

## NORMATÍVNE DATABÁZY CHÔDZE V PRAXI NORMATIVE GAIT DATABASES IN PRACTICE

J. Majerník, D. Šimšík

*Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra prístrojového a biomedicínskeho inžinierstva,  
Letná 9, 042 00 Košice, Slovakia*

**Summary** The gait analysis history brought a lot of methods and methodologies. It became a standard to collect data and create databases of human gait characteristics. One of the reasons is to derive standard deviations to be able compare patients' data. The most laboratories create their own databases to ensure objectivity in evaluation of pathological gait cases. Acquired normative data of lower limb anatomical joint angles were compared with normative data of three different world laboratories in this study. Methods of statistical characteristics testing were used for their comparison. The results of these tests showed considerable differences at the significance level  $\alpha=0.05$ . It is evident, that there is still no standard database to compare gait data acquired in different laboratories. The trends are to establish standard roles for data acquisition to ensure objective assessment of patients' gait.

**Abstrakt** V priebehu histórie vývoja metód analýzy chôdze sa stalo štandardom zbierať dáta a vytvárať databázy charakteristík ľudskej chôdze. Jedným z dôvodov je aj odvodenie štandardných odchýlok s ktorými sú porovnávané dáta pacientov. Väčšina laboratórií vytvára vlastné databázy tak, aby bola zaručená objektivita pri porovnávaní patologických prípadov. Získané normatívne dáta uhlov anatomických kĺbov dolnej končatiny boli v tejto štúdií porovnané pomocou metód testovania štatistických charakteristík s normatívnymi dátami troch svetových laboratórií. Výsledky testovania vykázali na hladine významnosti  $\alpha=0,05$  značné rozdiely. Z vykonaných testov vyplýva, že zatiaľ neexistuje štandardná databáza pomocou ktorej by bolo možné porovnávať dáta získané v rôznych laboratóriách. Trendy smerujú k vytvoreniu pravidiel pre odvodenie dát tak, aby bolo zaručené objektívne vyhodnocovanie chôdze pacientov.

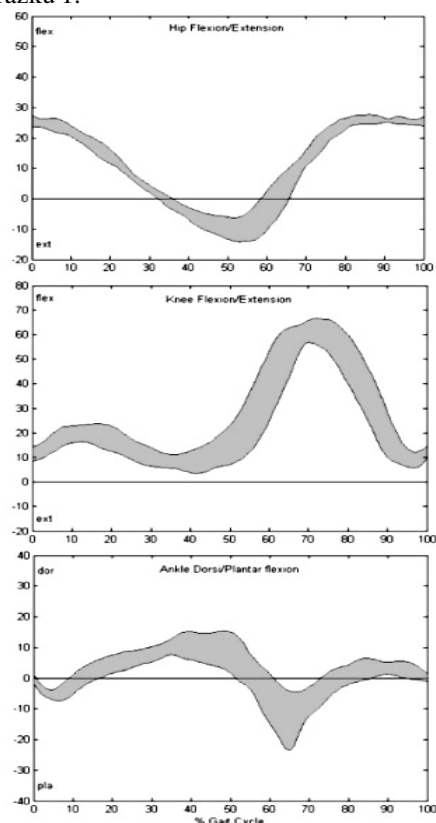
### 1. ÚVOD

Základným prejavom života každej bytosti je jej pohyb. Pohyb prebieha podľa fyzikálnych zákonov a je riadený zameraním sledujúcim určitý cieľ, ktorý si bytosť sama určuje. Človek svoju pohybovú aktivitu realizuje v rozličných formách predstavujúcich hlboko fixované dynamické stereotypy a pohybové návyky. Jednou z najcharakteristickejších foriem pohybu človeka je lokomócia, ktorá zahŕňa každý pohyb premiestňujúci telo. Najbežnejšou formou lokomócie je chôdza sprevádzajúca nesmierne množstvo aktivít človeka. Je preto pochopiteľné, že sa analýza chôdze stala predmetom záujmu mnohých vedeckých štúdií.

