

## STABILOMETRIC ASSESSMENT: IMPLICATIONS FOR THE PRESCRIPTION OF MEDICAL DEVICES

### EVALUAREA STABILOMETRICĂ: IMPLICAȚII ÎN PRESCRIEREA DISPOZITIVELOR MEDICALE

Gabriel STAN<sup>1\*</sup>, Daniel PETCU<sup>2</sup>, Gheorghe BERIJAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Elias Emergency University Hospital, Department of Orthopedics-Traumatology, 17 Marasti Blvd., Bucharest, email: gabisus2000@yahoo.com

<sup>2</sup>National Research and Development Institute for Textiles and Leather - Division: Leather and Footwear Research Institute, 93 Ion Minulescu St., Bucharest, Romania, email: icpi@icpi.ro

---

#### STABILOMETRIC ASSESSMENT: IMPLICATIONS FOR THE PRESCRIPTION OF MEDICAL DEVICES

**ABSTRACT.** The medical literature defines posture by positioning and orientation of body segments relative to the direction of the gravitational field. Balance encompasses all static and dynamic actions performed by the body as a result of the interaction between postural control mechanisms in order to avoid falling. Maintaining a normal posture is a prerequisite for minimizing internal stress manifested in tissues. Stabilometry studies evolution, under static conditions, of the center of pressure, defined as the origin of the reaction force vector in relation to the support surface. The aging process or diseases such as diabetes, rheumatoid arthritis or pathomechanics, affecting posture by increasing instability and the risk of falls. There is medical evidence that demonstrates the positive effect of medical devices (orthopedic shoes or orthoses) on posture. An important role in prescribing and assessing the influence of medical devices on posture is that of stabilometry, namely assessing posture under static conditions. The article proposes to assess the main stabilometric parameters determined using AccuGait-AMTI force platform and to correlate them with technical characteristics of medical devices.

**KEY WORDS:** stabilometry, posture, medical device

#### EVALUAREA STABILOMETRICĂ: IMPLICAȚII ÎN PRESCRIEREA DISPOZITIVELOR MEDICALE

**REZUMAT.** Literatura medicală definește postura prin poziționarea și orientarea segmentelor corporale în raport cu direcția câmpului gravitațional. Echilibrul reprezintă totalitatea acțiunilor statice și dinamice efectuate de corp ca urmare a interacțiunii dintre mecanismele de control postural, cu scopul evitării căderii. Menținerea unei posturi normale este o condiție esențială pentru reducerea la minimum a tensiunilor interne manifestate în țesuturi. Stabilometria studiază evoluția în statică a centrului de presiune, definit ca originea vectorului forței de reacție în raport cu baza de susținere. Procesul de îmbătrâinire sau prezența unor afecțiuni precum diabetul, artrita reumatoidă sau patologii de natură mecanică au ca rezultat influențarea posturii prin creșterea instabilității și a riscului de cădere. Există dovezi medicale care demonstrează efectul pozitiv al dispozitivelor medicale (încălțăminte ortopedică sau orteze) asupra posturii. În prescrierea și evaluarea influenței dispozitivelor medicale asupra posturii, un rol important îl ocupă stabilometria, respectiv evaluarea posturii în condiții statice. Articolul își propune evaluarea principaliilor parametri stabilometrii determinați cu ajutorul platformei de forță AccuGait-AMTI și corelarea acestora cu caracteristicile tehnice ale dispozitivelor medicale.

**CUVINTE CHEIE:** stabilometrie, postură, dispozitiv medical

#### ÉVALUATION STABILOMÉTRIQUE: LES IMPLICATIONS POUR LA PRESCRIPTION DE DISPOSITIFS MÉDICAUX

**RÉSUMÉ.** La littérature médicale définit la posture par le positionnement et l'orientation des segments de corps par rapport à la direction du champ de gravitation. L'équilibre représente toutes les actions statiques et dynamiques exercées par le corps à la suite de l'interaction entre les mécanismes de contrôle de posture afin d'éviter les chutes. Le maintien d'une position normale est une condition préalable à la réduction du stress interne qui se manifeste dans les tissus. La stabilometrie étudie l'évolution, dans des conditions statiques, du centre de pression, défini comme l'origine du vecteur de force de réaction par rapport au support. Le processus de vieillissement ou la présence de maladies telles que le diabète, la polyarthrite rhumatoïde ou pathologies de nature mécanique influencent la posture en augmentant l'instabilité et le risque de chutes. Il y a des preuves médicales qui démontrent l'effet positif des dispositifs médicaux (chaussures orthopédiques ou orthèses) sur la posture. Un rôle important dans la prescription et l'évaluation de l'influence des dispositifs médicaux sur la posture est celui de la stabilometrie, c'est-à-dire l'évaluation de la posture dans des conditions statiques. L'article propose l'évaluation des principaux paramètres stabilométriques déterminés par la plate-forme de force AccuGait-AMTI et leur corrélation avec les caractéristiques techniques des dispositifs médicaux.

**MOTS CLÉS:** stabilométrie, posture, dispositif médical

---

\*Correspondence to: Gabriel STAN, Elias Emergency University Hospital, Department of Orthopedics-Traumatology, 17 Marasti Blvd., Bucharest, email: gabisus2000@yahoo.com

## INTRODUCTION

Posture is defined as the position and orientation of body segments relative to the direction of the gravitational field. Balance encompasses all static and dynamic actions performed by the body as a result of the interaction between control mechanisms of the central nervous system and the musculoskeletal system in order to avoid falls by maintaining the center of gravity within the limits of the support surface. There is medical evidence that demonstrates the positive effect of medical devices (medical footwear or orthoses) on posture. An important role in prescribing and assessing the influence of medical devices on posture is that of stabilometry, namely assessing posture under static conditions.

Shoes can be used in two opposite directions in relation to maintaining balance, namely:

- improving balance by increasing stability in order to decrease the risk of falls and their negative consequences on health. This direction is found especially in the situation of the elderly or those suffering from conditions such as diabetes, osteoarthritis, neuromuscular disorders, orthopedic disorders etc.;

- improving balance by creating instability in order to exercise certain categories of muscles with an active role in increasing stability. This is the case of rocker soles, highlighting the MBT shoes solution whose design principle consists in exercising muscles less used due to modern walking conditions (especially walking on hard surfaces). Muscles are exercised by creating instability in the contact phase of gait, and the technical solution adopted for the construction of the sole is to use a combination of two materials with different hardness values, the heel being made of a lower hardness material [1]. Changing muscle activity by manipulating the trajectory of the center of pressure (COP) is another objective [2] with potential implications for improved stability. In this case the shoes working as a medical device, part of the recovery program for conditions such as patellofemoral pain syndrome or knee osteoarthritis. Sensor-motor exercises, as part of a recovery program, resort to a wide range of devices such as wobble boards, rocker soles or balance training shoes [3].

