

Jolanta Pauk<sup>1</sup>, Valeriy Ezerskiy<sup>1</sup>, Mirosław Rogalski<sup>2</sup>

## Efektywność wybranych metod w korekcji płaskostopia u dzieci

### The effectiveness of selected methods on flat feet correction in children

<sup>1</sup>Politechnika Białostocka

<sup>2</sup>Klinika Ortopedii i Traumatologii Uniwersytetu Medycznego w Białymstoku

#### STRESZCZENIE

Leczenie płaskostopia ma na celu przywrócenie prawidłowych stosunków anatomicznych stopy, sprężystego i elastycznego chodu, usunięcie bólu. Celem pracy jest obiektywna ocena wpływu wkładek ortopedycznych i ćwiczeń na korekcję stopy płasko-koślawej u dzieci oraz opracowanie modelu matematycznego zależności wysokości łuku podłużnego stopy od takich czynników jak: płeć, miejsce zamieszkania dziecka, czas noszenia wkładek ortopedycznych i czas wykonywania ćwiczeń korekcyjnych. Badania przeprowadzono dwukrotnie, w odstępie 2 lat. W pierwszym etapie badań wyselekcjonowano 60 osób ze stopą płasko-koślawą w wieku 7–15 lat. Kryterium włączenia do badania stanowiły: wiek: od 7 do 15 lat; obniżona wysokość łuku podłużnego obu stóp; koślawość stępu; zróżnicowanie płciowe; zróżnicowane miejsce zamieszkania; obecność bólu; brak wcześniejszego leczenia stopy płasko-koślawej. Uzyskane wyniki dowiodły, że wraz ze zwiększeniem czasu noszenia wkładek ortopedycznych wysokość łuku podłużnego stopy zwiększała się odpowiednio: u chłopców z miast o 12.4%; u dziewczynek z miast o 8.9%. Natomiast wraz z wydłużeniem czasu wykonywania ćwiczeń korekcyjnych wysokość wysklepienia stopy zwiększała się o 45% u chłopców i o 48.4% u dziewczynek.

**Słowa kluczowe:** płaskostopie, łuk podłużny stopy, analiza regresyjna, wkładki ortopedyczne, ćwiczenia korekcyjne.

#### ABSTRACT

Prediction of arch height correction could provide valuable information in prescribing appropriate treatment to reduce the consequences of flat-foot. The goal of this study was explored the effect of foot orthotics wedging and corrective exercises on plantar arch height in flat feet children. The evaluation was carried out two times (before treatment and two years after applied treatment) on 60 flat-foot children between the ages of 7–15 years. All subjects were screened with a detailed medical history and were not treated for neither any systemic disease nor flat feet. Inclusion criteria were: age range 7–15 years, arch height of bilateral feet, knee and hip position, and body symmetry. Based on the data obtained from experiment a simple model to predict arch height correction using four variables such as: gender, place of living, the time of foot orthotics wedging, the time of corrective exercises doing was proposed. The results suggest 12.4% in boys and 8.9% in girls from towns increase for the arch height as the time of foot orthotics wedging increased. On the same note results showed, that in children from countryside the arch height also increased (6.2% in boys vs. 8.7% in girls).

**Key words:** Flat feet, arch height, foot orthotics, corrective exercises, regression analysis.

## Wstęp

W ostatnich dziesięcioleciach wzrasta ciągle liczba naukowych publikacji w zakresie diagnostyki i korekcji stóp dzieci, szybko rozwija się przemysł produkujący wyroby ortopedyczne. Wzrasta również jakość pomocy ortopedycznej, przede wszystkim dzięki zastosowaniu nowych metod diagnostyki.

Leczenie płaskostopia ma na celu przywrócenie prawidłowych stosunków anatomicznych stopy, sprężystego i elastycznego chodu, usunięcie bólu oraz uczucia „ciężaru” w kończynach dolnych. Rozpoczęte we wczesnym dzieciństwie doprowadza często do całkowitego usunięcia dolegliwości i przywrócenia sprawności stóp. Jeżeli zniekształcenie stóp jest widoczne, wówczas rokowanie jest znacznie gorsze, a w przypadku wystąpienia deformacji kostnych przywrócenie prawidłowych stosunków anatomicznych i funkcjonalnych możliwe jest tylko po zastosowaniu odpowiedniej interwencji chirurgicznej.

Wśród najczęściej stosowanych metod korekcji stóp należy wymienić: obuwie ortopedyczne, wkładki ortopedyczne oraz ćwiczenia korekcyjne. Dane uzyskane z badań dotyczących sposobów leczenia płaskostopia u dzieci są jednak rozbieżne i kontrowersyjne. Z jednej strony istnieją opinie o znikomym wpływie wkładek ortopedycznych na korekcję stopy, z drugiej zaś strony obserwuje się tendencję do wdrażania leczenia tego typu schorzenia specjalnym obuwiem, wkładkami i ćwiczeniami [1–4].

Istniejące metody oceny korekcji płaskostopia polegają na jakościowej, subiektywnej ocenie stanu ukształtowania stopy, po zastosowaniu odpowiedniego programu korekcyjnego przez lekarza lub fizjoterapeutę. Brakuje takiej metody, która pozwoliłaby w sposób bardziej obiektywny ocenić wpływ rehabilitacji na korekcję stopy.

Celem pracy jest ocena wpływu wybranych czynników na korekcję stopy płasko-koślawej u dzieci oraz opracowanie modelu matematycznego zależności wysokości łuku podłużnego stopy od tych czynników. Uzyskany model matematyczny pozwoli opisać proces korekcji stóp oraz wybrać najbardziej optymalną metodę korekcji płaskostopia.

## Materiały i metody

Badania przeprowadzono dwukrotnie, w odstępie 2 lat. W pierwszym etapie badań wyselekcjonowano 60 osób ze stopą płasko-koślawą (51.7% dziewczyn) w wieku 7–15 lat z losowo wybranych szkół północno-wschodniej Polski. Kryterium włączenia do badania stanowiły: wiek od 7 do 15 lat; obniżo-

## Introduction

In the last decades the number of scientific publications has been increasing in the field of diagnostics and feet correction of children. The industry manufacturing orthopedic products is still rapidly developing. The quality of orthopedic help is also improving, above all owing to implementing new diagnostic methods.

