

STUDY REGARDING RECOGNITION OF THE FOOT TYPE IN DYNAMIC CONDITIONS BASED ON GROUND REACTION FORCES

Rață Marinela^{1*}

Albuț Aurelian²

^{1,2}*"Vasile Alecsandri" University of Bacău, Marasesti, No 157, Bacău, 600115, Romania*

Keywords: *supination, pronation, force measurement platform, dynamic loaded foot*

Abstract

This paper presents a modern alternative to recognize the type of foot loaded under dynamic conditions based on experimental method and heuristic method. Knowing the influence of foot type deviation on the during walking in case of young people, that most of the time cause pain, imbalance and disorders of the foot, it is essential to identify the causes, establish the diagnosis, to quantify the pain and long-term assessment of the implications and setting goals intervention. Abnormal foot biomechanics associated with different types of foot lead to abnormal stress on the muscles acting on the leg and modification of the ground reaction forces. Through the experimental study is collected information on ground reaction forces in the phase of gait, for different types of foot. The obtained information serves as reference system for subsequent measurements, in order to classify any type of foot.

1. Introduction

Knowledge regarding the influence of foot deviation in case of young people it is very important and necessary in order to identify and in the same time to quantify the pain and its effect on long term. Also this information can be used for establishing the measures which must be taken to reduce the pain and to reintegrate the subject in daily use activities. In the paper work "Disorders of the foot, leg positions and leg functionality: the Framingham leg study" by Hagedorn et al. (2013), concluded that foot posture and function are associated with the existence of some specific diseases.

Thereby, flat foot was associated with the increased possibility of "hammer" fingers and overlapping toes while cavus foot (high-arched foot) was not associated with any disorders of the foot. The possibility of having toe valgus and overlapping toes was significantly higher in case of subjects with pronated foot, while the possibility of having toe valgus and toe rigid was significantly increased in case of subjects with foot supination (Hagedorn et al., 2013).

* E-mail: marinela_rata@hotmail.com

In the paper "Effects of the foot in pronation and supination on the static and dynamic stability" written by Cote, Brunette, Gansneder, and Shultz (2005), there were consistent differences only in certain directions and, in some of these directions, foot in pronation / supination has moved more than neutral foot. In general, the subjects with pronated foot went more in the anterior direction and medial anterior while the subjects with leg in supination moved more towards rear and rear-side direction. Toward lateral direction the leg in supination moved more than pronated foot, but no more than the neutral foot.

On the assumption that a person having supination foot applies more pressure on the lateral area of the foot, it can be accepted that the stability limits can be greater in the lateral direction. Applying the same thinking algorithm, a person having excessive foot pronation tends to collapse toward the median area of the foot and will have a reduced ability to maintain a firm support in the support phase of the leg (supporting the entire weight of the body). This medial deviation along with greater mobility of the foot, can reduce considerable the dynamic mobility of the foot towards lateral direction.

A high mobility of the foot may also explain why the pronated foot is moving more on the anterior direction, if is compared with foot in supination or neutral. Likewise, this additional mobility explicate why its movement is larger toward anterior – medial direction, with respect to the neutral foot (Cote, Brunette, Gansneder, & Shultz, 2005).

As a result of the current state of art in this field of research, this paper would like to present, analyze and understand the results of a study regarding the identification of the foot type in dynamic conditions based on the ground reaction force.

The experiments conducted in the laboratory of biomechanics, were aimed recording data regarding the gait kinetics (ground reaction forces of all three components) in order to identify the foot deviation in dynamic conditions, from incipient stages.

2. Materials and methods

The research approach is based on the premise that the foot deviation can be identified experimentally before the phenomenon becomes visible by using ground reaction forces. Thereby, it is accepted in advance that the ground reaction will be different, but also repeatable, for each of the three types of foot (supination, pronation and normal) during the foot stance phase for all three directions (F_x , F_y , F_z). Therefore, using the inverse method, if we have the charts which describe the ground reaction forces we are able to say which foot type generated that action.

It is considered that for the medial-lateral and antero-posterior components of the ground reaction forces in the walking stance phase of the gait cycle, in case of the pronation/supination foot are recorded upward and downward variations having the same profile for all subjects, while for the vertical component no differences will be recorded in relation to the normal foot.