## INTRODUCERE

Postura este definită prin poziționarea și orientarea segmentelor corporale în raport cu direcția câmpului gravitațional. Echilibrul reprezintă totalitatea acțiunilor statice și dinamice efectuate de corp ca urmare a interacțiunii dintre mecanismele de control ale sistemului nervos central și ale sistemului osteomusculo-ligamentar, cu scopul evitării căderii prin menținerea centrului de greutate în limitele bazei de sprijin. Există dovezi medicale care demonstrează efectul pozitiv al dispozitivelor medicale (încălțăminte sau orteze pentru picior) asupra posturii. În proiectarea și evaluarea influenței dispozitivelor medicale asupra posturii un rol important îl ocupă stabilometria, respectiv evaluarea posturii în condiții statice.

Încălțăminta poate fi utilizată în două direcții opuse în relație cu menținerea echilibrului, și anume:

- îmbunătățirea echilibrului prin creșterea stabilității cu scopul scăderii riscului de cădere și a consecințelor negative pe care acestea le au asupra sănătății. Această direcție este întâlnită în special în situația persoanelor în vîrstă sau a celora suferind de afecțiuni precum diabet, osteoartrită, afecțiuni neuromusculare, ortopedice etc.;

- îmbunătățirea echilibrului prin crearea unei stări de instabilitate cu scopul antrenării anumitor categorii de mușchi având un rol activ în creșterea stabilității. Este cazul încălțămintei cu talpă balansoar unde putem evidenția soluția MBT al cărei principiu de proiectare constă în antrenarea mușchilor mai puțin utilizati datorită condițiilor moderne de deplasare (în special mersul pe suprafete dure). Antrenarea musculaturii se realizează prin crearea unei stări de instabilitate în fază de contact a mersului, soluția tehnică adoptată pentru construcția tălpiei fiind aceea a utilizării unei combinații de două materiale cu durată diferite, tocul fiind realizat din materialul cu durată mai mică [1]. Modificarea activității musculare prin manipularea traiectoriei centrului de presiune (COP) reprezintă un alt obiectiv [2] cu potențiale implicații în îmbunătățirea stabilității. În acest caz încălțăminta funcționează ca un dispozitiv medical, parte integrantă a programului de recuperare al unor afecțiuni precum sindromul dureros femuro-patellar sau osteoartrită genunchiului. Exercițiile senzori-motorii, ca parte integrantă a unui program de recuperare, fac apel la o gamă largă de dispozitive precum discurile instabile (wobble board), tălpile balansoar, sau încălțăminta

Patients suffering from knee osteoarthritis present changes in proprioception and a reduction of mechanoreceptors surrounding ligaments [4]. The ability to control posture in these patients will also be affected by low muscle strength, especially the quadriceps, and pain. Total knee arthroplasty is a surgery commonly practiced in elderly patients with decreased mobility due to pain and muscle atrophy. These are sources of imbalance and lead to the inability to safely conduct normal activities.

The force platform is an indispensable tool for a complex posturographic assessment. Establishing an experimental protocol requires a good knowledge of both the postural parameters provided by the force platform and the correlations between these parameters and objectives established for the medical device. In this paper, the main objective considered was to evaluate postoperative stability after total knee arthroplasty surgery. Parameters correlated to maintaining balance and inferred from the trajectory of the center of pressure (COP) are sensitive enough to detect postural changes due to changing technical characteristics of medical devices [5].

The medical literature shows a number of correlations between parameters characterizing posture and their significance in terms of the activity that the body must perform to maintain or restore balance. Table 1 shows the significance of the stabilometric parameters - frequently cited in the literature and which can be measured using the force platform.

pentru antrenarea echilibrului [3].

Pacienții suferinți de gonartroză prezintă modificări ale propriocepției și o diminuare a mecanoreceptorilor din jurul ligamentelor [4]. Abilitatea de control a posturii la acești pacienți va fi afectată și datorită forței musculare scăzute, în special a quadricepsului, și a durerii. Artroplastia totală de genunchi este o intervenție ce se practică de obicei la pacienți vârstnici cu mobilitate scăzută datorită durerii și cu atrofii musculare. Acestea sunt cauze ale dezechilibrului și duc la imposibilitatea de desfășurare în condiții de siguranță a activităților obișnuite.

Platforma de forță reprezintă un instrument indispensabil pentru o evaluare posturografică complexă. Stabilirea unui protocol de experimentare presupune o bună cunoaștere atât a parametrilor posturali ce pot fi furnizați de platforma de forță, cât și a corelațiilor dintre acești parametri și obiectivele stabilite pentru dispozitivul medical. În prezentă lucrare, obiectivul principal luat în considerare a fost evaluarea stabilității postoperatorie după o operație de artroplastie a genunchiului. Parametrii care sunt corelați cu menținerea echilibrului și sunt deduși pe baza traectoriei centrului de presiune (COP) sunt suficienți de sensibili în detectarea modificărilor posturale datorate modificării caracteristicilor tehnice ale dispozitivelor medicale [5].

Literatura medicală prezintă o serie de corelații între parametrii ce caracterizează postura și semnificația acestora din punctul de vedere al activității pe care organismul uman trebuie să o desfășoare pentru menținerea sau redobândirea echilibrului. În Tabelul 1 se prezintă semnificația unor parametri stabilometri – frecvent citați de literatura de specialitate și măsurabili cu ajutorul platformei de forță.

Table 1: Correlations between stabilometric parameters and their significance  
Tabelul 1: Corelații între parametrii stabilometri și semnificația acestora

Parameter Parametru	Definition Definiție	Significance Semnificație
Protocol: Narrow vs. Wide base <i>Protocol: baza apropiată vs. baza depărtată</i>	- Narrow base: heels and first metatarsophalangeal joints touch - Wide base: distance = 17 cm, angle = 14° - <i>Baza apropiată:</i> călcâiele și articulația MF I se ating - <i>Baza depărtată:</i> distanța = 17 cm, unghiu format = 14°	Balance tests in narrow base position can distinguish between older persons who have had more falls than those who have not fallen. In general, there is an increase in center of pressure displacement for the first group, especially in the medio-lateral direction [6]. <i>Testele de echilibru cu baza apropiată pot distinge între persoanele vârstnice care au înregistrat mai multe căderi față de cele vârstnice care nu au căzut. În general, în cazul primei categorii se înregistrează o creștere a deplasării centrului de presiune, în special în direcția medio-laterală [6].</i>

