

Occlusal forces generated by edentulous patients with unfavourable conditions of the denture foundation area using complete dentures made according to the biofunctional system

Sily okluzyjne generowane przez pacjentów bezzębnych z niekorzystnymi warunkami podłoża protetycznego użytkujących protezy całkowite wykonane według systemu biofunkcjonalnego

Grażyna Wiśniewska, Magdalena Orczykowska, Szymon Majewski, Małgorzata Pihut

Katedra Protetyki Stomatologicznej, Instytut Stomatologii, Wydział Lekarski, Uniwersytet Jagielloński, Collegium Medicum, Kraków, Polska
Department of Prosthodontics, Dental Institute, Faculty of Medicine, Jagiellonian University, Medical College, Cracow, Poland
Head: dr hab. G. Wiśniewska

Abstract

The main aim of prosthetic rehabilitation of edentulous patients is to restore the biomechanical conditions of the masticatory system through the use of structural solutions that are most conducive to achieving this goal. **Aim of the study.** To evaluate whether the method of construction of full prostheses affects the magnitude and symmetry of the occlusal forces that are generated and to study the dynamics of changes in the occlusal forces that occur when using prostheses made according to the biofunctional system. **Materials and methods.** Thirty edentulous women aged 65–80 years with unfavourable prosthetic base conditions were included in the study. In the first stage, all patients were fitted with full prostheses constructed in accordance with traditional procedures (group K). After a three-month period of using these prostheses, instrumental measurements of the occlusal force were made (Test 1). In the second stage, the same patients were given prostheses constructed according to the principles of the biofunctional prosthetic system (BPS) (Group Z). Instrumental measurements of the occlusal forces thus generated were made after 24 hours (Test 2), one week (Test 3), and three months (Test 4) of use of these prostheses in order to assess their dynamics. The occlusal force measurements were

Streszczenie

Głównym celem rehabilitacji protetycznej pacjentów bezzębnych jest przywrócenie warunków biomechanicznych narządu żucia poprzez zastosowanie rozwiązań konstrukcyjnych najbardziej sprzyjających realizacji tego celu. **Cel badań.** Celem badań była ocena: czy konstrukcja protez całkowitych ma wpływ na wartości i symetrię generowanych sił okluzyjnych oraz dynamiki zmian w zakresie generowanych sił okluzyjnych po zastosowaniu protez całkowitych wykonanych według systemu biofunkcjonalnego. **Materiał i metody.** Grupa 30 bezzębnych kobiet w przedziale wiekowym 65-80 lat, z niekorzystnymi warunkami podłoża protetycznego. W I etapie pacjentki zostały zaopatrzone protezami całkowitymi wykonanymi w trybie postępowania tradycyjnego (grupa K). Po 3-miesięcznym okresie użytkowania tych protez przeprowadzono instrumentalne pomiary wartości sił okluzyjnych (badanie I). W II etapie tej samej grupie pacjentek, zastosowano protezy wykonane według zasad biofunkcjonalnego systemu protetycznego (BPS) (grupa Z). Instrumentalne pomiary wielkości sił okluzyjnych przeprowadzono po 24 godzinach (badanie II), 1 tygodniu (badanie III) oraz 3 miesiącach użytkowania protez (badanie IV) za pomocą specjalnego przyrządu mierniczego. Uzyskane

KEYWORDS:

edentia, complete prostheses, occlusal forces, biofunctional system

HASŁA INDEKSOWE:

bezzębie, protezy całkowite, siły okluzyjne, system biofunkcjonalny

carried out using a special measuring device that was inserted between the upper and lower incisors, then between the molars on the left and the right side. The measurements were processed using the Statistica software package. **Results.** The magnitude of the occlusal force in patients using the traditional full prostheses was 49.49 N at the incisors, 91.12 N at the right molars, and 75.95 N at the left molars. Replacing the prostheses with ones constructed according to the biofunctional system produced an increase in the occlusal force generated at the right and left molars; this force systematically increased in subsequent measurements – an average increase of 30 N over the forces produced with the traditional prostheses. These differences in the generated forces were statistically significant. **Conclusions.** 1. The method used to construct prostheses has a significant impact on the magnitude of the generated occlusal force. 2. The generation of larger occlusal forces with biofunctional prostheses may indicate that they have good retention in the prosthetic base. 3. When using a biofunctional prosthesis, a systematic increase in occlusal forces and their symmetric distribution across the occlusal surface can provide evidence that the prosthesis is creating favourable biomechanical conditions for muscle action.