Výskum v oblasti analýzy chôdze inšpiroval rozvoj súboru mnohých špeciálnych metód a techník. Špecializované laboratóriá a výskumné pracoviská zároveň zhromažďujú príslušné dáta chôdze zdravých aj patologických prípadov a vytvárajú ich databázy. Dáta zdravých subjektov sú používané pre odvodenie normatívnych databáz podľa ktorých sú porovnávané a ohodnocované odchýlky patologických prípadov chôdze. Kritériá pre vytváranie normatívnych databáz býva viacero a zvyčajne si ich pracoviská prispôbujú svojim požiadavkám. Normatívne databázy tak môžu byť vytvárané zvlášť pre mužov, ženy, deti, mladých či starých a pod.

Veľmi často prezentovanými a porovnávanými sú kinematické parametre. Mnoho laboratórií, používa na ohodnotenie „kvality“ chôdze pacientov normatívne databázy získané z iných laboratórií. Aj preto bolo cieľom tejto štúdie porovnať dostupné

databázy a určiť do akej miery sa zhodujú, resp. nezahodujú. Príklad normatívnej databázy uhlov anatomických kĺbov dolnej končatiny je znázornený na obrázku 1.



Obr. 1. Normatívna databáza uhlov anatomických kĺbov dolnej končatiny.

Fig. 1. Normative database of lower limb anatomical joint angles.

Porovnávané boli databázy uhlov anatomických kĺbov dolnej končatiny v sagitálnej rovine. Boli to uhly flexie/extenzie bedra, flexie/extenzie kolena a plantárnej/dorzálnej flexie členka. Normatívna databáza uhlov dolnej končatiny znázornená na obrázku 1 reprezentuje hodnoty mladých zdravých jedincov získaných naším „marker-free“ systémom analýzy chôdze MAFRAN (jeho popis nie je predmetom tohto príspevku). Z hľadiska aplikácie je možné tieto dáta dopĺňať o dáta ďalších zdravých subjektov.

## 2. METODIKA

Na testovanie zhody normatívnych dát chôdze, t.j. na overenie či je rozdiel medzi nimi významný alebo nie, sme použili štatistické úvahy založené na vzájomnom porovnávaní štatistických charakteristík. Normatívne dáta uhlov anatomických kĺbov dolnej končatiny boli porovnávané pomocou testovania významnosti rozdielu medzi dvoma výberovými priermi. Do štúdie boli zahrnuté normatívne dáta získané:

- z deviatich mladých dospelých subjektov na Musgrave Park Hospital, Belfast, N. Ireland, tímom doktora Richarda Bakera. Na analýzu chôdze použili šesť kamerový systém Vicon 370 verziu 2,5.
- Jeremy Linskill-om z LimbFitting Centre v Dundee, Scotland, ktorý vykonal merania na skupine 5 zdravých mladých dospelých subjektov a zopakoval ich 5 krát pomocou systému Vicon VX s piatimi kamerami.
- na Hong Kong Polytechnic University doktorom Chris Kirtley-om na skupine 10 mladých dospelých subjektov pomocou 6 kamerového systému Vicon 370.
- získané systémom MAFRAN na Technickej univerzite v Košiciach na skupine 5 mladých zdravých subjektov.

Všetky dáta boli určené strednou hodnotou a štandardnou odchýlkou. Pri testovaní podobnosti bolo potrebné rozhodnúť či možno považovať priemery neznámych základných súborov za rovnaké. Proces testovania vykonáme pomocou nasledujúcej navrhnutej metodiky:

Priemery dvoch neznámych základných súborov označíme ako  $\zeta_1$  a  $\zeta_2$ . Potom stanovíme nulovú hypotézu a to tak, že rozptyly dvoch neznámych základných súborov budú rovnaké. Ďalej zvolíme hladinu významnosti  $\alpha$ , t.j. pravdepodobnosť, že náhodný rozdiel bude väčší ako kritická hodnota. V praxi volíme  $\alpha = 0,05$  alebo  $\alpha = 0,01$ . Pre klinické aplikácie zvyčajne postačuje hodnota  $\alpha = 0,05$  a odchýlky presahujúce kritické hodnoty potom hodnotíme ako štatisticky významné pri zvolenej hladine významnosti.