Table 1: Continued  
Tabelul 1: Continuare

Parameter Parametru	Definition Definiție	Significance Semnificație
Fx vs. Time, Fy vs. Time, Fz vs. Time <i>Fx vs. Timp,</i> <i>Fy vs. Timp,</i> <i>Fz vs. Timp</i>	Graphs reaction force components Fx, Fy, Fz versus time <i>Graficele componentelor forței de reacțune Fx, Fy, Fz în funcție de timp</i>	Variability of ground reaction force components in certain time intervals corresponding to the test period characterize the posture adjustment process due to balance of weight from one foot to the other. Variability is analyzed by standard deviation for 5 time intervals corresponding to the test period. This variability characterizes postural changes that occur to restore static balance, changes resulting from the transfer of weight [7]. <i>Variabilitatea componentelor forței de reacțune din anumite intervale de timp corespunzătoare perioadei de testare caracterizează procesul de ajustare a posturii datorat balansului greutății de pe un picior pe celălalt. Variabilitatea este analizată prin intermediul deviației standard pentru 5 intervale de timp corespunzătoare perioadei de probă. Această variabilitate caracterizează modificările posturale ce au loc pentru refacerea echilibrului static, modificări rezultate din transferul greutății [7].</i>
FFT-COPX	FFT-COPX is the graph of Fourier transform of the x coordinate of the center of pressure trajectory. <i>FFT-COPX reprezintă graficul transformatiei Fourier a coordonatei x a traectoriei centrului de presiune.</i>	Fourier transform of a signal is the decomposition of the signal into a sum of sine and cosine functions characterized by different amplitudes and frequencies. This process is also known as spectral analysis. The predominant frequency or maximum frequency corresponds to the component with the maximum amplitude of the entire spectrum. The band with 80% of the power spectrum best characterizes postural control system changes [8]. <i>Transformata Fourier a unui semnal reprezintă descompunerea acestui semnal într-o sumă de funcții sinus și cosinus caracterizate prin diferite amplitudini și frecvențe. Acest proces mai este cunoscut sub denumirea de analiză spectrală. Frecvența predominantă sau frecvența maximă corespunde componentei cu amplitudine maximă din întregul spectru. Banda de frecvențe având 80% din spectrul de putere caracterizează cel mai bine modificările sistemului de control postural [8].</i>
The maximum speed of the center of pressure <i>Viteza maximă a centrului de presiune</i>	It represents the maximum value of the speed of the center of pressure <i>Reprezintă valoarea maximă a vitezei centrului de presiune</i>	It is a good indicator of the effort required to maintain stability [10]. <i>Reprezintă un bun indicator al necesarului de efort cerut de menținerea stabilității [10].</i>
Average speed (cm/s) <i>Viteza medie (cm/s)</i>	The ratio of the sway length and time of measurement <i>Reprezintă raportul dintre lungimea traectoriei centrului de presiune și timpul de măsurare</i>	The average speed of the center of pressure is a major determinant for balance maintaining, representing a parameter sensitive to the central nervous system activities performed to maintain posture. In the case of imbalances, intensified re-balancing efforts are reflected by a high average speed needed to restore posture [9]. Also, this parameter characterizes the overall postural performance, being associated with risk of falls [10]. It is influenced by age, presence or absence of visual information or the type of footwear worn. <i>Viteza medie a centrului de presiune este un determinant major al activității de menținere a echilibrului, reprezentând un parametru sensibil la activitățile sistemului nervos central efectuate pentru menținerea posturii. În cazul unor dezechilibre, eforturile de re-echilibrare mai intense sunt reflectate printr-o viteză medie ridicată necesară pentru restabilirea posturii [9]. De asemenea, acest parametru este un parametru care caracterizează performanța posturală generală, fiind asociat cu riscul de cădere [10]. Este influențat de vîrstă, prezența sau absența informațiilor vizuale sau tipul de încălțăminte purtat.</i>

Table 1: Continued  
Tabelul 1: Continuare

Parameter <i>Parametru</i>	Definition <i>Definiție</i>	Significance <i>Semnificație</i>
Sway length <i>Lungimea traiectoriei Centrului de presiune (COP)</i>	It represents the total distance covered by the COP during the test period <i>Reprezintă distanța totală parcursă de COP în timpul perioadei de testare</i>	For subjects with neurological conditions, medical literature shows a correlation between sway speed (which is correlated with the sway length) and sway area with different physiological processes involved in balance control. Thus, patients having vestibular system-related conditions respond by a greater sway area than normal patients, while patients with proprioceptive conditions show a higher sway length than normal subjects [11]. <i>În cazul unor subiecți cu afecțiuni neurologice, literatura medicală demonstrează existența unei corelații între viteza de balans (care este corelată cu lungimea traiectoriei) și aria de balans cu procese fizioleger diferite implicate în controlul echilibrului.</i> <i>Astfel, pacienții având în principal afecțiuni la nivelul sistemului vestibular răspund printr-o aria de balans mai mare decât cei normali, în timp ce pacienții cu afecțiuni proprioceptive demonstrează o mai mare lungime a traiectoriei COP decât subiecții normali [11].</i>
Sway area <i>Aria de balans</i>	It is the surface area that encloses the sway length in both x, y directions <i>Reprezintă aria suprafetei care încadrează traiectoria centrului de presiune în ambele direcții x, y</i>	
Medio-lateral or antero-posterior displacement <i>Deplasarea medio-laterală sau anteroposterioară</i>	Measures the amplitude of COP movements in medio-lateral (ML Sway) or anterior-posterior (AP Sway) direction <i>Măsoară amplitudinea mișcărilor COP în direcțiile medio-laterală (ML Sway) sau antero-posteroară (AP Sway)</i>	- it is correlated with the effectiveness of postural control, - it provides an image of the neuromuscular response to postural imbalances, - it is an indicator of the risk of falling [13]. <i>- este corelată cu eficacitatea sistemului de control postural,</i> <i>- reprezintă o imagine a răspunsului neuromuscular la dezechilibrele posturale,</i> <i>- este un indicator al riscului de cădere [13].</i>
Romberg quotient, QR <i>QR, Coeficientul Romberg</i>	QR = 100 · Pec/Peo	- it is expressed by the ratio of the considered parameter, P, measured with eyes closed (ec = eyes closed) and the same parameter measured with eyes open (eo = eyes opened) - it is the most widely used index for assessing the influence of the visual system in the study of postural performance. Measurements are performed in the order: eyes opened - eyes closed. <i>- este exprimat prin raportul dintre valoarea parametrului considerat, P, măsurat cu ochii închiși (ec = eyes closed) și valoarea același parametru măsurat cu ochii deschisi (eo = eyes opened),</i> <i>- reprezintă cel mai utilizat index pentru evaluarea influenței sistemului vizual în studiul performanței posturale. Măsurările sunt efectuate în ordinea: ochi deschisi – ochi închiși.</i>
Time-to-boundary (TTB) <i>Timpul până la depășirea marginii bazei de sprijin (TTB)</i>	It estimates the time for the center of pressure to reach the edge of the support area at a speed equal to the existing speed at a given moment <i>Estimează timpul în care centrul de presiune va atinge marginea bazei de sprijin la o viteză egală cu viteza existentă la momentul dat</i>	Decreased TTB values and variability reflect a low postural control. This parameter was found to be more sensitive in detecting low postural control associated with wearing different types of shoes, having as distinctive elements insoles with textured surfaces or heels with different volumes. Thus insoles with textured surfaces produced a significant decrease in the value and variability of TTB in the medio-lateral direction [14]. <i>Valorile și variabilitatea scăzute ale TTB reflectă un control postural scăzut. Acest parametru s-a dovedit a fi mai sensibil în detectarea unui control postural scăzut asociat cu purtarea unor tipuri diferite de încălțăminte, având ca elemente distinctive branțuri cu suprafețe cu texturi diferite sau tocuri de volume diferite. Astfel branțurile cu suprafețe texturate au produs o scădere semnificativă a valorii și variabilității TTB în direcția medio-laterală [14].</i>

There are many attempts to standardize stabilometric testing procedures. The process turns out to be difficult if we consider, for example, only the position of the feet. Thus, for the wide base position, the distance between the heels ranges between 2 and 17 cm depending on various anthropometric parameters, while the angle variation between the medial sides of the feet ranges between 14 and 30° [7, 12, 15, 16].