The treatment of flat feet aims not only to restore the appropriate anatomical foot conditions, springy and elastic walk, but also to remove pain and the feeling of “load” in lower limbs. The treatment of flat feet, when started in an early childhood, often leads to removing the ailment completely and restoring the appropriate feet condition. If foot deformation is evident, prognosis is considerably worse, and in case of bone deformations restoring the appropriate anatomical and functional conditions is only possible after surgical intervention.

Among the most common methods of foot correction the are two to be named: orthopedic shoes, correcting insoles and corrective exercises. The data obtained from research concerning the ways of flat feet treatment of children is divergent and controversial. On the one hand there are opinions on very small influence of correcting insoles on foot correction, on the other hand there is a tendency to implement the flat feet treatment with the use of special shoes, orthoses and corrective exercises.

The existing methods of flat feet evaluation involve the qualitative, subjective evaluation of the condition of foot shape after implementing the appropriate corrective programme recommended by a doctor or a physiotherapist. There is no such a method which would enable us to evaluate more objectively the influence of rehabilitation on foot correction.

The aim of this paper is the assessment of the influence of the chosen elements on the flat feet correction in children and also working out a mathematical formula of relations between arch height and the above elements. The obtained formula will allow us to describe the process of feet correction and to select the most efficient method of flat feet correction.

## Materials and methods

The research has been carried out twice, every two years. In the first stage of research 60 people with flat-deviated feet (51.7% girls) aged 7–15 were selected from randomly chosen schools of north-east Poland. The criteria to be included in the research were the following: age from 7 to 15, lesser arch

na wysokość łuku podłużnego obu stóp; koślawość stępu; zróżnicowanie płciowe; zróżnicowane miejsce zamieszkania; obecność bólu; brak wcześniejszego leczenia stopy płasko-koślawej. Z badania wykluczono dzieci z rozpoznaniem chorób przewlekłych (np. cukrzyca), chorób o podłożu neurologicznym, ze skoliozą, z innymi dysfunkcjami kończyn dolnych, leczonych wkładkami do obuwia, noszących obuwie ortopedyczne i uczestniczących w zajęciach gimnastyki korekcyjnej. Badania miały charakter przekrojowy, przeprowadzono je za zgodą komisji bioetycznej. W ramach wizyty ambulatoryjnej, dla dzieci ze stwierdzoną stopą płasko-koślawą wykonano badanie rentgenowskie obu stóp w obciążeniu w projekcji przednio-tylnej i bocznej.

Stopy wszystkich dzieci zostały poddane ocenie ortopedycznej. W stanie ortopedycznym ogólnym statycznym oceniono typ budowy, proporcje, symetrię, postawę ciała. W stanie ortopedycznym dynamicznym (w sposób jakościowy) badano sposób poruszania się dziecka i określono cechy chodu, stwierdzając ewentualnie jego nieprawidłowości. Natomiast w stanie ortopedycznym odcinkowym określono proporcje ciała, sprawdzono symetrię. W badaniu ortopedycznym miejscowym oglądano stopy pod kątem obecności i lokalizacji ewentualnych zmian skórnych o charakterze nagniotków i modzeli. Oceniano również ewentualne odchylenia osi pięty w stosunku do osi goleni (na szpotawo lub koślawo, uwzględniając fizjologiczną koślawość), wysokość łuku podłużnego stopy, ustawienie przodostopia (przywiedzione), ustawienie palucha (koślawość). Po pierwszym badaniu wszystkie dzieci objęto dwuletnim programem korekcyjnym, poprzez zalecenie im wkładek ortopedycznych i ćwiczeń korekcyjnych [5].

W celu uzyskania informacji na temat czasu noszenia wkładek ortopedycznych oraz czasu spędzonego na wykonywaniu ćwiczeń korekcyjnych przeprowadzono technikę wywiadu kwestionariuszowego. Wywiad obejmował intensywność noszenia wkładek ortopedycznych i wykonywania ćwiczeń korekcyjnych w okresie 2 lat. Pytania były identyczne w kwestionariuszach przeznaczonych dla dziecka i opiekuna. Przed rozpoczęciem badań zweryfikowano właściwe rozumienie pytań kwestionariuszowych na wybranych losowo parach opiekun-dziecko. Wywiady przeprowadzano indywidualnie, osobno z opiekunem i dzieckiem, losowo wybierając kolejność. W celu określenia intensywności noszenia wkładek ortopedycznych i wykonywania ćwiczeń korekcyjnych pytano o czas spędzony na wykonywaniu poszczególnych zadań w ciągu dnia oraz tygodnia.

height in both feet, deviated walk, different gender, different place of living, no previous treatment of flat feet., pain existence. Children excluded from the research were the ones with chronic illnesses (e.g. diabetes), neurological illnesses, scoliosis, dysfunctions of lower limbs, treated with correcting insoles, wearing orthopedic shoes, and participating in corrective exercises classes. The research was of large-scale character, conducted with the permission of bioethical panel. During the examination in a clinic, X-rays of both feet with load were taken to children with flat-deviated feet in a side and front-rear projection.

All the children's feet were given an orthopedic assessment. Posture, proportions, symmetry and a kind of build were assessed in the static orthopedic condition. The way a child moves was also examined in the dynamic orthopedic condition. The characteristics of walk were also determined, pronouncing its potential abnormalities. Whereas in a segmental orthopedic condition, body proportions were stated and a symmetry was assessed. During a local orthopedic examination, feet were examined paying special attention to the existence and potential skin changes such as corns. Possible deviations of a heel axis from a shin axis was also evaluated as well as an arch height, the position of forefoot and a hallux (valgosity). After the first examination all the children underwent 2 year corrective programme with the recommendation of correcting insoles and corrective exercises [5].