Potom otestujeme nulovú hypotézu, pričom potrebujeme na základe dvoch výberových rozptylov  $s_1^2$  a  $s_2^2$  rozhodnúť, či je možné považovať neznáme

rozptyly základných súborov  $\sigma_1^2$  a  $\sigma_2^2$  za rovnaké. Test urobíme podľa obojstranného F-testu pre  $\alpha = 0,05$ . Veličinu  $F$  vypočítame ako pomer:

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2}, \quad (1)$$

$F$  predstavuje testovacie kritérium a má  $F$ -rozdelenie s  $k_1 = n_1 - 1$  a  $k_2 = n_2 - 1$  stupňami voľnosti. Ďalej stanovíme príslušné stupne voľnosti  $k_1$  a  $k_2$  a z tabuliek vyhľadáme pre príslušné  $\alpha$  kritické hodnoty  $F_{\alpha/2, k_1, k_2}$  a  $F_{1-\alpha/2, k_1, k_2}$ . Tieto následne porovnáme s testovacím kritériom. Ak platí:

$$F_{\alpha/2, k_1, k_2} < F < F_{1-\alpha/2, k_1, k_2}, \quad (2)$$

tak nulovú hypotézu prijímame. V opačnom prípade ju zamietneme.

Ak sme prijali nulovú hypotézu potom testovacie kritérium pre rovnosť stredných hodnôt bude mať tvar:

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}} \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}}, \quad (3)$$

Toto kritérium má Studentovo rozdelenie s  $k = n_1 + n_2 - 2$  stupňami voľnosti. Kritickú hodnotu  $t_\alpha$  pre zvolenú hladinu významnosti  $\alpha$  a príslušný počet stupňov voľnosti porovnáme s testovacím kritériom. Ak je kritická hodnota  $t_\alpha$  väčšia alebo rovná absolútnej hodnote testovacieho kritéria, potom priemery základných súborov považujeme za rovnaké, teda tvrdíme, že normatívne dáta na zvolenej hladine významnosti považujeme za zhodné. Avšak, ak je kritická hodnota menšia ako vypočítaná hodnota testovaného kritéria, potom považujeme rozdiel medzi normatívnymi dátami na zvolenej hladine významnosti za štatisticky významný.

Ak sme zamietli nulovú hypotézu potom testovacie kritérium pre rovnosť stredných hodnôt bude mať tvar:

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1 - 1} + \frac{s_2^2}{n_2 - 1}}}, \quad (4)$$

a kritickú hodnotu vypočítame podľa vzťahu:

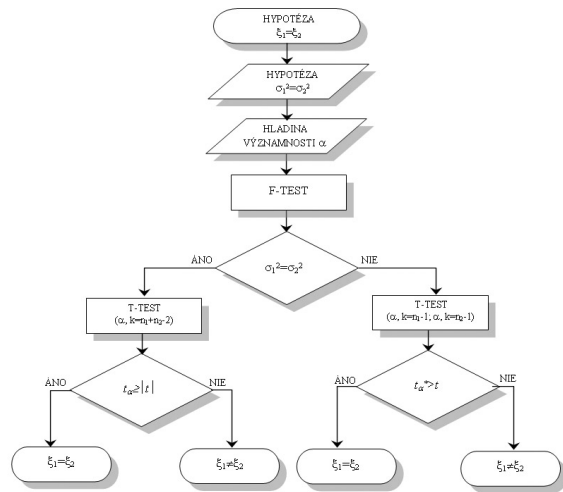
$$t_\alpha^* = \frac{t'_\alpha \frac{s_1^2}{n_1 - 1} + t''_\alpha \frac{s_2^2}{n_2 - 1}}{\frac{s_1^2}{n_1 - 1} + \frac{s_2^2}{n_2 - 1}}, \quad (5)$$