Introduction

The main aim of prosthetic rehabilitation of edentulous patients is to restore the biomechanical conditions of the masticatory system through the use of structural solutions that are most conducive to achieving this goal. In particular, it is necessary to create the conditions for balanced muscle action through the even distribution of generated forces, which must be closely correlated with the retention of prostheses in their base and the appropriate configuration of the occlusal surface. Therefore, in clinical and laboratory prosthetic procedures, the aim should be to find a shape for the prosthesis enabling uniform occlusive contact between the upper and lower teeth during use, and for the resulting forces to be directed vertically causing the prosthesis to be pressed into its base.

This is the fundamental biomechanical requirement for the functioning of prostheses; in practice, however, it can be difficult to achieve in the presence of unfavourable conditions that occur in the mouth of edentulous patients due

wyniki zostały opracowane przy zastosowaniu specjalistycznego pakietu programów komputerowych STATISTICA. **Wyniki.** Wielkości sił zgryzowych u osób użytkujących protezy całkowite wykonane metodą tradycyjną wynosiły w zakresie zębów siecznych 49,49N, w zakresie zębów trzonowych prawych 91,12N, a zębów lewych 75,95N. Zastosowanie uzupełnień protetycznych wykonanych w systemie biofunkcyjnym, spowodowało wzrost sił okluzyjnych generowanych na poziomie zębów trzonowych prawych i lewych w kolejnych badaniach. W stosunku do wartości osiągniętych podczas użytkowania poprzednich protez uległy one zwiększeniu średnio o 30N. Różnice w wielkości generowanych sił były statystycznie istotne. **Wnioski.** 1. Konstrukcja protezy całkowitej ma istotny wpływ na wielkość generowanych sił okluzyjnych. 2. Generowanie większych sił okluzyjnych po zastosowaniu protez wykonanych wg systemu biofunkcyjnego może wskazywać na ich dobre utrzymanie na podłożu. 3. Systematyczny wzrost sił zgryzowych oraz ich symetryczny rozkład na powierzchni okluzyjnej po zastosowaniu protez wykonanych według systemu biofunkcyjnego może świadczyć, że uzupełnienia te stwarzają korzystniejsze warunki biomechaniczne dla pracy mięśni.

Wprowadzenie

Głównym celem rehabilitacji protetycznej pacjentów bezzębnych jest przywrócenie warunków biomechanicznych narządu żucia poprzez zastosowanie rozwiązań konstrukcyjnych najbardziej sprzyjających realizacji tego celu. W szczególności dotyczy to wytworzenia warunków dla zrównoważonej pracy mięśni poprzez równomierny rozkład sił przez nie generowanych, co musi być ściśle skorelowane z retencją protez na podłożu oraz odpowiednią konfiguracją powierzchni okluzyjnej. W związku z tym w kliniczno-laboratoryjnym postępowaniu protetycznym dąży się do takiego ukształtowania protez całkowitych, aby w trakcie czynności dochodziło do równomiernego kontaktu okluzyjnego zębów górnych i dolnych, tak aby powstające siły były skierowane pionowo i powodowały dociskanie uzupełnień protetycznych do podłoża.

Jest to zasadniczy wymóg biomechaniki funkcjonowania protez, jednak w praktyce trudny do spełnienia w niekorzystnych warunkach, jakie wy-

to morphological and functional changes that manifest themselves after the loss of teeth, especially in the elderly population. In edentulous patients, occlusal forces are transferred in a non-physiological way through artificial teeth and the denture plate to the mucosa, periosteum, and bone. These forces are thus modified by the sensitivity of the mucosa, its thickness and elasticity, and are also dependent on the prosthesis having a suitable structure and stability.