## EXPERIMENTAL. STABILOMETRIC ASSESSMENT

In this preliminary set of measurements two subjects were selected, whose data are presented in Table 2. These measurements were performed in a lengthy evaluation of the use of force platform in order to make the results of total knee arthroplasty surgery objective.

Table 2: Characteristics of subjects  
Tabelul 2: Caracteristicile subiecților

Subject <i>Subiect</i>	Age <i>Vârstă</i>	Gender <i>Sex</i>	Height, meters <i>Înălțime, metri</i>	Preoperative weight, N <i>Greutatea preoperator, N</i>	BMI <i>IMC</i>	Foot morphology <i>Morfologie picior</i>
Subject no. 1, S1 <i>Subiectul nr. 1, S1</i>	65	female <i>feminin</i>	1.65	744.1	27.9	Flat foot, unilateral HAV <i>Picior plat, HAV unilateral</i>
Subject no. 2, S2 <i>Subiectul nr. 2, S2</i>	55	female <i>feminin</i>	1.63	547.6	21.0	Apparently normal foot <i>Picior aparent normal</i>

The established protocol for performing measurements was the following:

– Bilateral orthostatic position, without shoes, on the AccuGait-AMTI force platform:

- conditions: eyes closed (EC) and eyes open (EO). Order of measurements was: eyes open (3 tests) followed by eyes closed (3 tests);
- recording time = 30 s.;
- number of tests = 3 for each condition;
- feet position = narrow base;
- arm position = normal, arms at the sides. The subject is focusing towards an achromatic circle with a diameter of 5 cm, placed at eye level at a distance of 1 meter from the subject;

Există numeroase încercări de standardizare ale procedurilor de testare stabilometrică. Procesul se dovedește a fi unul dificil dacă luăm în considerare, spre exemplu, numai poziția picioarelor. Astfel, pentru baza depărtată întâlnim valori ale distanței dintre călcâie între 2 și 17 cm în funcție de diverse parametri antropometrici, în timp ce unghiul dintre laturile mediale ale picioarelor domeniul de variație este cuprins între 14-30° [7, 12, 15, 16].

## PARTEA EXPERIMENTALĂ. EVALUARE STABILOMETRICĂ

În cadrul acestui set preliminar de măsurători au fost selectați doi subiecți ale căror date sunt prezentate în Tabelul 2. Aceste măsurători au fost efectuate în cadrul unei evaluări de lungă durată a utilizării platformei de forță pentru obiectivizarea rezultatelor unei intervenții chirurgicale de artroplastie a genunchiului.

Protocolul stabilit pentru efectuarea măsurătorilor a fost următorul:

– Poziție ortostatică bilaterală, fără încălțăminte pe platforma de forță AccuGait-AMTI:

- condiții: ochi închiși (EC) și ochi deschiși (EO). Ordinea de efectuare a măsurătorilor a fost: ochi deschiși (3 probe) urmată de ochi închiși (3 probe);
- timp de înregistrare = 30 s.;
- numărul de probe = 3 pentru fiecare condiție;
- poziția picioarelor = baza apropiată;
- poziția brațelor = normală, pe lângă corp. Privirea îndreptată către un cerc acromatic cu diametrul de 5 cm, plasat la nivelul ochilor, la o distanță de 1 metru de subiect;

- recording frequency = 100 Hz;
- signal filtering frequency = 5 Hz;
- 3 measurement sessions were conducted: preoperative (Pre), postoperative (Pos - after about 1 week) and after a recovery period (Rec - about 1 month).

Subjects were explained the experimental conditions in detail and signed the informed consent form. Enough time to practice measuring conditions and enough time for rest after each test were allowed. During tests with eyes closed, a person was present next to the subject so as to avoid any events generated by a potential imbalance and fall. During the three sessions of measurements no incident posing a potential risk to subjects falling was recorded.

## RESULTS AND DISCUSSIONS

The results are presented in Tables 3, 4 and 5 and in Figures 1 and 2. For the "eyes open" condition, data for subject no. 1 indicate an increase in stability after the recovery period, demonstrated by the lower values recorded for all selected parameters compared to session no. 1 - "preoperative". The medio-lateral displacement shows a decrease of 32.02%, the anterior-posterior of 33.05%, while the ellipse area comprising 95% of the data (Figure 2) recorded a decrease of 126.29% (Table 5, Figure 2).

Table 3: Variables selected for analysis for the 3 work sessions: preoperative, postoperative and recovery.

Average, standard deviation and coefficient of variation - subject no. 1

Tabelul 3: Variabilele selectate pentru analiză pentru cele 3 sesiuni de lucru: preoperator, postoperator și recuperare.

Media, deviația standard și coeficientul de variație - subiectul nr. 1

		PREoperator				POSToperator				Recuperare			
		X=ML	Y=AP			X=ML	Y=AP			X=ML	Y=AP		
SUBIECTUL NR.1	Condition	ML-Xrange	AP-Yrange	V Avg	Area95	ML-Xrange	AP-Yrange	V Avg	Area95	ML-Xrange	AP-Yrange	V Avg	Area95
	Trial	cm	cm	cm/sec	cm sq	cm	cm	cm/sec	cm sq	cm	cm	cm/sec	cm sq
EOCB	1	5.31	2.98	3.05	12.83	2.72	2.58	1.80	4.99	2.48	2.18	2.72	3.38
	2	3.28	3.04	2.72	8.86	2.84	1.73	1.90	3.66	3.67	2.60	2.87	5.44
	3	3.12	3.44	2.82	7.32	2.42	2.65	2.00	4.72	2.72	2.33	2.71	4.00
MEDIA EO		3.90	3.15	2.86	9.67	2.66	2.32	1.90	4.46	2.96	2.37	2.77	4.27
Stdev		1.22	0.25	0.17	2.84	0.22	0.51	0.10	0.70	0.63	0.21	0.09	1.06
Cv		31.28	7.93	5.91	29.40	8.13	22.08	5.26	15.77	21.28	8.98	3.24	24.73
ECCB	1	3.26	2.58	2.86	5.87	5.31	3.89	2.80	12.28	6.00	5.88	4.54	15.96
	2	5.08	3.86	2.87	9.04	5.33	4.12	2.93	12.34	4.38	4.78	4.01	12.82
	3	3.10	2.81	2.76	5.29	5.84	4.20	3.33	19.32	6.24	5.27	4.54	22.26
MEDIA EC		3.81	3.08	2.83	6.73	5.49	4.07	3.02	14.65	5.54	5.31	4.36	17.01
Stdev		1.10	0.68	0.06	2.02	0.30	0.16	0.28	4.05	1.01	0.55	0.31	4.81
Cv		28.84	22.13	2.15	29.98	5.47	3.95	9.15	27.63	18.26	10.38	7.01	28.26
ROMBERG		0.98	0.98	0.99	0.70	2.07	1.75	1.59	3.29	1.87	2.24	1.58	3.98

- frecvența de înregistrare = 100 Hz;
- frecvența de filtrare a semnalului = 5 Hz;
- au fost efectuate 3 sesiuni de măsurători: preoperator (Pre), postoperator (Pos - după aproximativ 1 săptămână) și după o perioadă de recuperare (Rec - de aproximativ 1 lună).