Through systematic observation method were chosen 10 young (5 girls and 5 boys) for each of the three types of foot (normal, supination and pronation).

The subjects were selected from a large number of students who were walking without knowing that they are monitored. In order to register the ground reaction forces a KISTLER force plate was used, which is able to record forces in three planes (vertical, anterior-posterior, medial-lateral), data that was sent to a computer for interpretation and creation of a database.

The selected persons, who have agreed to participate in the experiment, were invited at The Biomechanics Laboratory from the University of Physical Education in Wroclaw / Poland, for further measurements.



Figure 1. *Carrying out the experiments*

The subjects were walking along a marked lane without knowing where the force plate is positioned on the floor. Each subject has walking several times along the corridor in order to obtain valid measurements.

Thus there were obtained forces for the stance phase of gait, using a force plate (fig.1), being performed by 2 tests for each type of foot (normal, supination and pronation). Experimental tests were performed for all subjects only for the right foot.

3. Results and discussions

By each step, though the body weight, the foot applies a pressure on the ground surface and the ground pushes back by applying the ground reaction forces (GRF). The size and direction of the ground reaction forces are changing during stance phase of the foot and are directly related to the acceleration of the body center of gravity.

The center of gravity of the body is moving up and down while the subject is changing the bipodal support (when the center of gravity is lower) at unipodal (when the center of gravity is upper). Similarly, the body center of gravity moves from side to side when the subject goes from the stance phase of the right foot on the left leg stance phase and vice versa (Oatis, 2009).

The charts below present the values of the reaction force - FR (corresponding to a three-dimensional coordinate system) for each foot type (normal, pronation and supination) in the stance phase of gait. F_x is the force consistent to the median-lateral direction ("+" is left) - Fig. 2, F_y is the force reaction corresponding to vertical direction ("+" means the upward direction) – Fig. 3 and F_z is the anterior-posterior component of reaction force ("+" represents the direction of walking) - Fig. 4.

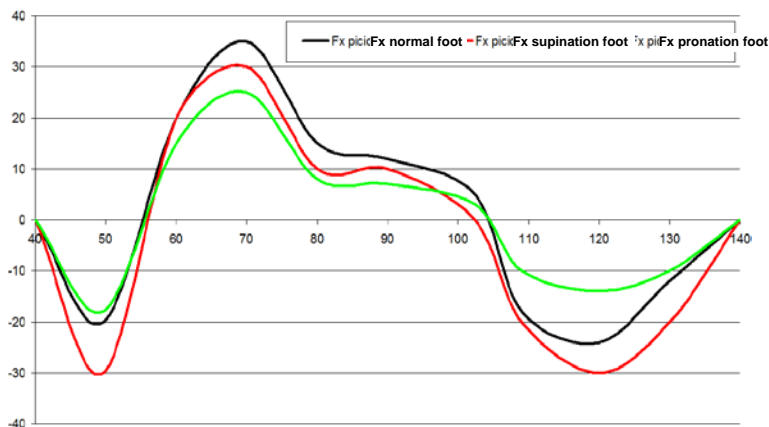


Figure 2. Graphical representation of the median-lateral component of the FR for stance phase of gait for the 3 types of foot

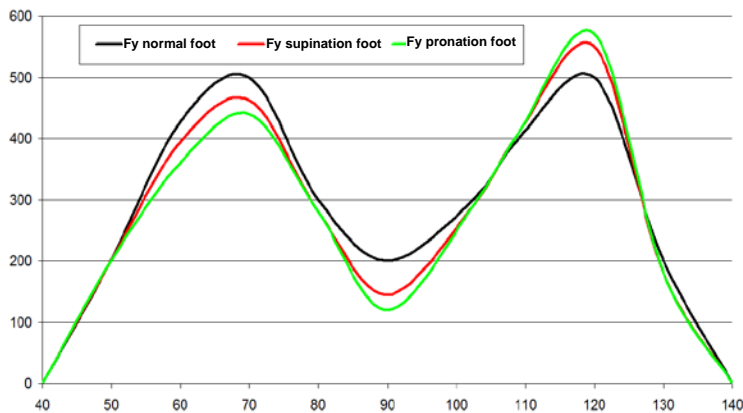


Figure 3. Graphical representation of the vertical component of the FR for stance phase of gait for the 3 types of foot

During the ground stance phase the transversal force F_x reach high values in different directions, but it must be noted that the two negative peaks are equal value only in case of supination foot.