kde  $t'_\alpha$  je hodnota Studentovho rozdelenia pre príslušné  $\alpha$  a  $k = n_1 - 1$  stupňov voľnosti a  $t''_\alpha$  je hodnota Studentovho rozdelenia pre príslušné  $\alpha$  a  $k = n_2 - 1$  stupňov voľnosti.

Testovacie kritérium porovnáme s kritickou hodnotou. Ak platí, že kritická hodnota je väčšia ako testovacie kritérium potom považujeme normatívne dáta na zvolenej hladine významnosti  $\alpha$  za zhodné. Ak je kritická hodnota menšia alebo rovná testovaciemu kritériu potom považujeme rozdiel

medzi normatívnymi dátami na zvolenej hladine významnosti  $\alpha$  za štatisticky významný a teda tvrdíme, že normatívne dáta na zvolenej hladine významnosti považujeme za nezhodné.

Tento proces testovania je popísať vývojovým diagramom na obrázku 2.



Obr. 2. Vývojový diagram testovania zhody priemerov dvoch súborov normatívnych dát.

Fig.2 Development diagram of testing of averages of two normative data sets.

Pomocou popísanej metodiky bola otestovaná zhoda normatívnych dát zo štyroch laboratórií. Platnosť hypotézy o zhode dvoch výberových priemerov bola overovaná na zvolenej hladine významnosti  $\alpha = 0,05$ . Potvrdenie alebo zamietnutie hypotézy napíšeme pomocou nasledujúceho zápisu:

$$\xi_{iXY} = \begin{cases} 1 & \text{ak } \xi_{iX} = \xi_{iY}, \\ 0 & \text{ak } \xi_{iX} \neq \xi_{iY}, \end{cases} \quad (6)$$

kde index  $i$  označuje uhol kĺbu pre ktorý testujeme normatívne dáta a môže byť z množiny  $\{b,k,c\}$  pre označenie bedra, kolena alebo členka. Indexy  $X$  a  $Y$  označujú testované výberové priemery. Dáta z Belfastu sú označené ako  $B$ , Dundee ako  $D$ , Hong Kong ako  $H$  a dáta zo systému MAFRAN ako  $M$ .

### 3. VÝSLEDKY

Ako prvé boli porovnané normatívne dáta získané v laboratóriu v Belfaste a dáta systému MAFRAN. Tabuľka 1 predstavuje súhrn výsledkov testovania zhody pre všetky porovnávané normatívne dáta uhlov dolnej končatiny.

Z výsledkov porovnania normatívnych dát uhlu flexie/extenzie bedra získaných z laboratória v Belfaste a systému MAFRAN vyplýva, že na zvolenej hladine významnosti sa dáta v časti od 0 do 34% cyklu chôdze nezhodujú. V časti od 36 do 78% cyklu chôdze, teda od stredu opory po stred kročnej fázy, sa na hladine významnosti  $\alpha = 0,05$  zhodujú. V ďalšej časti až do ukončenia kročnej fázy sa opäť nezhodujú.

Normatívne dáta uhlu flexie/extenzie kolena systému MAFRAN sa na hladine významnosti 0,05

okrem jedného bodu (14%) zhodujú z normatívnymi dátami uhlu flexie/extenzie z Belfastu na celom intervale.