Subiecților li s-au explicitat în detaliu condițiile experimentale și au semnat Fișa de consimțământ informat. A fost acordat un timp suficient de practică a condițiilor de măsurare și după fiecare probă, suficient timp pentru odihnă. În timpul probelor cu ochii închisi a fost asigurată prezența unei persoane lângă subiect, astfel încât să fie evitate orice evenimente generate de o potențială dezechilibrire și cădere. În timpul celor 3 sesiuni de măsurători nu a fost înregistrat niciun incident care să reprezinte un potențial risc de cădere pentru subiecți.

## REZULTATE ȘI DISCUȚII

Rezultatele obținute sunt prezentate în Tabelele 3, 4 și 5 și Figurile 1 și 2. Din punctul de vedere al condiției „ochii deschiși”, datele pentru subiectul nr. 1 indică o creștere a stabilității după perioada de recuperare, demonstrată de valorile mai scăzute înregistrate pentru toți parametrii selectați comparativ cu sesiunea nr. 1 = „preoperator”. Astfel, deplasarea medio-laterală prezintă o scădere cu 32.02%, cea antero-posteroară de 33.05%, în timp ce aria elipsei cuprinzând 95% dintre date (Figura 2) a înregistrat o diminuare cu 126.29% (Tabelul 5, Figura 2).

In the absence of information provided by the visual system, in the "eyes closed" condition, the data indicate an increase in instability both for postoperative compared to preoperative, and after recovery compared to preoperative. Thus, confronting results after recovery compared to preoperative, there is an increase of 31.17% in the medio-lateral displacement, of 41.93% in anterior-posterior displacement, while the average speed of COP increases by 35.14%, and area of the ellipse by 60.42%.

Table 4: Variables selected for analysis for the 3 work sessions: preoperative, postoperative and recovery.  
Average, standard deviation and coefficient of variation - subject no. 2

Tabelul 4: Variabilele selectate pentru analiză pentru cele 3 sesiuni de lucru: preoperator, postoperator și recuperare.  
Media, deviația standard și coeficientul de variație - subiectul nr. 2

		PREoperator				POSToperator				Recuperare			
		X=ML	Y=AP			X=ML	Y=AP			X=ML	Y=AP		
SUBIECTUL NR. 2		ML-Xrange	AP-Yrange	V Avg	Area95	ML-Xrange	AP-Yrange	V Avg	Area95	ML-Xrange	AP-Yrange	V Avg	Area95
Condition	Trial	cm	cm	cm/sec	cm sq	cm	cm	cm/sec	cm sq	cm	cm	cm/sec	cm sq
EOCB	1	2.02	2.39	1.62	3.91	1.98	2.56	2.02	2.88	2.49	1.95	1.99	4.17
	2	2.53	2.68	1.62	5.23	2.27	3.81	2.62	4.31	2.82	2.51	2.03	5.07
	3	2.85	2.13	1.64	4.13	2.38	2.91	2.05	3.47	2.41	2.36	1.81	4.38
MEDIA EO		<b>2.47</b>	<b>2.40</b>	<b>1.63</b>	<b>4.42</b>	<b>2.21</b>	<b>3.09</b>	<b>2.23</b>	<b>3.55</b>	<b>2.57</b>	<b>2.27</b>	<b>1.94</b>	<b>4.54</b>
Stdev		<b>0.42</b>	<b>0.28</b>	<b>0.01</b>	<b>0.71</b>	<b>0.21</b>	<b>0.64</b>	<b>0.34</b>	<b>0.72</b>	<b>0.22</b>	<b>0.29</b>	<b>0.12</b>	<b>0.47</b>
Cv		<b>16.97</b>	<b>11.46</b>	<b>0.71</b>	<b>15.99</b>	<b>9.35</b>	<b>20.85</b>	<b>15.16</b>	<b>20.22</b>	<b>8.45</b>	<b>12.75</b>	<b>6.03</b>	<b>10.37</b>
ECCB	1	4.80	3.19	2.87	8.50	3.83	3.90	3.73	9.49	2.35	2.60	2.52	3.29
	2	5.13	2.68	2.95	11.26	2.63	2.47	2.82	4.80	3.03	2.68	2.72	5.53
	3	3.70	2.45	2.48	5.98	2.74	2.94	3.07	6.14	4.33	3.49	3.26	8.00
MEDIA EC		<b>4.54</b>	<b>2.77</b>	<b>2.77</b>	<b>8.58</b>	<b>3.07</b>	<b>3.10</b>	<b>3.21</b>	<b>6.81</b>	<b>3.24</b>	<b>2.92</b>	<b>2.83</b>	<b>5.61</b>
Stdev		<b>0.75</b>	<b>0.38</b>	<b>0.25</b>	<b>2.64</b>	<b>0.66</b>	<b>0.73</b>	<b>0.47</b>	<b>2.42</b>	<b>1.01</b>	<b>0.49</b>	<b>0.38</b>	<b>2.36</b>
ROMBERG		<b>16.48</b>	<b>13.66</b>	<b>9.09</b>	<b>30.78</b>	<b>21.63</b>	<b>23.49</b>	<b>14.66</b>	<b>35.47</b>	<b>31.08</b>	<b>16.84</b>	<b>13.51</b>	<b>42.02</b>
		<b>1.84</b>	<b>1.16</b>	<b>1.70</b>	<b>1.94</b>	<b>1.39</b>	<b>1.00</b>	<b>1.44</b>	<b>1.92</b>	<b>1.26</b>	<b>1.29</b>	<b>1.46</b>	<b>1.23</b>

Data for subject no. 2 show a different behaviour compared to the first subject. Thus by comparing the data from the recovery period with the preoperative, in the presence of visual information, there was an increase of 4.15% in the medio-lateral displacement, a decrease of 5.57% in the anterior-posterior displacement, an increase of 16.30% of average speed and an increase of 2.57% in the ellipse area. In the absence of visual information, an increased stability is noticed compared to subject no. 1, as evidenced by the decrease of 40.37% in the medio-lateral displacement and of 53.03% in the ellipse area, given that the antero-posterior displacement and average speed had slight increases of 5.13 and 2.35%, respectively (Table 5, Figure 2).

În absența informațiilor oferite de sistemul vizual, în condiția „ochi închiși”, datele indică o creștere a instabilității, atât postoperator față de preoperator, cât și după recuperare față de preoperator. Astfel, comparând rezultatele după recuperare față de preoperator, obținem o creștere de 31.17% a deplasării medio-laterale, de 41.93% pentru deplasarea antero-posteroară, în timp ce viteza medie a COP crește cu 35.14%, iar aria elipsei, cu 60.42%.