Analyzing Fig. 3 it also notes that for the vertical force, the two peaks

have the same value in case of normal foot.

The veracity of the results is confirmed by overlapping stance phases with theoretical profile of the gait.

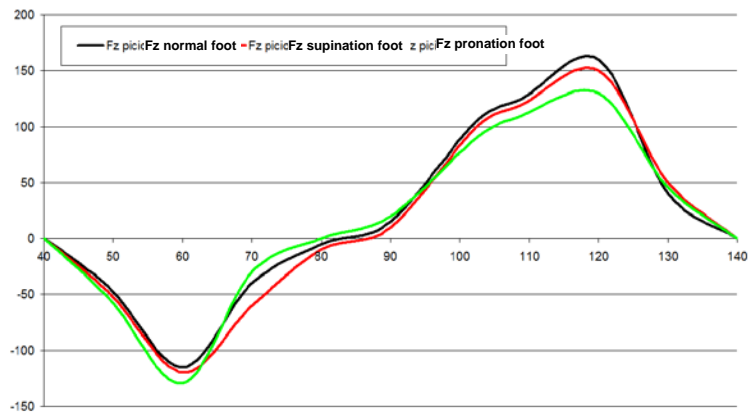


Figure 4. Graphical representation of the anterior-posterior component of the FR for stance phase of gait for the 3 types of foot

Analyzing the data presented in the graph above it is noted that for both legs deviations (supination and pronation) the ground reaction force reaches upper values (in the opposite direction of walking) than the normal foot step in the loading response phase (0% -10 %) immediately before the moment when the opposite foot is detached from the ground.

Also, both feet in supination and pronation registered increases of the ground reaction forces (in the walking direction) with respect to the normal foot in the terminal stance (30% -50%), immediately before the time of contact between the contralateral leg and the ground.

Figure 5 shows a schematic diagram of the proposed method. This system can be installed in high traffic areas (at the entrance to educational institutions, gyms, public institutions) so the subjects will not be aware that they are monitored.

The subjects identified with pronation foot or supination foot could be warned and directed to specialists able to help them in improving the problem, so should be avoided more serious problems that would occur over time.

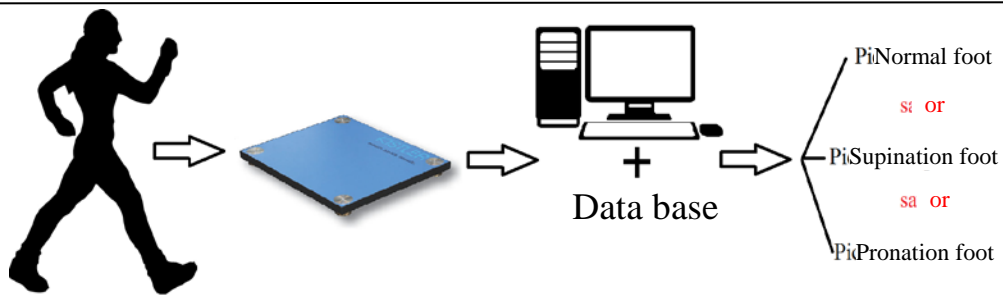


Figure 5. Diagram of the operating principle of the proposed method for identifying the type of leg

Also, these data could serve as inputs for the development of statistics regarding existence of various types of foot in different areas or different age groups.

4. Conclusions

Vertical forces (F_y) presented in Fig. 3 may easily indicate if the tested subject is having normal foot because the two maxima of the curve profile must have substantially the same values. If the tested subject is having supinated foot, this is indicated by the medial-lateral forces (F_x), where must be observed two minimum values having equal value.

If the vertical forces do not indicate that the subject has normal foot and a medial-lateral force indicates that the subject is having supinated foot, then it is possible to conclude that the subject has pronated foot.

Antero-posterior vertical forces (F_z) do not indicates discrepancies between foot in supination / pronation and normal foot, so cannot be used to identify a particular type of foot.