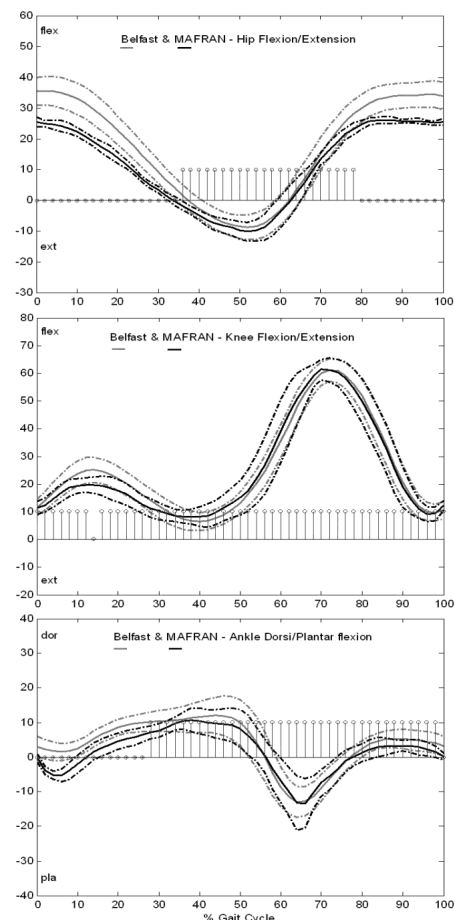
Normatívne hodnoty uhlu plantárnej/dorzálnej flexie členka sa nezhodujú v prvej polovici opornej fázy až do 26% cyklu chôdze. V ďalších fázach sa normatívne hodnoty uhlu plantárnej/dorzálnej flexie členka už na zvolenej hladine významnosti zhodujú.

Tab. 1. Výsledky testu zhody normatívnych dát z Belfastu a systému MAFRAN.

Tab.1 Results of conformity test of normative data from Belfast and system MAFRAN.

CCH [%]	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
$\xi_{bBM}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\xi_{kBM}$	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
$\xi_{cBM}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
30	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
32	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
34	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
36	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
38	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
42	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
44	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
46	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
48	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
52	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
54	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
56	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
58	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
60	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
62	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
64	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
66	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
68	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
70	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
72	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
74	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
76	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
78	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
80	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
82	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
84	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
86	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
88	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
90	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
92	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
94	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
96	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
98	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
100	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

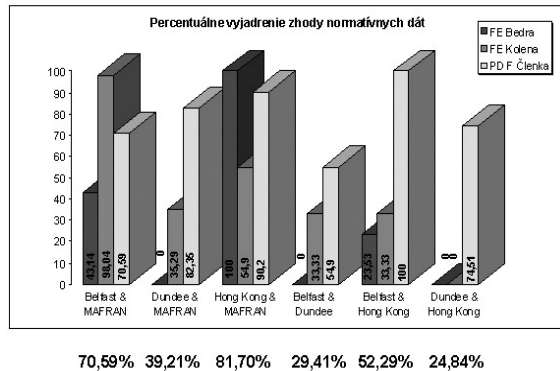
Výsledky porovnania dát z Belfastu a systému MAFRAN sú graficky prezentované na obrázku 3.



Obr. 3. Grafické porovnanie normatívnych dát z Belfastu a systému MAFRAN.

Fig.3 Graphic comparison of two normative databases from Belfast and system MAFRAN.

Obdobným spôsobom boli navzájom porovnané všetky ostatné normatívne databázy. Nasledujúci graf predstavuje súhrn všetkých vykonaných testov.



Obr. 4. Percentuálne vyjadrenie zhody normatívnych dát.  
Fig.4 Percentual expression of normative data conformity.

Z výsledkov testovania vyplýva, že najväčšia zhoda normatívnych dát systému MAFRAN na zvolenej hladine významnosti 0,05 je s dátami získanými doktorom Chrisom Kirtleyom na Hong Kong Polytechnic University. Tá predstavuje celkovo 81,70%. 70,59% zhodu majú s normatívnymi dátami Richarda Bakera z Musgrave Park Hospital v Belfaste. Naopak veľmi malú zhodu majú s dátami získanými v Dundee, kde je priemer zhody iba 39,22%. Veľmi malé zhody normatívnych dát vykazujú aj dáta svetových laboratórií. Najväčšia zhoda 52,29% je medzi dátami z Belfastu a Hong Kongu. Naopak Dáta z Dundee a Hong Kongu sa zhodujú menej ako 25%.