Datele pentru subiectul nr. 2 indică un comportament diferit față de primul subiect. Astfel comparând datele după perioada de recuperare cu cele preoperatorii, în prezența informațiilor vizuale, s-a înregistrat o creștere cu 4.15% a deplasării mediolaterale, o scădere cu 5.57% a deplasării antero-posteroare, o creștere cu 16.30% a vitezei medii și o creștere de 2.57% a ariei elipsei. În absența informațiilor vizuale se observă o creștere a stabilității comparativ cu subiectul nr. 1, evidențiată de scăderea cu 40.37% a deplasării medio-laterale și a ariei elipsei cu 53.03%, în condițiile în care deplasarea antero-posteroară și viteza medie au avut creșteri mici, de 5.13 și respectiv de 2.35% (Tabelul 5, Figura 2).

Table 5: Relative variation of selected stabilometric parameters

Tabelul 5: Variația relativă a parametrilor stabilometrii selectați

Subiectul nr. 1	EC- OCHI DESCHISI				EC- OCHI INCHISI			
	ML-Xrange	AP-Yrange	V Avg	Area95	ML-Xrange	AP-Yrange	V Avg	Area95
Preop / Postop	-46.74	-35.92	-50.70	-116.98	30.58	24.24	6.29	54.03
Postop / Rec	10.03	2.11	31.33	-4.29	0.84	23.35	30.79	13.91
Preop / Rec	-32.02	-33.05	-3.49	-126.29	31.17	41.93	35.14	60.42
Subiectul nr. 2	ML-Xrange	AP-Yrange	V Avg	Area95	ML-Xrange	AP-Yrange	V Avg	Area95
Preop / Postop	-11.61	22.41	27.06	-24.48	-48.15	10.63	13.72	-25.99
Postop / Rec	14.12	-36.07	-14.75	21.73	5.25	-6.16	-13.18	-21.46
Preop / Rec	4.15	-5.57	16.30	2.57	-40.37	5.13	2.35	-53.03

Note: "+" = increase in session 2 (ex. recovery) in relation to session 1 (ex. preoperative); "-"= decrease in session 2 in relation to session 1

Semnificații: „+” = creștere în sesiunea 2 (ex. recuperare) în raport cu sesiunea 1 (ex. preoperator); „-”= descreștere în sesiunea 2 în raport cu sesiunea 1

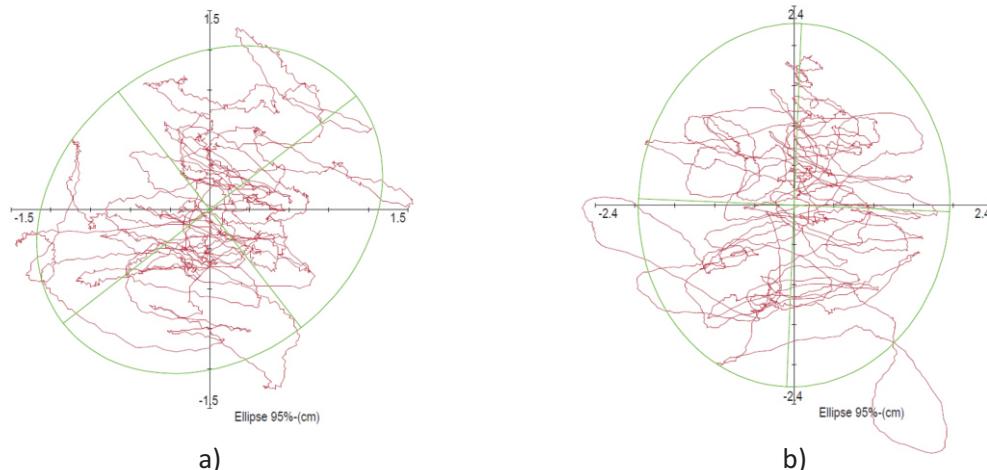


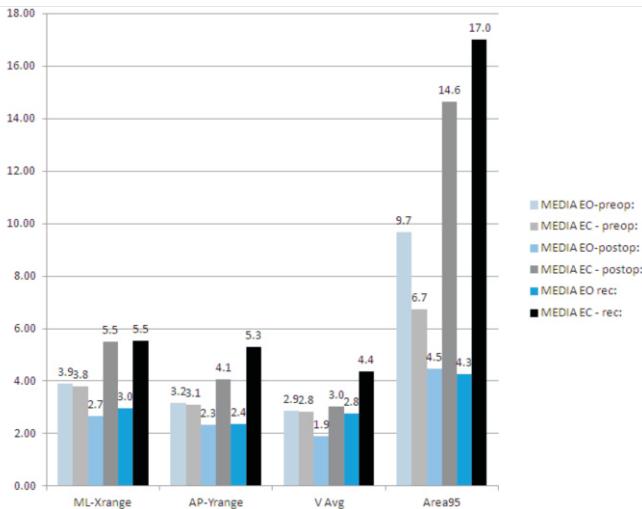
Figure 1. Example for ellipse comprising 95% of data for the “eyes closed” condition:  
a) preoperative, b) after recovery period

Figura 1. Exemplu pentru elipsa conținând 95% dintre date pentru condiția „ochi închiși”:  
a) preoperator, b) după perioada de recuperare

Rome [17] has shown that rigid medical devices (hardness of 70° - without specifying the hardness scale) placed inside the shoes can improve postural control in 4 weeks for subjects with overpronated feet, such as subject no. 1. The explanation of this effect is that by stabilizing the hindfoot and limiting overpronation, a greater control is exerted over internal rotation of the tibia, and therefore, of the knee, implicitly leading to improved balance. Menz and Lord [18] take into account a number of shoe design parameters that can lead to an improved balance

Rome [17] a demonstrat faptul că dispozitivele medicale rigide (duritate 70° - fără a se preciza scala de duritate) introduse în încălțăminte pot îmbunătăți controlul postural în timp de 4 săptămâni pentru subiecții având picioare excesiv pronate, cum este cazul subiectului nr. 1. Explicația acestui efect constă în faptul că prin stabilizarea retropiciorului și limitarea pronăției excesive se exercită un control mai mare asupra rotației interne a tibiei și, implicit, a genunchiului și, în consecință, contribuie la îmbunătățirea echilibrului. Menz și Lord [18] iau în calcul o serie de parametri constructivi ai încălțămintei care pot influența îmbunătățirea echilibrului prin controlul frecării cu

through control of friction with the support area, influencing moments of motion in the foot joints through geometric design parameters or through characteristics of the materials used in sole design.