References

1. HAGEDORN, T., DUFOUR, A., RISKOWSKI, J., HILLSTROM, H., MENZ, H., CASEY, V. et al. (2013). *Foot Disorders, Foot Posture, and Foot Function: The Framingham Foot Study*. PLoS ONE 8(9): e74364. doi:10.1371/journal.pone.0074364.
2. NEUMANN, D. (2002). *Kinesiology of the musculoskeletal system-Foundations for physical rehabilitation*. Chapter 15 Kinesiology of walking. Mosby.
3. PERRY, J., BURNFIELD, J., GRONLEY, J., MULROY, S. (2003). Toe Walking: Muscular Demands at the Ankle and Knee. *Physical Medicine & Rehabilitation*, 84:7-16.
4. OATIS, C. (2009). *Kinesiology-The mechanics & pathomechanics of human movement, Second edition*. Lippincott Williams & Wilkins.

STUDIU PRIVIND RECUNOAȘTEREA TIPULUI DE PICIOR ÎN CONDIȚII DINAMICE PE BAZA FORȚEI DE REACȚIUNE A SOLULUI

Rață Marinela¹

Albuț Aurelian²

^{1,2}Universitatea „Vasile Alecsandri” din Bacău, Mărășești nr. 157, Bacău – 600115, România

Cuvinte cheie: *supinație, pronție, platformă de forță, faza dinamică picior*

Rezumat

Lucrarea de față prezintă o alternativă modernă de recunoaștere a tipului de picior în condiții dinamice bazată pe metoda experimentală și metoda euristică. Cunoașterea influenței deviațiilor de picior asupra mersului la tineri, care de cele mai multe ori produc durere, dezechilibru și afecțiuni ale piciorului, este absolut necesară în vederea identificării cauzelor, stabilirii diagnosticului, cuantificării durerii și evaluării pe termen lung a implicațiilor și a stabilirii obiectivelor de intervenție. Biomecanica anormală a piciorului asociată cu diferite tipuri de picior duce la tensiuni anormale asupra musculaturii care acționează asupra piciorului, precum și modificarea forțelor de reacțiune ale solului. Prin intermediul studiului experimental se colectează informații privind forțele de reacțiune a solului, în faza de sprijin a mersului, pentru diferite tipuri de picior. Informațiile obținute servesc drept sistem de referință pentru măsurătorile efectuate ulterior.

1. Introducere

Cunoașterea influenței deviațiilor de picior asupra mersului la tineri, care de cele mai multe ori produc durere, dezechilibru și afecțiuni ale piciorului, este absolut necesară în vederea identificării cauzelor, stabilirii diagnosticului, cuantificării durerii, evaluării pe termen lung a implicațiilor și a stabilirii obiectivelor de intervenție.

În lucrarea “Afecțiuni ale piciorului, posturi ale piciorului și funcționalitatea piciorului: studiu al piciorului de Framingham”, Hagedorn et al. (2013), au concluzionat că postura și funcția piciorului sunt asociate cu prezența unor afecțiuni specifice ale acestuia.

Astfel piciorul plat a fost asociat cu posibilitatea mărită de degete “ciocan” și degete suprapuse, iar piciorul cavus nu a fost asociat cu afecțiuni ale piciorului. Posibilitatea de a avea haluce în valgus și degete suprapuse a fost semnificativ crescută la subiecții cu picior în pronție, în timp ce posibilitatea de a avea haluce în valgus și haluce rigid a fost semnificativ crescută la subiecții cu piciorul în supinație (Hagedorn, et al., 2013).

În lucrarea “Efectele piciorului în supinație și pronție asupra stabilității statice și dinamice” realizată de Cote, Brunet, Gansneder, and Shultz (2005), s-au înregistrat diferențe numai în anumite direcții și, în unele dintre aceste direcții, piciorul în pronție/ supinație s-a deplasat mai mult decât piciorul neutru. În general, subiecții cu piciorul în pronție sau deplasat mai mult în direcția anterior și anterior medial, iar subiecții cu piciorul în supinație sau deplasat mai mult în

direcția posterior și posterior-lateral. În lateral piciorul în supinație s-a deplasat mai mult decât piciorul în pronație, dar nu mai mult decât piciorul neutru.