A questionnaire was conducted in order to obtain the information about the time of wearing correcting insoles and doing corrective exercises. The survey included the intensity of wearing insoles and doing exercises during two years. The questions to children and their minder were identical in these questionnaires. Before the research, the right understanding of the questions was verified on randomly selected couples a child and a minder. A child and a minder responded to the questionnaire individually, in a random order. In order to evaluate the intensity of wearing correcting insoles and doing corrective exercises respondents were asked about the time of doing particular tasks a day and a week. Correlation between the time of wearing correcting insoles and the time of doing corrective exercises, declared by children and their minders, was calculated on the basis of Spearman correlation factor. However, the assessment of the level of the obtained data concordance was based on the analysis of the of Kappa Cohen concordance factors [6]. Threshold values provided by Landis and Koch were used here [7].

Korelację między czasem noszenia wkładek ortopedycznych i wykonywania ćwiczeń korekcyjnych, deklarowanym przez dzieci i ich opiekunów, wyliczono w oparciu o współczynniki korelacji Spearmana. Natomiast ocenę poziomu zgodności zgromadzonych danych oparto na analizie współczynników zgodności kappa Cohena [6], zastosowano wartości progowe podane przez Landisa i Kocha [7].

Dwukrotne badania (przed i po rehabilitacji) przeprowadzono zgodnie z zasadami planowania eksperymentu. Do oceny korekcji wysklepienia stopy wybrano wysokość łuku podłużnego  $h$  [mm] (zmienna zależna  $Y$ ). Pomiar tej wielkości charakteryzuje zmiany w kształcie łuku podłużnego oraz pokazuje odchylenia w rozwoju stopy. Wysokość łuku podłużnego mierzono od podłoża do guzowatości kości łódkowatej. Uwzględniając wpływ wielu czynników zewnętrznych na korekcję płaskostopia u dzieci i badania innych autorów, postanowiono zweryfikować następujące:

- płeć osoby badanej: dziewczynki lub chłopcy (czynnik  $X_1$ );
- miejsce zamieszkania: miasto lub wieś (czynnik  $X_2$ ),
- czas noszenia wkładek ortopedycznych [miesiące] (czynnik  $X_3$ );
- czas wykonywania ćwiczeń korekcyjnych [tygodnie] (czynnik  $X_4$ ).

Wybrane czynniki nie wyczerpują wszystkich źródeł zmienności. Prawdopodobnie na korekcję płaskostopia u dzieci mogą wpływać również takie czynniki, jak: aktywność fizyczna dziecka, noszone obuwie, wiek itp. Postawiono jednak hipotezę, że powyższe czynniki mają istotny wpływ na korekcję płaskostopia u dzieci w wieku szkolnym.

Podczas obserwacji stóp płasko-koślawych niezależna zmiana wybranych czynników okazała się niemożliwa. W każdym układzie odpowiedź  $Y$  zależała nie od jednego, lecz od kilku czynników  $X_j$  i mogła być określona w postaci jednej wartości uzyskanej w wyniku jednostkowego pomiaru, tj. bez powtórzeń. Analiza korelacyjna pozwoliła na sprecyzowanie postaci funkcji zależności badanej cechy od wybranych czynników, którą należało opracować metodą najmniejszych kwadratów [8]:

$$\hat{Y} = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + a_3 \cdot X_3 + a_4 \cdot X_4 + a_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + a_{13} \cdot X_1 \cdot X_3 + a_{14} \cdot X_1 \cdot X_4 + a_{23} \cdot X_2 \cdot X_3 + a_{24} \cdot X_2 \cdot X_4 + a_{34} \cdot X_3 \cdot X_4 + a_{33} \cdot X_3^2 + a_{44} \cdot X_4^2, \quad (1)$$

Two-time research (before and after treatment) was carried out according to the principles of planning the experiment. For the assessment of foot arch, the height of the longitudinal arch  $h$  [mm] was selected (dependant variable  $Y$ ). The measurement of this quantity characterizes the changes in shape of the longitudinal arch and shows the deviation in a foot development.

The height of longitudinal arch was measured from the bottom to the tuberosity of scaphoid bone. Taking into account the influence of many external factors on flat feet correction in children and the research by other authors, the following have to be verified:

- sex of a patient: a boy or a girl (factor  $X_1$ )
- place of living: a town or a country (factor  $X_2$ )
- time of wearing orthoses [months] (factor  $X_3$ )
- time of doing corrective exercises [weeks] (factor  $X_4$ ).

The chosen factors do not deplete all sources of variability. Probably there are other factors influencing flat feet correction among children such as: child's physical activity, shoes worn by a child, age, etc. Nevertheless, a hypothesis was formulated that the above factors exert a considerable influence on flat feet correction among schoolchildren. During monitoring flat feet, an independent change of the selected factors appeared to be impossible.

In every circumstances the answer  $Y$  depended not on one but several factors  $X_1$  and could be defined as one value obtained as a result of one measurement i.e. with no repetitions. The correlation analysis allowed defining the form of a function of dependence of a tested feature on selected factors, which is supposed to be designed by means of the smallest squares [8]:

$$\hat{Y} = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + a_3 \cdot X_3 + a_4 \cdot X_4 + a_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + a_{13} \cdot X_1 \cdot X_3 + a_{14} \cdot X_1 \cdot X_4 + a_{23} \cdot X_2 \cdot X_3 + a_{24} \cdot X_2 \cdot X_4 + a_{34} \cdot X_3 \cdot X_4 + a_{33} \cdot X_3^2 + a_{44} \cdot X_4^2, \quad (1)$$

where:

$\hat{Y}$  – estimated value of answer  $Y$ ,

$a_i$  – factors of a model

$X_1, \dots, X_4$  – independent variables

Square effects were considered exclusively for factors  $X_3$  and  $X_4$ , because factors  $X_1$  and  $X_2$  changed only on two levels  $(-1, +1)$ .

gdzie:

$\hat{Y}$  – wartość estymowana odpowiedzi Y,

$a_i$  – współczynniki modelu,

$X_1, \dots, X_4$  – zmienne niezależne.

Efekty kwadratowe rozpatrywano wyłącznie dla czynników  $X_3$  i  $X_4$ , ponieważ czynniki  $X_1$  i  $X_2$  zmieniły się tylko na dwóch poziomach (-1,+1).

