
Spacing * hardness <i>Spațiere * duritate</i>	6	0.229	0.921
Spacing * contaminant <i>Spațiere * contaminant</i>	6	0.232	0.919
Width * hardness <i>Lățime * duritate</i>	10	0.920	0.461
Width * contaminant <i>Lățime * contaminant</i>	10	0.306	0.872
Hardness * contaminant <i>Duritate * contaminant</i>	4	57.991	0.000**
Orientation * depth * hardness <i>Orientare * adâncime * duritate</i>	12	0.426	0.789
Orientation * depth * contaminant <i>Orientare * adâncime * contaminant</i>	12	0.479	0.751
Orientation * spacing * hardness <i>Orientare * spațiere * duritate</i>	18	0.385	0.817
Orientation * spacing * contaminant <i>Orientare * spațiere * contaminant</i>	18	0.389	0.815
Orientation * width * hardness <i>Orientare * lățime * duritate</i>	30	1.547	0.212
Orientation * width * contaminant <i>Orientare * lățime * contaminant</i>	30	0.515	0.725
Orientation * hardness * contaminant <i>Orientare * duritate * contaminant</i>	12	26.992	0.000**

*: Significant level was lower than 0.05

**: Significant level was lower than 0.001

*: Nivelul de semnificație a fost mai mic decât 0,05

**: Nivelul de semnificație a fost mai mic decât 0,001

DISCUSSION

COF of TPU outsoles of high-heeled shoe with varied structures of tread groove and hardness were assessed by using the SATRA STM 603 whole shoe tester on three contaminant surfaces, so as to interpret the influence of the tread groove, hardness and contaminant on the slip resistance of TPU outsole. Totally our outcomes show in two aspects: (1) in the dry condition, orientation of tread groove was the main factor impacting the COF of TPU outsole; (2) 'Orientation * contaminant', 'Hardness * contaminant' and 'Orientation * hardness * contaminant' had significant interaction impact on COF; (3) COF at the hardness of 80A was lower than that of 70A and 90A in the dry condition; while, those in the wet and oil conditions were controversial.

It was not surprising in our study to obtain significant COF differences within these factors and similar outcomes were obtained in current literature. Chang [19, 20] has identified several factors affecting slip measurement: the material and roughness of the footwear and floor, floor contaminant conditions, and the slippometer used. They also indicated that the surface roughness affects the COF of the floor. A rougher floor surface generally leads to a higher COF. Afterwards, Li and Chen [1] assessed effect of shoe width of soling tread groove on the COF with different sole materials, floors, and contaminants by using Brungraber Mark II (BM II) slippometer. Their findings suggested that tread groove designs were helpful in facilitating contact between the shoe sole and floor on liquid contaminated surface.

In current knowledge, effectiveness of a tread groove design depended on the contaminant, footwear material and floor. The rate of contaminant dispersion was a function of the squeeze-film effect and this determinant of available friction was widely discussed [1, 6-8, 21]. The plowing of contaminant between grooves would likely create a high frequency slip-stick response [22] due to the build-up of force against the leading edge of the groove and the build-up of contaminant within the groove, rather than the constant sliding friction provided by oblique grooves. These conclusions were similar with ours. In this study, the effect of contaminants on the COF was significant;

DISCUȚII

S-a determinat COF al tălpilor din TPU la pantofii cu toc înalt, cu diferite structuri ale canelurilor și duritate variabilă, utilizând dispozitivul SATRA STM 603 pentru a testa trei suprafete contaminate, în vederea stabilirii influenței canelurilor, durătății și contaminantului asupra rezistenței la alunecare a tălpiei din TPU. Rezultatele arată trei aspecte: (1) în stare uscată, orientarea canelurilor a fost principalul factor cu impact asupra COF al tălpiei din TPU; (2) combinațiile „Orientare * contaminant”, „Duritate * contaminant” și „Orientare * duritate * contaminant” au avut un impact semnificativ asupra COF; (3) COF la duritatea 80A a fost mai mic decât în cazul durătăților 70A și 90A în stare uscată, iar valorile obținute în condiții de contaminare cu apă și cu ulei au fost controverse.

Faptul că în acest studiu s-au obținut diferențe semnificative ale COF pentru acești factori nu a fost surprinzător, având în vedere că studiile actuale au dus la rezultate similare. Chang și colab. [19, 20] au identificat mai mulți factori care afectează determinarea alunecării: materialul și rugozitatea încălțăminte și podelei, condițiile de contaminare a podelei și dispozitivul de măsurare utilizat. De asemenea, aceștia au indicat faptul că rugozitatea suprafeței afectează COF al podelei. În general, o podea mai rugoasă duce la o valoare mai mare a COF. Ulterior, Li și Chen [1] au evaluat influența lățimii canelurilor tălpiei asupra COF utilizând diferite materiale pentru talpă, pardoseli și contaminanți cu dispozitivul de testare Brungraber Mark II (BM II). Descoperirile lor au sugerat că designul canelurilor facilitează contactul dintre talpa pantofului și podea pe suprafață contaminată cu lichid.