Considerând că o persoană cu un picior în supinație aplică mai multă presiune pe partea laterală a piciorului, poate fi acceptat că limitele de stabilitate pot fi mai mari în direcția laterală. În mod similar, un picior în pronație excesivă tinde să se prăbușească spre partea medială a piciorului și de a avea o abilitate redusă de a menține un suport rigid în faza de sprijin pe un picior (susținere a întregii greutate a corpului). Această deviere medială la care se adaugă o mobilitate mai mare a piciorului pot influența piciorul în pronație să atingă o deplasare dinamică redusă în direcția laterală.

O mobilitate crescută a piciorului poate de asemenea explica de ce piciorul în pronație se deplasează mai mult anterior decât piciorul în supinație sau piciorul neutru, și de asemenea de ce se deplasează mai mult decât piciorul neutru în direcția anterior-medial (Cote, Brunet, Gansneder, & Shultz, 2005).

În urma realizării stadiului actual al cercetărilor în domeniu, lucrarea de față își propune prezentarea, analiza și interpretarea rezultatelor unui studiu privind recunoașterea tipului de picior în condiții dinamice pe baza forței de reacțiune a solului.

Experimentele efectuate în cadrul laboratorului de biomecanică, au urmărit înregistrarea de date privind cinetica mersului (forțele de reacțiune ale solului pe toate cele trei componente), cu scopul de a identifica deviația piciorului în regim dinamic din fază incipientă.

2. Material și metode

În demersul cercetării se pornește de la premisa că defectul de picior poate fi identificat experimental, înainte ca fenomenul să devină vizibil, cu ajutorul forțelor de reacțiune a solului. Astfel, se admite în prealabil că reacțiunea solului va fi diferită, dar totodată repetabilă, pentru fiecare din cele trei tipuri de picior (în supinație, pronație și normal) în faza de sprijin unilateral al piciorului, pentru toate cele trei direcții (F_x , F_y , F_z).

Așadar, folosind metoda inversă, dacă avem diagramele forțelor de reacțiune a solului putem spune tipul piciorului ce a generat acțiunea.

Se consideră că pe componentele medial-lateral și anterior-posterior ale forței de reacțiune a solului, în faza de sprijin a ciclului de mers, în cazul piciorului în pronație/ supinație se vor înregistra variații ascendente și descendente, având același profil pentru toți subiecții, în timp ce pe componenta verticală nu se vor consemna variații în raport cu piciorul normal.

Prin metoda observației sistematice au fost aleși câte 10 tineri (5 fete și 5 băieți) pentru fiecare din cele trei tipuri de picior (normal, supinație și pronație). Subiecții au fost selectați dintre un număr mare de studenți ce se deplasau, fără a ști că sunt monitorizați.

Pentru înregistrarea forțelor de reacțiune ale solului a fost folosită o placă de forță KISTLER, care a înregistrat forțele în trei planuri (vertical, anterior-posterior, medial-lateral), date pe care le-a transmis unui computer pentru stocare. Persoanele

selectate, ce au acceptat să participe la experiment, au fost invitate în Laboratorul de Biomecanică din cadrul Universității de Educație Fizică din Wrocław/Polonia, pentru efectuarea măsurătorilor.



Figura 1. Desfășurarea experimentelor

Subiecții s-au deplasat de-a lungul unui culoar marcat fără a ști unde este poziționată placa de forță. Fiecare subiect s-a deplasat de mai multe ori de-a lungul culoarului, în vederea obținerii unei măsurători valide. Astfel au fost înregistrate forțele obținute în faza de sprijin a mersului, cu ajutorul unei plăci de forță (fig.nr.1), efectuându-se câte 2 încercări pentru fiecare tip de picior (normal, în supinație, în pronție). Încercările experimentale au fost efectuate pentru toți subiecții pentru piciorul drept.

3. Rezultate și discuții

Cu fiecare pas, piciorul aplică o greutate asupra solului, iar solul împinge înapoi, aplicând forțele de reacțiune ale solului (FRS). Mărimea și direcția forțelor de reacțiune ale solului se schimbă în faza de sprijin a piciorului și sunt direct raportate la accelerarea centrului de greutate a corpului.