Aim

The aim of the study was to:

- assess whether the method of construction of complete prostheses affects the magnitude and symmetry of the occlusal forces,
- assess the dynamics of changes in the occlusal forces that are generated when using prostheses made according to the biofunctional system.

Materials and methods

The study was conducted in a group of thirty edentulous women aged from 65 to 80 years with unfavourable prosthetic base conditions. The series of examinations was planned in two stages. First, all patients were fitted with full prostheses constructed in accordance with traditional procedures (group K). After a three-month period of using these prostheses, instrumental measurements of the occlusal force were made (Test 1). In the second stage, the same patients were given prostheses constructed according to the principles of the biofunctional prosthetic system (BPS) (Group Z). Instrumental measurements of the occlusal forces thus generated were made after 24 hours (Test 2), one week (Test 3), and three months of use of the prostheses (Test 4) in order to assess their dynamics. The occlusal force measurements were carried out using a dynamometer constructed specifically for dental research at the Department of Mechanics, Technology, and Plastic Working, Silesian University of Technology, Katowice (Patent No. P334933). The device consists of two 1.5-mm-thick stainless-steel plates screwed together. At the end of the top plate there is a spherical penetrator, and the lower plate has a

stępują w jamie ustnej pacjentów bezzębnych z powodu zmian morfologicznych i funkcjonalnych ujawniających się po utracie zębów szczególnie w wieku podeszłym. U osób bezzębnych siły okluzyjne przenoszone są w sposób niefizjologiczny poprzez zęby sztuczne i płytę protezy na błonę śluzową, okostną i kość. Ich wielkość jest regulowana przez wrażliwość błony śluzowej, jej grubość i sprężystość, jak również uzależniona jest od odpowiedniej konstrukcji i stabilizacji protez.

Cel badań

Celem badań była:

- ocena czy konstrukcja protez całkowitych ma wpływ na wartości i symetrię generowanych sił okluzyjnych,
- ocena dynamiki zmian w zakresie generowanych sił okluzyjnych po zastosowaniu protez całkowitych wykonanych według systemu biofunkcjonalnego.

Materiał i metoda

Badania przeprowadzono w grupie 30 bezzębnych kobiet w przedziale wiekowym 65-80 lat, z niekorzystnymi warunkami podłoża protetycznego. Zaplanowany cykl badań realizowano w dwóch etapach. Najpierw wszystkie pacjentki zostały zaopatrzone protezami całkowitymi wykonanymi w trybie postępowania tradycyjnego (grupa K). Po 3-miesięcznym okresie użytkowania tych protez przeprowadzono instrumentalne pomiary wartości sił okluzyjnych (badanie I). Następnie przystąpiono do realizacji drugiego etapu pracy, w którym w tej samej grupie pacjentek, zastosowano protezy wykonane według zasad biofunkcjonalnego systemu protetycznego (BPS) (grupa Z). Celem oceny dynamiki w zakresie generowanych sił okluzyjnych, instrumentalne pomiary ich wielkości dokonywano po 24 godzinach (badanie II), 1 tygodniu (badanie III) oraz 3 miesiącach użytkowania protez (badanie IV). Pomiary sił okluzyjnych przeprowadzano za pomocą specjalnego przyrządu mierniczego (siłomierza) skonstruowanego dla potrzeb badań stomatologicznych w Katedrze Mechaniki Technologii i Przeróbki Plastycznej Politechniki Śląskiej w Katowicach (Nr patentowy P334933). Urządzenie składa się z dwóch płytek skręconych śrubami,

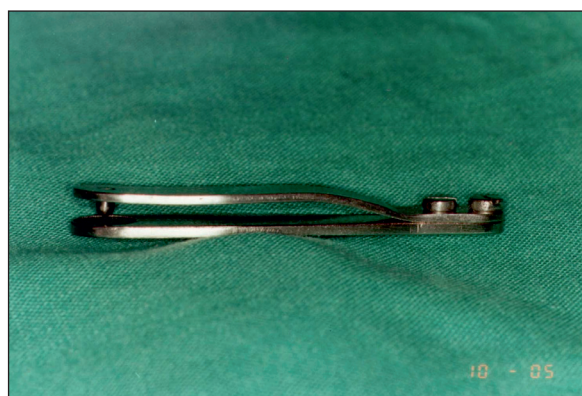


Fig. 1. Dynamometer.
Siłomierz.