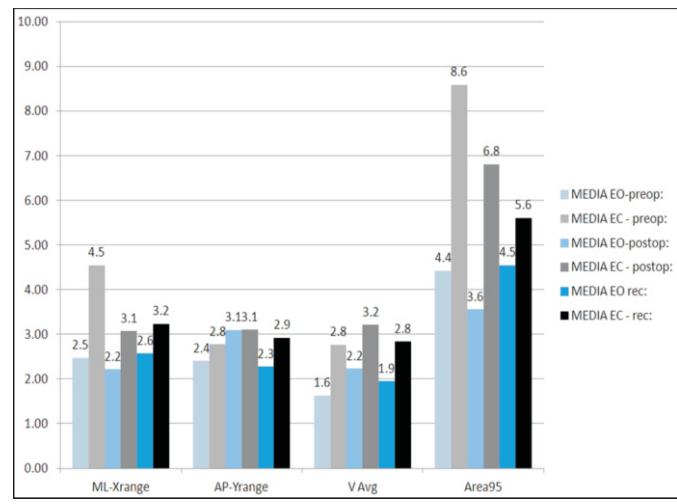
a)

Figure 2. Variation of selected values for the 3 work sessions - preoperative, postoperative and recovery: a) subject 1, b) subject 2

Figura 2. Variația valorilor selectate pentru cele 3 sesiuni de lucru - preoperator, postoperator și recuperare: a) subiectul 1, b) subiectul 2

The number of subjects analyzed in this paper is very small - only 2 subjects - which prevents the formulation of general conclusions. Furthermore, the data reveals a contradictory behavior between the two subjects, which can be explained by the difference between the foot morphology of the 2 subjects (subject 1 has a flat foot with advanced hallux valgus in the right foot, while subject no. 2 has an apparently normal foot). Although the number of subjects participating in this study is small, it should be considered that in the normal activity of a clinic, the specialist should be able to form a treatment plan starting from the individual and sometimes contradictory results obtained from testing. The presented results indicate an improved balance for subject no. 2 compared to subject no. 1. Based on data from the medical literature it is recommended that subject no.1 be prescribed a medical device - therapeutic shoes or foot orthoses to improve balance in particular by reducing the medio-

suprafață de sprijin, influențarea momentelor de mișcare din articulațiile piciorului prin parametrii geometrici constructivi sau prin caracteristicile materialelor utilizate la proiectarea tălpii.



b)

Numărul de subiecți analizați în această lucrare este foarte mic – doar 2 subiecți – ceea ce împiedică formularea unor concluzii generale. Mai mult, datele relevă un comportament contradictoriu între cei doi subiecți, comportament care poate fi explicat și prin diferența dintre morfologia picioarelor celor 2 subiecți (subiectul 1 prezintă un picior plat cu halux valgus avansat la piciorul drept, în timp ce piciorul subiectului nr. 2 este aparent normal). Deși numărul subiecților participanți în acest studiu este mic, trebuie considerat faptul că în activitatea normală a unei clinici, specialistul trebuie să poată să-și formeze un plan terapeutic plecând de la rezultatele individuale și uneori contradictorii obținute în urma testărilor. Rezultatele prezentate indică o îmbunătățire a echilibrului pentru subiectul nr. 2 comparativ cu subiectul nr. 1. Pe baza datelor din literatura medicală putem considera că în cazul subiectului nr. 1 este indicată prescripția unui dispozitiv medical – încălțăminte terapeutică sau orteze pentru picior cu rolul de a îmbunătăți echilibrului în special prin

lateral sway. Thus, in order to reduce the ellipse area containing 95% of the data it is indicated to increase the support area by using a lateral flare, while to reduce medio-lateral sway, a customized foot orthoses made of rigid materials can be used. Also, the presented data can be of great use to evaluate the recovery program, given that in order to control movement in frontal and sagittal planes, different muscle groups are involved.

Diminishing balance immediately after surgery is consistent with the results of the study conducted by Gstoettner [19], patients not being subjected to a protocol of proprioception education before surgery. In addition to decreased proprioception in the postoperative period, another possible cause of reduced stability is the low muscle tone and strength. If patients are not subjected to the protocol of proprioception education in the preoperative period, the only way to increase the stability is by exercising muscle groups, which can be done by using orthoses.

## CONCLUSIONS

A correct posture is a prerequisite for the effective functioning of the human body. Stabilometry is a method for assessing static posture. In stabilometric assessments, the force platform is a tool offering a multitude of parameters which can be correlated with both the risk of falls, maintaining a correct posture, the effort required to maintain balance and the design parameters of medical devices.

Efforts to standardize elements of stabilometric procedures have led to establishing broad principles but the results cannot be said to represent a consensus of experts. The best example is that of foot position, for which this paper presented no less than 4 variants. This makes it difficult to compare the results of different works and therefore increased attention should be paid to specifying the procedures used.

In this work we studied the evolution of a representative selection of stabilometric parameters by analyzing two subjects who underwent surgery for total knee arthroplasty. Assessments were made preoperatively, postoperatively and after a recovery

reducere balansului medio-lateral. Astfel, pentru reducerea ariei elipsei conținând 95% dintre date este indicată creșterea bazei de sprijin prin utilizarea unei tălpi cu suprafață mărită (lateral flare), în timp ce pentru reducerea balansului mediolateral poate fi utilizată o orteză pentru picior individualizată, construită din materiale rigide. De asemenea, datele prezente pot fi de un real folos evaluării programului de recuperare, dat fiind faptul că, pentru controlul mișcării în plan frontal și sagital sunt implicate grupe musculare diferite.

Diminuarea echilibrului imediat postoperator este în concordanță cu rezultatele studiului efectuat de Gstoettner [19], pacienții nefiind supuși unui protocol de educare a propriocepției în preoperator. Pe lângă scăderea propriocepției în perioada postoperatorie, o altă cauză posibilă a scăderii stabilității este reprezentată de scăderea tonusului și forței musculare. Dacă pacienții nu sunt supuși protocolului de educare a propriocepției în perioada preoperatorie, singura posibilitate de creștere a stabilității este reprezentată de educarea grupelor musculare, ceea ce se poate realiza prin utilizarea ortezelor.

## CONCLUZII

O postură corectă reprezintă o condiție esențială pentru o funcționare eficientă a corpului uman. Stabilometria reprezintă o metodă de evaluare statică a posturii. În cadrul evaluărilor stabilometrice, platforma de forță reprezintă un instrument care oferă o multitudine de parametri ce pot fi corelați atât cu riscul de cădere, performanța menținerii unei posturi corecte, efortul necesar menținerii echilibrului, cât și cu parametrii constructivi ai dispozitivelor medicale.

Eforturile de standardizare a elementelor procedurilor stabilometrice au dus la enunțarea unor principii generale, dar nu se poate afirma faptul că rezultatele obținute reprezintă un consens al specialiștilor. Cel mai elovent exemplu este cel al poziției picioarelor, pentru care în această lucrare s-au prezentat nu mai puțin de 4 variante. Acest fapt face dificilă comparația între rezultatele diferitelor lucrări și, de aceea, o atenție sporită trebuie acordată precizării procedurilor folosite.

În cadrul acestei lucrări s-a studiat evoluția unei selecții a parametrilor stabilometrii reprezentativi, fiind analizați 2 subiecți care au trecut printr-o intervenție chirurgicală de artroplastie a genunchiului. Evaluările au fost făcute preoperator, postoperator și

period of approximately one month. The main parameters analyzed (COP displacement, average speed of COP and ellipse area of 95%) are cited in the literature as a reflection of general postural control and are correlated with the technical parameters for the design of medical devices having an active role in maintaining balance.

The results reveal the existence of a different behaviour in subjects after surgery. The formulation of a general conclusion is impossible in this situation. However, in clinical terms, the specialist should be aware of the subjective response of each patient and should base treatment prescription on both clinical tests based on medical evidence and on the individual response of the subject in the procedure used.