## Wyniki

Po wstępnej analizie danych pomiarowych zaobserwowano następujące zakresy zmiany czynników:

- płeć osoby badanej: dziewczynki lub chłopcy (czynnik  $X_1$ ): 31 dziewczynek i 29 chłopców;
- miejsce zamieszkania: miasto lub wieś (czynnik  $X_2$ ): 29 dzieci ze wsi i 31 dzieci z miast;
- czas noszenia wkładek ortopedycznych [miesiące] (czynnik  $X_3$ ): od 0 do 22 miesięcy;
- czas wykonywania ćwiczeń korekcyjnych [tygodnie] (czynnik  $X_4$ ): od 0 do 60 tygodni.

Średnia wysokość łuku podłużnego stopy podczas pierwszego badania wyniosła  $10.9 \pm 4.6$  mm, natomiast po okresie dwuletniej rehabilitacji zwiększyła się i wyniosła  $14.0 \pm 4.1$  mm ( $\alpha < 0.05$ ). Średni czas wykonywania ćwiczeń korekcyjnych wyniósł  $23.9 \pm 13.8$  tygodni. Około 45% ankietowanych deklarowało wykonywanie ćwiczeń korekcyjnych codziennie (45% deklaracji dzieci i 41.7% deklaracji opiekunów). Dodatkowo, około 30% ankietowanych deklarowało wykonywanie ćwiczeń 2–3 razy w tygodniu. Natomiast 20% dzieci i opiekunów deklarowało wykonywanie ćwiczeń raz w tygodniu. Ćwiczenia były wykonywane rzadziej niż raz w tygodniu według 3 dzieci i 5 opiekunów. Uzyskane wyniki pokazują, że dzieci nosiły wkładki codziennie (około 82%), 2–3 razy w tygodniu (5% deklaracji dzieci i 6.7% deklaracji rodziców), raz w tygodniu (3.3% deklaracji dzieci) i rzadziej niż raz w tygodniu (około 10% deklaracji), 1 dziecko nie nosiło wkładek wcale. Nie zaobserwowano istotnych różnic między informacjami uzyskanymi od dziecka i od opiekuna. Stwierdzono dobry poziom zgodności danych ( $\kappa > 0.8$ ). W celu ustalenia siły związku między informacjami określającymi liczbę miesięcy noszenia wkładek ortopedycznych oraz liczbę tygodni wykonywania ćwiczeń korekcyjnych, uzyskanymi od dziecka i od opiekunów, określono stopień korelacji między badanymi zmiennymi. Zaobserwowano wysoką korelację dla większości badanych zmiennych ( $r > 0.5$ ).

Ocenę zgodności wyników badania z rozkładem normalnym przeprowadzono za pomocą testu  $\chi^2$ . Obliczone  $\chi^2$  porównano z wartościami krytycznymi  $\chi^2_{kr}$  [9]. Jeżeli  $\chi^2$  było mniejsze niż  $\chi^2_{kr}$  to częstotli-

## Results

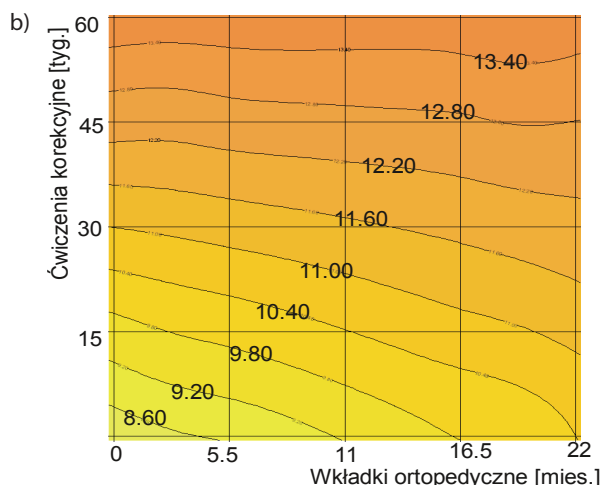
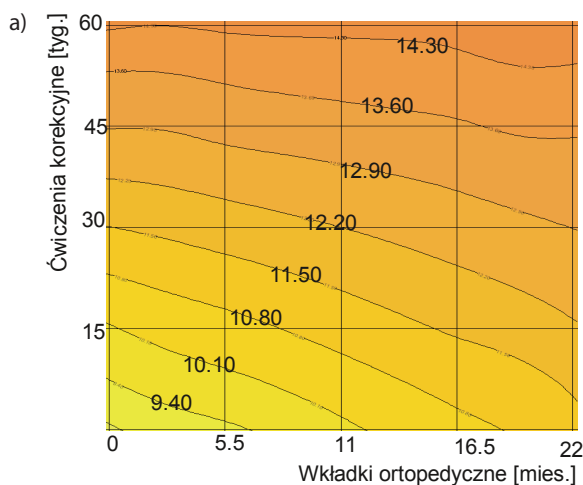
After the preliminary analysis of measuring data, the following range of factor changes was observed:

- the sex of a patient: girls or boys (factor  $X_1$ ): 31 girls and 29 boys;
- the place of living; a town or a city (factor  $X_2$ ): 29 children from the countryside and 31 from towns;
- the time of wearing correcting insoles [months] (factor  $X_3$ ): from 0 to 22 months;
- the time of doing corrective exercises [weeks] (factor  $X_4$ ): from 0 to 60 weeks.

The average height of a foot longitudinal arch during the first examination was  $10.9 \pm 4.6$  mm, but after two year rehabilitation it increased and equaled  $14.0 \pm 4.1$  mm ( $\alpha < 0.05$ ). The average time of doing corrective exercises was  $23.9 \pm 13.8$  weeks. About 45% of those polled declared doing corrective exercises every day (45% children's declarations and 41.7% minders' declarations). Moreover, about 30% of respondents declared doing exercises twice or three times a week. Whereas 20% of children and their minders declared doing exercises once a week. Exercises were done more seldom than once a week according to 3 children and 5 minders. The obtained results show that children wore correcting insoles every day (about 82%), twice or three times a week (5% of children's declarations and 6.7% of parents' declarations), once a week (3.3% children's declarations) and more seldom than once a week (about 10% declarations). One child did not wear correcting insoles at all. No substantial differences were observed between the information obtained from a child and from a minder. It was stated that there was a good level of data correspondence. In order to establish the power of relations between the information, obtained from children and their minders, concerning the number of months of wearing correcting insoles and the number of weeks of doing corrective exercises, the level of correlation between tested variables was defined.