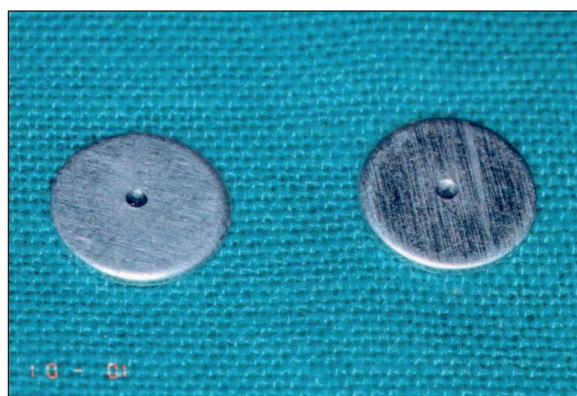


Fig. 2. Disposable plates with reflected depressions.
Jednorazowe płytki z odbitymi zagłębieniami.

recess with a diameter of 10.0 mm and a depth of 0.5 mm, which functions as a base for the placement of single-use oval metal plates (Fig. 1). The penetrator touches the surface of the oval plate, preventing it from falling out when measurements are being taken. The principle of test is as follows: when the patient bites down, a recess is formed on the oval plate by the spherical penetrator (Fig. 2); the greater the force with which the patient bites down, the greater the diameter of the recess left on the plate. As recommended by the designers of the instrument, when the occlusal force is measured in patients with dentures, the penetrator has a diameter of 3.8 mm and the oval plate has a thickness of 1.6 mm and is made of sheet lead.

The measurements were made as follows: each patient was asked to adopt a sitting position and prior to the measurement was instructed how to apply pressure to the interdental instrument. The instrument was then inserted between the upper and lower incisors and the patient was asked to bite down with maximum force, as judged by the patient on the basis of her subjective feeling of the prosthesis partially losing adhesion to the base. After replacing the lead plate, the procedure was repeated between the molars on the right and then on the left side (Fig. 3).

A stereoscopic measuring microscope was employed to measure the diameters of the indentations on the lead plates. To calculate the maximum values of occlusal forces in line with

wykonanych z blachy nierdzewnej o grubości 1,5 mm. W końcowej części płytki górnej znajduje się kulisty penetrator, a w płytce dolnej zlokalizowane jest zagłębienie o średnicy 10,0 mm i wysokości 0,5 mm, stanowiące łożysko dla umieszczenia jednorazowych, owalnych płytek metalowych (Fig. 1). W przygotowanym do pomiaru przyrządzie penetrator lekko dotyka powierzchni płytki próbki, zapobiegając podczas pomiarów jej wypadnięciu. Zasada działania urządzenia jest następująca: w wyniku nagryzienia powstaje zagłębienie na jednorazowej płytce, utworzone przez kulisty penetrator (Fig. 2), przy czym im większa jest siła nagryzania, tym powstałe zagłębienie na płytce ma większą średnicę. Zgodnie z zaleceniami autorów do badania sił zgryzowych u pacjentów użytkujących protezy całkowite, stosowano penetratory o średnicy 3,8 mm i próbki o grubości 1,6 mm wykonane z blachy ołowianej.

Przebieg badania: pacjentowi polecano przyjęcie pozycji siedzącej i przed badaniem instruowano o sposobie nagryzania zlokalizowanego między zębami przyrządu pomiarowego. Następnie przyrząd wprowadzano między zęby sieczne górne a dolne polecając nagryzienie maksymalną siłą, którą określał sam pacjent na podstawie subiektywnych odczuć co do częściowej utraty przylegania protezy do podłoża. Po wymianie płytki ołowianej powtarzano nagryzanie między zębami trzonowymi kolejno po stronie prawej i lewej (Fig. 3).