Pe baza cunoștințelor actuale, eficacitatea designului canelurilor depinde de contaminant, de materialul din care este făcută încălțămintea și de podea. Rata dispersiei contaminanților a reprezentat o funcție a efectului de expulzare a fluidului și acest factor al frecării existente a fost discutat pe larg [1, 6-8, 21]. Efectul de brăzdare a contaminantului între caneluri ar crea probabil foarte frecvent un răspuns de alunecare cu intermitente [22], mai degrabă din cauza acumulării de forță pe marginea canelurii și acumulării de contaminant între caneluri, decât din cauza frecării constante provocate de canelurile oblice. Aceste concluzii au fost similare cu cele noastre. În acest studiu, influența contaminanților asupra COF a fost semnificativă,

meanwhile, rank of COF value in contaminants could be summarized as below: dry > wet > oil.

Li *et al.* [1, 7-8] also implied that the influence of floor roughness on COF would be weaker gradually with the change of tread groove and the width of the tread groove was the main factor influencing the COF. However, the width and depth of tread groove in this study had low significant impacts on COF under the experiment conditions; while, that of the orientation was significant on COF. Our findings were consistent with those of Blanchette *et al.* [23]. They evaluated the effect of three tread groove parameters (width, depth, and orientation) on the COF by the same approach used in our study and they summarized that orientation had the greatest impact on available friction, and the effect of width and depth were marginal. Potential reasons for this discrepancy between our study and the literature might contribute to the approach for the measure of slip resistance. It was plausible that differences in the mechanical operating principles between Mark II and SATRA STM603 (variable angle vs. constant angle, variable load vs. constant load and contact velocity) could affect the interactions at the sliding interface, thereby directly influencing the effects of groove parameters on available friction and thus reported COF values. Besides, outsole material was another key factor responsible for these variations. Li *et al.* [1, 7-8] evaluated the rubber, whereas we considered TPU. Hence, our first hypothesis was proved.

Hardness was considered in our experiments. We found that COF of hardness between 75A and 90A had significant differences, particularly with varied contaminant floor. We comprehended this finding as that the hardness would change the width of tread groove, by which the forces applied in the outsole was varied. With exception in the dry condition, hardness of 80A in wet and oil ones achieved a better plowing effect with the contaminants, where a higher COF was obtained. Thereby, our second hypothesis was confirmed.

CONCLUSION

Rigidity, contaminant and tread groove direction had significant interaction impact for COF. For the contaminants, the COF averaged the other factors were changes with the viscosity

iar clasificarea COF în funcție de contaminanți poate fi rezumată după cum urmează: uscat > umed > ulei.

Li și colab. [1, 7-8] au sugerat, de asemenea, că influența rugozității podelei asupra COF ar fi mai slabă pe măsură ce se modifică modelul canelurilor, iar lățimea canelurilor a fost factorul principal care influențează COF. Cu toate acestea, în studiu de față, lățimea și adâncimea canelurilor au avut un impact semnificativ scăzut asupra COF în condițiile experimentului; pe de altă parte, influența orientării asupra COF a fost semnificativă. Descoperirile noastre au fost în concordanță cu cele ale lui Blanchette și colab. [23]. Aceștia au evaluat efectul a trei parametri ai canelurilor (lățime, adâncime și orientare) asupra COF având aceeași abordare utilizată în studiu de față și au ajuns la concluzia că orientarea a avut cel mai mare impact asupra frecării existente, iar influența lățimii și adâncimii a fost marginală. Posibilele motive pentru această discrepanță între studiu nostru și literatura actuală ar putea contribui la adoptarea unei abordări privind măsurarea rezistenței la alunecare. Era plauzibil faptul că diferențele dintre dispozitivele Mark II și SATRA STM603 (unghi variabil - unghi constant, sarcină variabilă - sarcină constantă și viteza de contact) privind principiile de funcționare mecanică ar putea afecta interacțiunile la interfața de alunecare, influențând astfel în mod direct efectele parametrilor canelurilor asupra frecării existente și valorilor COF raportate. În plus, materialul tălpiei a constituit un alt factor cheie responsabil pentru aceste variații. Li și colab. [1, 7-8] au luat în studiu cauciucul, iar în această lucrare s-a evaluat TPU. Prin urmare, prima ipoteză enunțată a fost confirmată.

În acest experiment s-a luat în considerare și duritatea. S-a constatat că COF al durătății între 75A și 90A a avut diferențe semnificative, în special în cazul podelei cu diferiți contaminanți. Din această constatare rezultă că duritatea modifică lățimea canelurii, prin care variază forțele aplicate pe talpa pantofului. Cu excepția condiției uscate, la duritatea de 80A în condițiile de contaminare cu apă și cu ulei s-a obținut un efect de brăzdare mai bun, precum și un COF mai mare. Astfel, s-a confirmat și a doua ipoteză.