Centrul de greutate al corpului se ridică și se coboară în timp ce subiectul schimbă sprijinul bipodal (când centrul de greutate este jos) cu cel unipodal (când centrul de greutate este sus). În mod similar, centrul de greutate se mută dintr-o parte în alta când subiectul trece din sprijinul de pe piciorul drept în sprijin pe piciorul stâng și invers (Oatis, 2009).

În graficele de mai jos sunt prezentate valorile înregistrate ale forței de reacțiune - FR (corespunzătoare unui sistem de coordonate tridimensional) pentru fiecare tip de picior (normal, în supinație și în pronție) în faza de sprijin a mersului. F_x este componenta median-laterală a forței de reacțiune (“+” reprezintă stânga) – fig.nr.2, F_y este componentă verticală a forței de reacțiune (“+” reprezintă direcția în sus) – fig.nr.3, iar F_z este componenta anterior-posterior a forței de reacțiune (“+” reprezintă direcția de mers) – fig.nr.4.

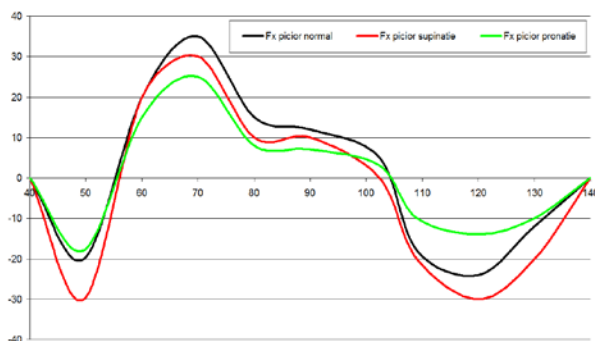


Figura 2. Reprezentarea grafică a componentei median-laterale a FR în faza de sprijin a mersului pentru cele 3 tipuri de picior

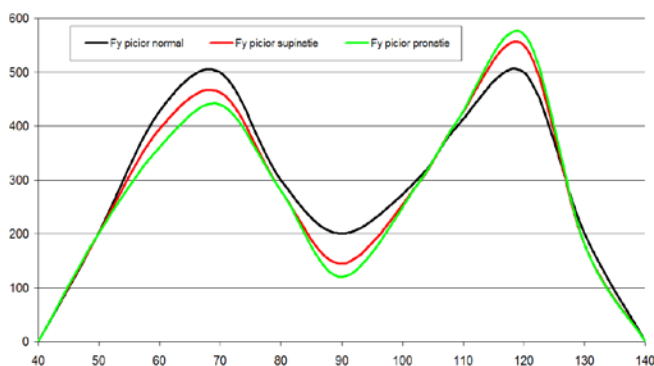


Figura 3. Reprezentarea grafică a componentei verticale a FR în faza de sprijin a mersului pentru cele 3 tipuri de picior

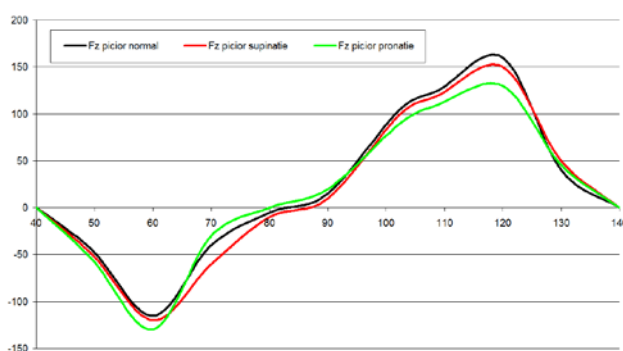


Figura 4. Reprezentarea grafică a componentei anterior-posterioare a FR în faza de sprijin a mersului pentru cele 3 tipuri de picior

În perioada de sprijin pe sol forța transversală F_x înregistrează valori ridicate în direcții diferite, dar se observă că cele două vârfuri negative au aceeași valoare în cazul piciorului în supinație.

Analizând fig.nr.3 se observă, de asemenea că în cazul forței verticale, cele două vârfuri au aceeași valoare în cazul piciorului normal.

Veridicitatea rezultatelor este confirmată de suprapunerea cu profilul teoretic a fazelor/periodelor mersului.