Fig. 3. Carrying out the measurement method.
Sposób przeprowadzenia pomiaru.

the assumptions of the method, Mayer's law was used: $F = cd^n$, where F is the force applied, d is the diameter of the indentation, c is a material constant, and n is Mayer's index. The constant c and the index n were determined for the lead plates by measuring the diameter of the dents caused during calibration of the instrument in a universal durability-testing machine. They were determined to be $c = 22.79$, $n = 1.71$.

According to the authors of the method, the factors that affect the size of the measured forces are the hardness of the contact areas of the instrument with the teeth, changes in the angle of mandibular abduction during the measurement, and the extent to which the jaw is opened in the final phase of measurement. However, the very small indentation made in the sample plate eliminates the possibility of changes in these parameters, and reliable results can thus be obtained for the force expressed in newtons (N).

The results were processed using the Statistica software package. A comparison of the relationships between the results obtained in the clinical instrumental measurement was performed using non-parametric ANOVA and Wilcoxon signed-rank tests. The results are shown graphically. Statistical significance was defined as $p \leq 0.05$.

Results

The average values of occlusal forces were measured by the dynamometer at the incisors,

Do pomiaru średnic wgniecień powstałych na płytkach ołowianych, użyto stereoskopowego mikroskopu pomiarowego. Do obliczania wartości maksymalnych sił zgryzowych zgodnie z założeniami metody wykorzystano wzór Mayera $F = cd^n$. (F – siła nacisku, d – średnica odcisku, c – stała materiałowa, n – współczynnik Mayera). Stałą „ c ” i współczynnik „ n ” występujące we wzorze określono – dla stosowanej w badaniach serii próbek ołowianych – na podstawie pomiaru średnic wgniecień powstałych podczas kalibrowania przyrządu w uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej. Obliczone dla próbek ołowianych wartości stałych we wzorze Mayera wynosiły: $c=22,79$, $n=1,71$.

Według autorów metody czynniki, które mają wpływ na wielkość zmierzonej siły to: twardość miejsca kontaktu przyrządu z zębami, zmiana kąta odwodzenia żuchwy w czasie trwania pomiaru oraz wielkość rozwarcia szczęk w końcowej fazie pomiarów. W opisanej metodzie bardzo małe zagłębienie penetratora w próbkę, eliminuje możliwość zmiany wymienionych parametrów i dzięki temu uzyskuje się wiarygodne wyniki wartości sił wyrażone w niutonach (N).

Uzyskane wyniki zostały opracowane przy zastosowaniu specjalistycznego pakietu programów komputerowych STATISTICA. Porównanie zależności występujących między wynikami uzyskanymi w badaniach instrumentalnych, przeprowadzono z zastosowaniem testu nieparametrycznego ANOVA i testu kolejności par Wilcoxon. Otrzymane wyniki przedstawiono graficznie, znamienność statystyczną zdefiniowano jako wartość $p \leq 0,05$.

Wyniki

Średnie wartości sił zgryzowych mierzone (za pomocą siłomierza) w okolicy zębów siecznych u pacjentów użytkujących protezy wykonane wg procedury standardowej oraz u tych samych osób zaopatrzonych protezami wykonanymi wg metody biofunkcjonalnej w kolejnych badaniach ilustrują ryciny 4 i 5 oraz tabela 1.

U osób użytkujących 3 miesiące protezy wykonane wg procedury standardowej średnia wartość sił zgryzowych wyniosła 49,49 N (przy skrajnych

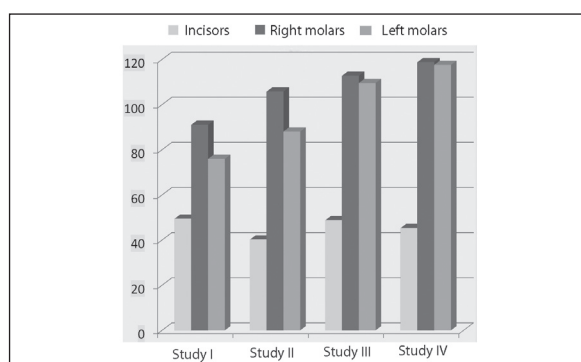


Fig. 4. Collective summary of the average values of occlusal forces in subsequent studies.

Zbiorne zestawienie średnich wartości sił zgryzowych w kolejnych badaniach.