The stabilometric assessment procedure to provide technical parameters for design of medical devices used in the conservative treatment of the foot is dependent on the objective of stabilometric assessment and must contain the following elements:

- number of experimental sessions (e.g. reference after conservative intervention after a period of medical recovery);

- conditions: eyes closed (EC) and eyes open (EO).

The order of measurements is: open eyes followed by closed eyes;

- measurement time;
- number of tests for each condition;
- foot position;
- position of the body/arms;
- recording frequency;
- signal filtering frequency;

- a favourable environment for conducting stabilometric measurements (level of noise, distracting elements etc.).

This procedure is applicable regardless of the type of intervention: surgery or conservative intervention (based on medical device). In Romania the medical device design specialist is not involved in the interdisciplinary team assessing patients pre- and post-intervention. This paper shows the importance of including such a specialist because, in the case of subject no. 1, the existence of a bilateral flat foot and a

după o perioadă de recuperare de aproximativ 1 lună. Principalii parametri analizați (deplasarea COP, viteza medie a COP și aria elipsei 95%) sunt citați în literatura de specialitate ca fiind o reflectare a performanței controlului postural general și sunt corelați cu parametrii tehnici de proiectare a dispozitivelor medicale cu rol activ în menținerea echilibrului.

Rezultatele obținute au evidențiat existența unui comportament subiectiv diferit în urma intervenției chirurgicale. Formularea unor concluzii generale este imposibilă în această situație. Totuși, din punct de vedere clinic, specialistul trebuie să fie conștient de răspunsul subiectiv al fiecărui pacient și să-și bazeze prescripția tratamentului atât pe studiile clinice bazate pe dovezile medicale, cât și pe răspunsul individual al subiectului în cadrul procedurii folosite.

Procedura de evaluare stabilometrică pentru furnizarea unor parametri tehnici de proiectare a dispozitivelor medicale destinate tratamentului conservativ al piciorului este dependență de obiectivul evaluării stabilometrice și trebuie să conțină următoarele elemente:

- numărul de sesiuni experimentale (spre exemplu, referință, după intervenția conservativă, după o perioadă de recuperare medicală);

- condiții: ochi închiși (EC) și ochi deschisi (EO).

Ordinea de efectuare a măsurătorilor este: ochi deschisi urmată de ochi închiși;

- timpul de măsurare;

- numărul de probe pentru fiecare condiție;

- poziția picioarelor;

- poziția corpului/brațelor;

- frecvența de înregistrare;

- frecvența de filtrare a semnalului;

- un ambient propice pentru efectuarea măsurătorilor stabilometrice (nivel de zgomot, elemente ce pot distrage atenția etc.).

Această procedură este aplicabilă indiferent de tipul intervenției: intervenție chirurgicală sau intervenție conservativă (bazată pe dispozitiv medical). În România nu există o practică curentă în includerea specialistului în proiectarea dispozitivelor medicale în echipă interdisciplinară de evaluare pre și post intervenție a pacienților. Lucrarea de față arată importanța includerii unui astfel de specialist, deoarece, în cazul subiectului nr. 1, existența unui picior plat bilateral și a unui halux valgus pronunțat unilateral

pronounced unilateral hallux valgus negatively influences gait biomechanics. Medical evidence shows that medical devices are useful or recommended in such situations. For these reasons we believe that a medical device - therapeutic shoes - is an integral part of the rehabilitation program.

influențează biomecanica mersului într-un mod negativ. Dovezile medicale demonstrează faptul că dispozitivele medicale sunt utile sau indicate în astfel de situații. Din aceste motive considerăm că un dispozitiv medical – încălțăminte terapeutică – reprezintă o parte integrantă a programului de recuperare.

## REFERENCES

1. Nigg, B., Hintzen, S., Ferber, R., Effect of an unstable shoe construction on lower extremity gait characteristics, *Clin Biomech*, **2006**, 21, 1, 82–88.
2. Goryachev, Y. et al., The effect of manipulation of the center of pressure of the foot during gait on the activation patterns of the lower limb musculature, *J Electromyogr Kines*, **2011**, 21, 333–339.
3. Liebenson, C., Sensory-Motor Training, Part I, *Dynamic Chiropractic*, **2001**, 19, 09.
4. Barrett, D.S., Cobb, A.G., Bentley, G., Joint proprioception in normal, osteoarthritic and replaced knees, *J Bone Joint Surg Br*, **1991**, 73, 53–56.
5. Shimizu, M., Andrew, P., Effect of heel height on the foot in unilateral standing, *J Phys Ther Sci*, **1999**, 11, 95–100.
6. Melzer, I., Benjuya, N., Kaplanskip, J., Postural stability in the elderly a comparison between fallers and non-fallers, *Age Ageing*, **2004**, 33, 602–607.
7. Jonsson, E., Seiger, A., Hirschfeld, H., One-leg stance in healthy young and elderly adults a measure of postural steadiness, *Clin Biomech*, **2004**, 19, 688–694.
8. Duarte, M., Freitas, S.M., Revision of posturography based on force plate for balance evaluation, *Rev Bras Fisioter*, São Carlos, **2010**, 14, 3, 183-92.
9. Siqueira, C.M. et al., Misalignment of the knees: Does it affect human stance stability, *J Bodyw Mov Ther*, **2011**, 15, 235-241.
10. Ruhe, A., Fejer, R., Walker, B., The test-retest reliability of centre of pressure measures in bipedal static task condition A systematic review of the literature, *Gait Posture*, **2010**, 32, 436–445.
11. Yasuda, T., Nakagawa, T., Inoue, H., Iwamoto, M., The role of the labyrinth, proprioception and plantar mechanosensors in the maintenance of an upright posture, *Eur Arch Otorhinolaryngol*, **1999**, 256, S27–32.
12. Chiari, L. et al., Stabilometric parameters are affected by anthropometry and foot placement, *Clin Biomech*, **2002**, 17, 666–677.
13. Hatton, A.L., Rome, K., Postural Stability Measurement Implications for Footwear Interventions, in Ravindra S. Goonetilleke (Ed.), *The science of footwear*, **2012**, 513-534, Boca Raton, FL, United States: CRC Press.
14. Borg, F., Herrala, M., The Pilot Stabilometric System, Biosignals Project, Jyväskylä University, Chydenius Institute, Version 3/16/04, **2004**.
15. Pinsault, N., Vuillerme, N., Test–retest reliability of centre of foot pressure measures to assess postural control during unperturbed stance, *Med Eng Phys*, **2009**, 31, 276–286.
16. Baratto, L. et al., A new look at posturographic analysis in the clinical context sway density vs. other parametrization techniques, *Motor Control*, **2002**, 6, 246-270.
17. Rome, K., Brown, C.L., Randomized clinical trial into the impact of rigid foot orthoses on balance parameters in excessively pronated feet, *Clin Rehabil*, **2004**, 18, 624.

18. Menz, H.B., Lord, S.R., Footwear and Postural Stability in Older People, *J Am Podiatr Med Assoc*, **1999**, 89, 7.
19. Gstoechner, M., Raschner, C., Dirnberger, E., Leimser, H., Krismer, M., Preoperative proprioceptive training in patients with total knee arthroplasty, *The Knee*, **2011**, 18, 265–270.