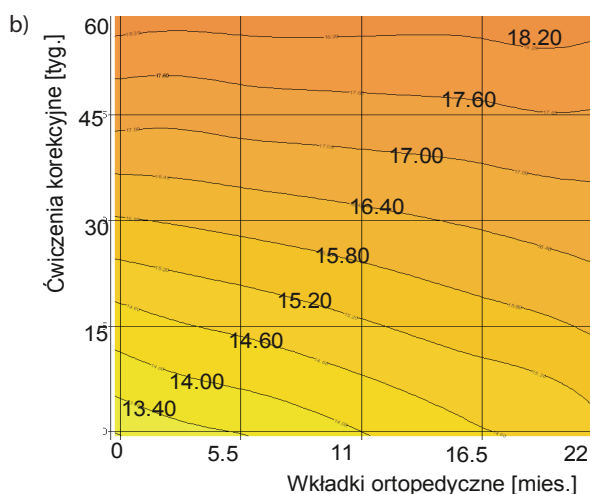
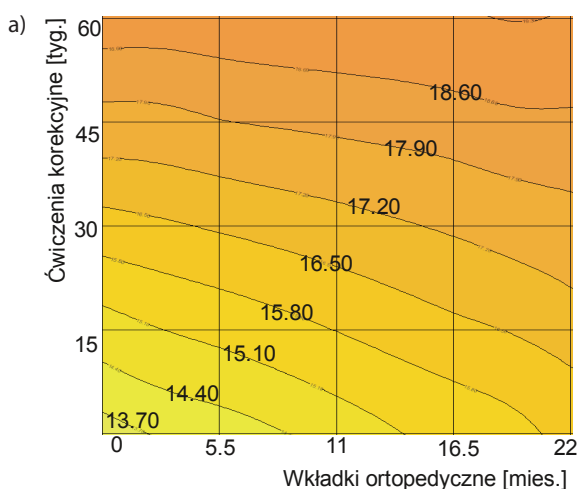
It was observed a high correlation for the most of tested variables ( $r > 0.5$ ).

The assessment of research results correspondence with normal breakdown was conducted by means of  $\chi^2$ . Calculated  $\chi^2$  was compared to critical values  $\chi^2_{kr}$ . If  $\chi^2$  was lesser than  $\chi^2_{kr}$ , the frequencies corresponded the conditions of normal breakdown. In order to check the fifth postulate of a regressive analysis, a correlation analysis of columns of the matrix of factors was performed. The correlation matrix Rx was as follows :



Rys. 1. Zależność wysokości łuku podłużnego Y od intensywności noszonych wkładek ortopedycznych  $X_3$  i ćwiczeń korekcyjnych  $X_4$ : a) dla chłopców; b) dla dziewczynek, mieszkających w miastach

Fig. 1. The effect of foot orthotics wedging and corrective exercises on arch height in a) boys; b) girls from cities



Rys. 2. Zależność wysokości łuku podłużnego Y od intensywności noszonych wkładek ortopedycznych  $X_3$  i ćwiczeń korekcyjnych  $X_4$ : a) dla chłopców; b) dla dziewczynek ze wsi

Fig. 2. The effect of foot orthotics wedging and corrective exercises on arch height in a) boys; b) girls from countryside

wości odpowiadały warunkom rozkładu normalnego. W celu sprawdzenia piątego postulatu analizy regresyjnej dokonano analizy korelacyjnej kolumn macierzy czynników.

Macierz korelacyjna  $R_x$  miała postać:

$$R_x = \begin{pmatrix} 1 & 0.2013 & -0.2471 & -0.1765 \\ 0.2013 & 1 & -0.3260 & -0.3706 \\ -0.2471 & -0.3260 & 1 & 0.3890 \\ -0.1765 & -0.3706 & 0.3890 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Analiza macierzy (2) dowiodła, że współczynniki  $X_1, X_2, X_3, X_4$  wykazują bardzo słabą korelację między sobą. Ich wpływ w postaci efektów liniowych na funkcję odpowiedzi Y mógł być oceniony za pomocą analizy regresyjnej. W celu uproszcze-

$$R_x = \begin{pmatrix} 1 & 0.2013 & -0.2471 & -0.1765 \\ 0.2013 & 1 & -0.3260 & -0.3706 \\ -0.2471 & -0.3260 & 1 & 0.3890 \\ -0.1765 & -0.3706 & 0.3890 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

The matrix analysis (2) has proved that factors  $X_1, X_2, X_3, X_4$  show a very weak correlation between themselves. Their influence, in a form of linear effects, on a function of the answers Y could be evaluated by means of a regressive analysis. Owing to simplify matrix calculations and to increase their accuracy, the factors got coded according to the following formula:

$$X_j = \frac{\tilde{X}_j - (\tilde{X}_{j\max} + \tilde{X}_{j\min}) / 2}{(\tilde{X}_{j\max} - \tilde{X}_{j\min}) / 2}, \quad (3)$$

nia obliczeń macierzowych oraz podwyższenia ich dokładności czynniki zostały poddane kodowaniu według wzoru:

$$X_j = \frac{\tilde{X}_j - (\tilde{X}_{j\max} + \tilde{X}_{j\min})/2}{(\tilde{X}_{j\max} - \tilde{X}_{j\min})/2}, \quad (3)$$

gdzie:

$X_j$  – wartość kodowana j-tego czynnika,

$\tilde{X}_j, \tilde{X}_{j\max}, \tilde{X}_{j\min}$  – odpowiednio bieżące, maksymalne i minimalne wartości naturalne j-tego czynnika.

Dla czynników  $X_1$  i  $X_2$ , rozpatrywanych na dwóch poziomach, wartości kodowane przyjęły następującą postać:  $X_1$  – płeć: dziewczynki (-1), chłopcy (+1);  $X_2$  – miejsce zamieszkania: miasto (+1), wieś (-1).