În perioada de sprijin pe sol forța transversală F_x înregistrează valori ridicate în direcții diferite, dar se observă că cele două vârfuri negative au aceeași valoare în cazul piciorului în supinație.

Analizând fig.nr.3 se observă, de asemenea că în cazul forței verticale, cele două vârfuri au aceeași valoare în cazul piciorului normal.

Veridicitatea rezultatelor este confirmată de suprapunerea cu profilul teoretic a fazelor/periodadelor mersului.

În perioada de sprijin pe sol forța transversală F_x înregistrează valori ridicate în direcții diferite, dar se observă că cele două vârfuri negative au aceeași valoare în cazul piciorului în supinație.

Analizând fig.nr.3 se observă, de asemenea că în cazul forței verticale, cele două vârfuri au aceeași valoare în cazul piciorului normal.

Analizând datele prezentate în graficele de mai sus se observă că atât piciorul în supinație cât și piciorul în pronție au înregistrat creșteri ale forței de reacțiune ale solului (în direcția opusă mersului) față de piciorul normal în etapa de răspuns la încărcare (0%-10%), imediat înaintea momentului de desprindere a vârfului piciorului opus de pe sol.

De asemenea, atât piciorul în supinație cât și piciorul în pronție au înregistrat creșteri ale forței de reacțiune ale solului (în direcția de mers) față de piciorul normal în etapa de sprijin terminal (30%-50%), imediat înaintea momentului de contact cu solul al piciorului contralateral.

Veridicitatea rezultatelor este confirmată de suprapunerea cu profilul teoretic a fazelor/periodadelor mersului.

În figura 5 este prezentată schema de principiu a metodei propuse. Acest sistem poate fi montat în zone cu trafic intens (la intrarea în instituții de învățământ, săli de sport, instituții publice), astfel încât subiecții să nu fie constienți că sunt monitorizați.

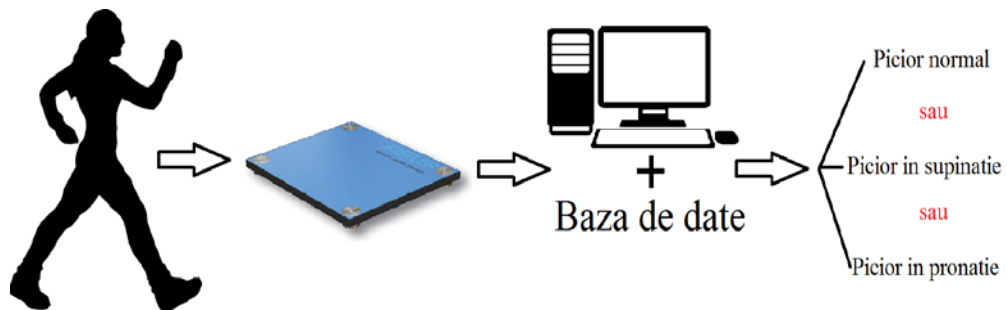


Figura 5. Schema principiului de funcționare a metodei propuse pentru recunoașterea tipului de picior

Subiecții identificați cu picior în supinație sau în pronație ar putea fi avertizați și îndrumați către specialiști capabili să îi ajute în ameliorarea problemei, astfel ar fi evitate afecțiuni mult mai grave ce ar apare odata cu trecerea timpului.

De asemenea, aceste date ar putea servi ca date de intrare pentru realizarea unor statistici referitoare la diferite tipuri de picior în zone diferite sau pe categorii de vârstă diferite.

4. Concluzii

Forțele verticale (F_y) din fig. nr. 3 pot indica cu ușurință dacă subiectul supus testului are picior normal, deoarece cele două valori maxime de pe profilul curbei trebuie să aibă valori sensibil egale. În cazul în care subiectul are piciorul în supinație, acest fapt este indicat de forțele median-laterale (F_x), unde trebuie să se observe două valori minime cu valori egale.

Dacă forțele verticale nu indică că subiectul are picior normal, și forțele median-laterale nu indică ca subiectul are picior în supinație, atunci se poate concluziona ca subiectul prezintă picior în pronație.

Forțele verticale antero-posterioare (F_z) nu semnaleză diferențe între piciorul în supinație/ pronație și piciorul normal și nu sunt pot fi folosite pentru identificarea unui anumit tip de picior.