#### 4. ZÁVER

V tomto príspevku boli porovnané normatívne dáta získané systémom MAFRAN s tromi svetovými databázami normatívnych dát. Rovnako boli navzájom porovnané aj svetové databázy. Z výsledkov porovnania vyplynulo, že dáta získané systémom MAFRAN sa najviac zhodujú z normatívnymi dátami získanými v Hong Kongu a najmenej s normatívnymi dátami získanými v Dundee. Výsledky testovania ďalej ukázali, že vzájomné porovnanie troch svetových normatívnych databáz vykazovalo menšie zhody na hladine významnosti  $\alpha=0,05$  než pri porovnávaní s dátami systému MAFRAN.

Príčin rozdielov v normatívnych dátach môže byť niekoľko:

- spôsob a metodika výpočtu kinematických parametrov
- použitý model definovania anatomicky významných bodov
- charakteristika skupiny subjektov použitá na vytvorenie normatívnych dát

- obsluha vykonávajúca merania a definujúca body použitého modelu a pod.

Z vykonaných testov taktiež vyplýva, že zatiaľ neexistuje štandardná databáza pomocou ktorej by bolo možné porovnávať dáta získané v rôznych laboratóriách. Preto je zatiaľ potrebné vytvárať databázy vlastných zdravých subjektov a na ich základe odvodiť vlastné normatívne dáta čo zaručí, že dáta pacientov budú vyhodnocované objektívne.

#### Pod'akovanie

Výsledky publikované v tomto článku boli získané s príspevom grantových úloh eMotion "Vplyv intenzívnej predoperačnej rehabilitácie pred totálnou náhradou bedrového kĺbu na pooperačný stav pacientov." a VEGA 1/1094/04 "Teoretické princípy, metódy a prostriedky pre analýzu pohybu človeka"

#### LITERATÚRA

- [1] Šimšík D., Majerník J.: Gait Analysis of Free Moving Subjects. 2nd European Medical & Biological Engineering Conference - EMBEC 2002, Volume 3, Vienna, Austria, ISSN 1680-0737, ISBN 3-901351-62-0, pp. 1210-1211.
- [2] Linczényi A.: Inžinierska štatistika, Alfa, Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, n. p., Bratislava, 1974, 63-025-74
- [3] Egermayer F., Boháč M.: Statistika pro techniky, SNTL Nakladatelství technické literatúry, Praha 1984, 04-313-84
- [4] CGA Normative Gait Database – <http://guardian.curtin.edu>
- [5] Majerník J.: Biomechanická analýza ľudského pohybu. DOKSEM 2001 - V rámci Stredoeurópskeho vzdelávacieho cyklu, Súľov, Slovenská republika, 2001, ISBN 80-7100-887-7, pp. 7-12.
- [6] Šimšík D., Majerník J., Galajdová A.: The investigation of patient mobility using motion analysis. Mechanika w medycynie 7. ISSN 1427-0374, Rzeszow, Poland, 2004. pp. 223 - 229.
- [7] Macurová Ž., Javorský L., Majerník J.: Laserová technika v medicíne – Biofyzikálna podstata a možnosti aplikácie. Progresdent 4/2004, Ročník 10, ISSN 1211-3859, pp. 22 – 25.
- [8] Molčan M., Živčák J., Šimšík D., Majerník J.: 3D Analysis of Human Locomotion in Subjects with Unilateral Vestibular Deficiency. 5th European Congress of Oto-Rhino-Laryngology Head and Neck Surgery, Rodos – Kos, Hellas, 2004, pp.139.