Na podstawie uzyskanych wyników obserwacji, za pomocą metody najmniejszych kwadratów, zostały obliczone współczynniki równania regresji [6]. W wyniku oceny istotności współczynników modelu stwierdzono, że trzy współczynniki ( $a_{12}, a_{14}, a_{23}, a_{24}, a_{33}, a_{44}$ ) są nieistotne. Ostateczną postać modelu, po ich wyeliminowaniu, przedstawia równanie (4):

$$\hat{Y} = 14,22 + 0,35 \cdot X_1 - 2,37 \cdot X_2 + 0,60 \cdot X_3 + 2,24 \cdot X_4 + 0,11 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,65 \cdot X_3 \cdot X_4. \quad (4)$$

Procedura zbudowania modelu sprowadzała się do doboru takiej zależności regresyjnej, która zapewnia wysoką dokładność, tzn. niską wartość  $S^2_r$ , współczynnik  $R^2$  bliski wartości 1 oraz minimalną liczbę współczynników. Uzyskany model zapewniał: sumę kwadratów odchyłeń  $\sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2 = 53.7128$ ; wariancję błędów aproksymacji przy stopniach swobody  $f_1 = 59, f_2 = 53, S^2_r = 1.4423$ ; współczynnik determinacji  $R^2 = 0.9376$ . Porównano również wariancję błędów aproksymacji  $S^2_r$  i wariancję międzygrupową  $S^2_y$  według kryterium Fiszera  $F = S^2_r/S^2_y$  [11], gdzie:

$$S^2_y = \frac{(Y_i - \bar{Y})^2}{n-1} = \frac{1000.2451}{59} = 16.9533.$$

Na poziomie istotności  $\alpha = 0.05$  i liczbie stopni swobody  $f_1 = 59, f_2 = 53$ , obliczona wartość kryterium  $F = 11.6819$  przewyższa wartość tabelaryczną  $F_{0,05;59;53} = 1.66$ . To potwierdza adekwatność i efektywność otrzymanego równania regresji oraz jego przydatność dla dalszej analizy.

Charakter wpływu poszczególnych czynników równania regresji (4) oceniono za pomocą znaku

where:

$X_j$  – coded value of j-th factor

$\tilde{X}_j, \tilde{X}_{j\max}, \tilde{X}_{j\min}$  – current, maximum and minimum natural values of j- th factor respectively.

For factors  $X_1$  and  $X_2$ , looked into on two levels, coded values took the following form:  $X_1$  - sex: girls (-1), boys (+1);  $X_2$  - place of living: town (+1), the country (-1).

On the basis of the obtained observation results, by means of the method of the smallest squares, the factors of a regression equation were calculated [6]. As a result of the assessment of the gravity of model factors, it has been stated that three factors ( $a_{12}, a_{14}, a_{23}, a_{24}, a_{33}, a_{44}$ ) are irrelevant. Having them eliminated, the final model form can be shown in the form of an equation (4):

$$\hat{Y} = 14,22 + 0,35 \cdot X_1 - 2,37 \cdot X_2 + 0,60 \cdot X_3 + 2,24 \cdot X_4 + 0,11 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,65 \cdot X_3 \cdot X_4. \quad (4)$$

The procedure of constructing the model comes down to selecting such a regressive relation that guarantees high accuracy, which means low value  $S^2_r$ , factor  $R^2$  close to value 1 and minimal number of factors. The obtained model ensured the sum of squares of deviation  $\sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2 = 53.7128$  the variance of approximation errors for degrees of freedom  $f_1 = 59, f_2 = 53, S^2_r = 1.4423$ ; determination factor  $R^2 = 0.9376$ . The variance of approximation errors and inter-group variance were compared according to Fischer criterion  $F = S^2_r/S^2_y$  [11], where:

$$S^2_y = \frac{(Y_i - \bar{Y})^2}{n-1} = \frac{1000.2451}{59} = 16.9533.$$

On the level of gravity  $\alpha = 0.05$  and on the level the number of degrees of freedom  $f_1 = 59, f_2 = 53$ , a calculated criterion value  $F = 11.6819$  exceeds a tabular value  $F_{0,05;59;53} = 1.66$ . This proves the accuracy and effectiveness of the obtained regression equation and its usefulness for further analysis. The kind of influence of particular factors of the regression equation (4) was evaluated by means of a sign next to the appropriate equation factors. The evaluation of the degree of their influence was possible owing to coding of independent variables. The highest absolute factor value means that a given factor exerts the strongest influence on a tested feature. The analysis was presented on the basis of actual values of incoming variables.

przy odpowiednich współczynnikach równania. Ocena stopnia ich wpływu była możliwa dzięki kodowaniu zmiennych niezależnych. Największa wartość bezwzględna współczynnika oznaczała, że dany czynnik ma najmocniejszy wpływ na badaną cechę. Analizę przedstawiono w oparciu o rzeczywiste wartości zmiennych wejściowych.

W pierwszym etapie analizy przedstawiono zależność wysokości łuku podłużnego od czasu noszenia wkładek ortopedycznych  $X_3$  i wykonywania ćwiczeń korekcyjnych  $X_4$ . Zależność ta była rozpatrywana w stosunku do chłopców mieszkających w miastach (rys. 1). Wraz ze zwiększeniem okresu noszenia wkładek ortopedycznych w zakresie od 0 do 22 miesięcy wysokość łuku podłużnego stopy zwiększała się z 11.49 mm do 12.91 mm (12.4%). Natomiast wraz z wydłużeniem okresu wykonywania ćwiczeń korekcyjnych od 0 do 60 tygodni wysokość łuku zwiększała się z 9.96 mm do 14.44 mm (45%). Jednakże u dziewczynek z miast zwiększeniu okresu noszenia wkładek ortopedycznych towarzyszyło zwiększenie wysokości łuku podłużnego stopy z 11.01 mm do 11.99 mm (8.9%). Zaobserwowano również znaczne zwiększenie wysokości łuku (z 9.26 mm do 13.74 mm) o 48.4% u dziewczynek wraz z wydłużeniem okresu wykonywania ćwiczeń korekcyjnych.