CONCLUZII

Interacțiunea dintre rigiditate, contaminant și orientarea canelurii a avut un impact semnificativ asupra COF. În cazul contaminanților,

of the contaminants. The higher contaminant viscosity, the lower COF values would be obtained. Rigidity is the main influence factor on COF averaged the other factors and should be considered when designing footwear outsoles for slip resistance. The influence of rigidity was weaker with the increasing viscosity of contaminant, but did not disappear. Variables of hardness, contaminant and orientation of tread groove were main influence factors in term of slip resistance and their interaction effects and models of combination in outsole design should be considered in order to achieve a better slip resistance.

Acknowledgement

The authors appreciate the financial support from China Postdoctoral Science Foundation (2015M571896) and "Found for Young Researchers" (2014SCU11029) from Sichuan University.

au existat modificări ale COF mediu în funcție de vâscozitatea contaminanților. Cu cât a fost mai mare vâscozitatea contaminantului, cu atât mai mici au fost valorile obținute pentru COF. Rigiditatea este principalul factor cu influență asupra COF mediu și trebuie să fie luat în considerare la proiectarea tălpilor pentru încălțăminte rezistente la alunecare. Influența rigidității a fost mai slabă pe măsură ce a crescut vâscozitatea contaminantului, dar nu a fost nulă. Variabile precum duritatea, contaminantul și orientarea canelurilor sunt principali factori care influențează rezistența la alunecare și trebuie să se ia în considerare combinațiile și efectele interacțiunii acestora în proiectarea tălpilor exterioare pentru o mai bună rezistență la alunecare.

Multumiri

Autorii doresc să mulțumească pentru sprijin finanțier Fundației Științifice pentru Studii Postdoctorale din China (2015M571896) și Fundației pentru Tineri Cercetători (2014SCU11029) din cadrul Universității din Sichuan.

REFERENCES

1. Li, K.W., Chen, C.J., *Appl Ergon*, **2004**, 35, 499-507.
2. Hanson, J.P., Redfern, M.S., Mazumdar, M., *Ergonomics*, **1999**, 42, 12, 619-1633.
3. Chiou, S.S., Bhattacharya, A., Lai, C.F., Succop, P.A., *Occupational Ergonomics*, **2003**, 3, 4, 209-223.
4. Shi, Z.Y., He, H., Yan, W.G. et al., *Ceramics*, **2010**, 7, 43-45.
5. Chang, W.R., Li, K.W., Huang, Y.-H., Filiaggi, A., Courtney, T.K., *Appl Ergon*, **2004**, 35, 4, 401–408.
6. Chang, W.R., Gronqvist, R., Leclercq, S., *Ergonomics*, **2001**, 44, 13, 1217-1232.
7. Li, K.W., Chen, C.J., Lin, C.H. et al., *Tsinghua Sci. Technol*, **2006**, 11, 6, 712-719.
8. Li, K.W., Wu, H.H., Lin, Y.C., *Appl Ergon*, **2006**, 37, 743-748.
9. Wilson, M., American Society of Testing and Materials, Philadelphia, **1990**, 113-123.
10. Wilson, M., *J Test Eval*, **1996**, 24, 6, 377-385.
11. Gronqvist, R., *Ergonomics*, **1995**, 38, 2, 224–241.
12. Leclercq, S., Tisserand, M., Saulnier, H., *Ergonomics*, **1995**, 38, 2, 197-208.
13. Tisserand, M., *Ergonomics*, **1985**, 28, 7, 1027-1042.
14. Duan, X.X., *Leather Science and Engineering*, **2015**, 25, 3, 38-42.
15. Strandberg, L., *Ergonomics*, **1985**, 28, 1, 131–147.
16. Zhou, J., Zhang, W.W., Hlavacek, P., Xu, B., Chen, W.Y., Revista de Pielarie Incaltaminte (Leather and Footwear Journal), 2012, 12, 9, 401-406.
17. EN ISO 13287-2007, Footwear. Test Method for Slip Resistance ISO. Geneva, Switzerland, 2007.
18. ASTM F2913-11, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011.

19. Chang, W.R., Ergonomics, 1999, 24, 3, 299–313.
20. Chang, W.R., Matz, S., Appl Ergon, 2001, 32, 540–558.
21. Moore, D.F., in: Rayno, G.V. (Ed.), International Series of Monographs on Material Science and Technology, Pergamon Press, Oxford, 1972.
22. Brown, R., Springer Science & Business Media Inc., New York, NY, 2006, 387.
23. Blanchette, M.G., Powers, C.M., Appl Ergon, 2015, 50, 237-241.

Article received/Data primirii articolului: 24.05.2016

Accepted/Acceptat la data: 04.08.2016