W kolejnym etapie analizy przedstawiono zależność wysokości łuku podłużnego od czasu noszenia wkładek ortopedycznych  $X_3$  i czasu wykonywania ćwiczeń korekcyjnych  $X_4$  dla chłopców i dziewczynek mieszkających na wsi (rys. 2). Zaobserwowano, że wraz ze zwiększeniem czasu noszenia wkładek ortopedycznych w zakresie od 0 do 22 miesięcy wysokość łuku podłużnego stopy zwiększała się o 8.7% u chłopców i o 6.2% u dziewczynek. Natomiast przy zwiększonym czasie wykonywania ćwiczeń korekcyjnych od 0 do 60 tygodni wysokość łuku zwiększała się o 30.5% u chłopców i o 32.0% u dziewczynek.

## Dyskusja

Dane uzyskane z badań dotyczących sposobów leczenia płaskostopia u dzieci są rozbieżne i kontrowersyjne, ponieważ istnieją opinie o znikomym wpływie wkładek ortopedycznych na korekcję płaskostopia. Z drugiej zaś strony obserwuje się tendencję do wdrażania leczenia tego typu schorzenia specjalnym obuwiem, wkładkami i ćwiczeniami.

Według Walczaka i Napionka [1, 2] stopy płasko-koślawe nie wymagają leczenia. Natomiast Dziak [3] uważa, że wkładki należy stosować w leczeniu stopy płasko-koślawej statycznej spowo-

In the first stage of the analysis, the relation of longitudinal arch height and the time of wearing correcting insoles  $X_3$  and doing corrective exercises  $X_4$  was put forward. This relation was considered in terms of boys living in cities (Fig. 1) With extending of time of wearing correcting insoles from 0 to 22 months the longitudinal arch height increased from 11.49 mm to 12.91 mm (12.4%). Whereas together with prolonging the period of doing corrective exercises from 0 to 60 weeks the longitudinal arch height increased from 9.96 mm to 14.44 mm (45%). Whereas among girls, the extension of time of wearing correcting insoles meant the increase of their longitudinal arch height from 11.01 mm to 11.99 mm (8.9%). It was also observed a considerable increase of longitudinal arch height (from 9.26 mm to 13.74 mm) by 48.4% among girls while prolonging the time of doing corrective exercises.

In the next stage of the analysis the relation of longitudinal arch height and the time of wearing insoles  $X_3$  and doing corrective exercises  $X_4$  was presented when referring to boys and girls living in the country (Fig. 2). It could be stated that with extending of time of wearing insoles from 0 to 22 months the longitudinal arch height increased by 8.7% among boys and 6.2% among girls. Whereas together with prolonging the period of doing corrective exercises from 0 to 60 weeks the longitudinal arch height increased by 30.5% among boys and 32.0% among girls.

## Discussion

The information obtained from research concerning the ways of treating flat feet among children is divergent and controversial due to the fact that there are opinions about slight influence of insoles on flat feet correction. On the other hand, one can observe a tendency to implement this kind of treating the above illness with special shoes, insoles and exercises.

According to Walczak and Napionek [1, 2] flat-deviated feet do not require any treatment. Whereas Dziak claims that insoles should be used in treating static flat-deviated foot caused by weakening or inefficiency of a muscular-ligament system. The author emphasizes that insoles do not treat as they do not eliminate cause of an abrasion but only prevent from further feet deformation. According to Kotecka-Nocęń and Płukarz [4], insoles have a positive impact on foot condition. Zembaty tends to share this opinion [10, 11] and claims that in case of heel bone vulgity above 5 degrees, in children aged from 3 to 5, it is indispensable to use suitable

dowanej osłabieniem lub niewydolnością aparatu mięśniowo-więzadłowego. Autor ten podkreśla, że wkładki nie leczą, gdyż nie usuwają przyczyny choroby, a jedynie zapobiegają dalszemu postępowi deformacji. Według opinii Koteckiej-Noczeń i Płukarza [4], wkładki ortopedyczne wpływają pozytywnie na stan stopy. Podobnego zdania jest Zembaty [10, 11], który uważa, że w przypadku koślawości kości piętowej powyżej 5 stopni, u dziecka między 3 a 5 rokiem życia, konieczne jest zastosowanie właściwego obuwia lub wkładki supinującej. Autor podkreśla, iż równolegle należy prowadzić ćwiczenia czynne mięśni, które odpowiedzialne są za prawidłowy układ stopy. Nasze badania pokazują również, że wkładki ortopedyczne mają pozytywny, ale niewielki wpływ na korekcję płaskostopia u dzieci. Jednak w terapii skojarzonej z ćwiczeniami korekcyjnymi efektywność korekcji się zwiększa.

Prace badawcze prowadzone przez Engela [12], Staheli'ego [13], Asheara [14] oraz Colla [15] dowiodły, że łuk podłużny stopy rozwija się u dzieci w wieku wczesnoszkolnym. Celem określenia różnic zachodzących w ukształtowaniu stopy prawidłowej i płasko-koślawej u dzieci, Wegner [16] porównał grupę leczonych z powodu stopy płasko-koślawej statycznej za pomocą powszechnie stosowanego zaopatrzenia ortopedycznego z nieleczoną grupą kontrolną i nie stwierdził różnic w osiągniętych wynikach. Dodatkowo, Niedzielski i Zwierzchowski [17] ocenili wpływ gimnastyki korekcyjnej oraz wkładek supinujących stęp na stopy płasko-koślawe statyczne u dzieci w wieku przedszkolnym i szkolnym. Otrzymane wyniki porównali z grupą kontrolną, która składała się z dzieci pozostawionych naturalnemu rozwojowi osobniczemu. W czasie trwania obserwacji stwierdzili oni normalizację stóp u około 50% dzieci uprawiających gimnastykę korekcyjną i noszących obuwie z wkładkami supinującymi stęp. Natomiast u dzieci pozostawionych naturalnemu rozwojowi stwierdzono mierne możliwości samonaprawy stopy płasko-koślawej.

### Wnioski

- U dziewczynek z miast łuk podłużny stopy koryguje się szybciej niż u chłopców z miast przy zastosowaniu ćwiczeń korekcyjnych; leczenie wkładkami przynosi większy efekt u chłopców z miast niż u dziewczynek.
- U chłopców ze wsi korekcja stopy jest niewielka (szczególnie przy leczeniu wkładkami ortopedycznymi), niższa niż u dziewczynek ze wsi;
- Wkładki ortopedyczne mają niewielki wpływ na korekcję stopy płasko-koślawej;

shoes or a supinating insole. The author also points out that, simultaneously one ought to perform muscle active exercises which are responsible for a correct foot structure. Our research reveal as well that insoles exert a positive but slight effect on flat feet correction in children. However, the efficiency of correction in increasing in a therapy associated with corrective exercises

The research carried out by Engel [12], Staheli [13], Ashear [14] and Coll [15] revealed that longitudinal arch height is developing in early school children. Wegner [16] aimed to define differences in a correct foot structure and flat feet in children. He compared a group of patients treated for flat feet with commonly used orthopedic equipment to an untreated control group and finally he did not find any differences. Moreover, Niedzielski and Zwierzchowski [17] assessed the influence of corrective exercises and insoles supinating heel on static flat feet in pre-school and schoolchildren. They compared the obtained results with the control group which consisted of children left to individual and natural development. During these observations they discovered normalization in about 50% children who used to do corrective exercises and wear shoes with insoles supinating heel. Whereas they found faint possibilities of flat feet self-correction in children left without treatment.

### Conclusions

- The condition of longitudinal foot arch is improving faster in girls from cities when doing corrective exercises; using correcting insoles produces a more significant effect in boys from cities than in girls.
- There is a minor foot correction in boys from the countryside (especially when treated with correcting insoles), smaller than in girls from the country;
- Correcting insoles exert a slight influence on flat feet correction;
- Corrective exercises influence positively on foot correction in children from cities.

— Ćwiczenia korekcyjne mają pozytywny wpływ na korekcję stopy u dzieci z miast i wsi.

Praca sfinansowana z projektu N 501 0088 33, Europejskiego Funduszu Społecznego oraz Budżetu Państwa w ramach projektu: Podniesienie potencjału uczelni wyższych jako czynnik rozwoju gospodarki opartej na wiedzy.

### Piśmiennictwo / References

1. Walczak M., Napiontek M.: *Stopa płaska statyczna dziecięca – kontrowersyjny temat*, Chirurgia Narządów Ruchu i Ortopedia Polska, 68, 4, 2003, 261–266.
2. Napiontek M.: *Operacyjne leczenie stopy płasko-koślawej statycznej osteotomią kości piętowej i działaniem na tkankach miękkich*, Chirurgia Narządów Ruchu i Ortopedia Polska, 61, 1996, 267–271.
3. Dziak A.: *Chcę mieć zdrowe nogi*, PZWL, Warszawa, 1987.
4. Kotecka-Nocęń M., Płukarz H.: *Własne spostrzeżenia na temat techniki pomiarów stóp [rozdz.]*, Biomechanika i profilaktyka statycznych zniekształceń stóp, pod red. W. Degi, PZWL, Warszawa, 1986, 133–135.
5. Pauk J., Krupicz B., Rogalski M., Sviridenok A.: *Leczenie wad stóp [rozdz.]*, Wady stóp: biomechanika, diagnostyka, leczenie pod red. Bazylego Krupicza, Rozprawy Naukowe Politechniki Białostockiej, 2008, 85–107.
6. Roberts C., McNamee R.: *A matrix of kappa-type coefficients to assess the reliability of nominal scales*, Stat. Med., 17, 4, 1998, 471–88.
7. Landis J.R., Koch G.G.: *The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data Biometrics*, 33, 1977, 159–174.
8. Krysicki W., Bartos J., et al.: *Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna w zadaniach*, cz. II. Statystyka matematyczna, Warszawa, PWN, 2003.
9. Lvovskij E. N.: *Statističeske metody postroeniâ formul*, Wyśšaâ škola, Moskwa, 1998.
10. Zembaty A.: *Kinezyterapia*, t. I i II, Kasper, Kraków, 2003.
11. Weiss M., Zembaty A.: *Fizjoterapia dla medycznych studentów zawodowych – wydział fizjoterapii*, PZWL, Warszawa, 1983, 161.
12. Engel G.M., Staheli L.T.: *The natural history of torsion and other factors influencing gait in childhood: a study of the angle of gait, tibial torsion, knee angle, hip rotation, and development of the arch in normal children*, Clinical Orthopaedics, 99, 1974, 12–17.
13. Staheli L., Chew D.E., Corbett M.: *The longitudinal arch: a survey of eight hundred and eighty-two feet in normal children and adults*, Journal of Bone and Joint Surgery, 69, 2, 1987, 426–428.
14. Ashear C.: *Flat foot and valgus hill*, [w:] *Postural variations in childhood*, Butterworth, London, 1975, 76–101.
15. Coll B., Viladot P.A., Suso V.S.: *Follow-up study of flat feet in children*, Journal of Bone and Joint Surgery (Br), 83-B, Suppl II, 2001, 186.
16. Wegner D.: *Corrective shoes and inserts as treatment for flexible flatfoot in infants and children*, Joint Bone Joint Surgery, 71A, 1989, 800–810.
17. Niedzielski K., Zwierzchowski H.: *Ocena wpływu gimnastyki leczniczej i wkładki supinującej stęp na stopy płasko-koślawe statyczne u dzieci*, Chirurgia Narządów Ruchu i Ortopedia Polska, 57, 2, 1993, 46–51.

#### Adres do korespondencji / Mailing address:

Jolanta Pauk  
Politechnika Białostocka  
Wiejska 45C, 15-351 Białystok  
tel +48 85 746 92 22, fax: +48 85 746 92 10  
e-mail: jpauk@pb.edu.pl

Praca wpłynęła do Redakcji: 26 lipca 2010  
Zaakceptowano do druku: 3 stycznia 2011