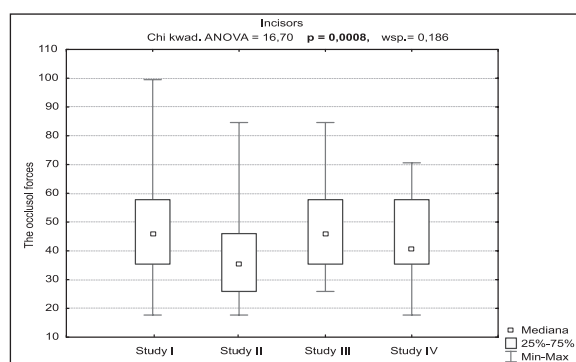


Fig. 5. Comparison of average values of occlusal forces in individual studies obtained on incisors with ANOVA.

Porównanie wartości średnich sił zgryzowych w poszczególnych badaniach uzyskanych na zębach siecznych testem ANOVA Friedmana.

Table 1. Mean values of occlusal forces surrounding incisors, right and left molars obtained in subsequent studies

Comparison between studies – ANOVA test				
Periods of research	Incisors	Molars right	Molars left	The difference molars R-L
	$\bar{x} \pm s$ Mediana	$\bar{x} \pm s$ Mediana	$\bar{x} \pm s$ Mediana	$\bar{x} \pm s$ Mediana
Study I	49.49 ± 22.57	91.12 ± 32.73	75.96 ± 33.69	28.20 ± 17.08
Group K	46.0	84.6	70.6	28.9
Study II	40.22 ± 15.57	105.82 ± 30.07	88.10 ± 21.80	23.55 ± 18.92
The Z group after 24h	35.4	99.5	84.6	16.55
Study III	48.48 ± 15.57	112.80 ± 24.93	109.55 ± 17.78	13.73 ± 16.54
The Z group after 1 week	45.0	115.5	115.5	14.4
Study IV	45.38 ± 13.89	118.82 ± 18.61	117.59 ± 16.88	5.57 ± 10.29
The Z group after 3 months	40.7	115.5	115.5	0
The results of the ANOVA test	$\chi^2 = 16.70$ p = 0.0008	$\chi^2 = 30.01$ p = 0.0000	$\chi^2 = 52.10$ p = 0.0000	$\chi^2 = 33.98$ p = 0.0000

first in patients using the traditionally designed prostheses, and then in the same patients fitted with prostheses made according to the biofunctional methods. The results are shown in Figures 4 and 5 and in Table 1.

In patients who had been using the traditionally made prostheses for three months, the average value of the occlusal force amounted to 49.49 N (and ranged from 17.7 to 99.5 N). Twenty-four hours after receiving the biofunctional prostheses, the average was 40.22 N and the range was 25.9–84.6 N. After one week, the average was 48.48 N (35.4–84.6 N), and after three months, 45.38 N

wartościach 17,7 – 99,5). Po rehabilitacji protezycznej wg procedury biofunkcjonalnej, w pierwszym badaniu, tj. po 24 godzinach użytkowania protez, uzyskano wartości średnie na poziomie 40,22 N (przy wartościach skrajnych 25,9 – 84,6), a w kolejnych pomiarach, tj. po 1 tygodniu: 48,48 N (wartości skrajne 35,4 – 84,6) i po 3 miesiącach: 45,38 N (przy wartościach skrajnych 17,7 – 70,6). Średnia wartość sił zgryzowych na poziomie zębów siecznych była najwyższa u pacjentów użytkujących protezy wykonane wg procedury standartowej, natomiast po leczeniu wg procedury biofunkcjonalnej uzyskano niższe wartości sił

Table 2. The significance level by Wilcoxon test for the value of occlusal forces generated on the incisors between successive tests

Wilcoxon matched pairs test. Selected results are relevant to $p < 0.05$					
	Incisors	Study I	Study II	Study III	Study IV
Study I	Group K		0.0752	0.9741	0.4170
Study II	The Z group after 24h	0.0752		0.0001	0.0703
Study III	The Z group after 1 week	0.9741	0.0001		0.1823
Study IV	The Z group after 3 months	0.4170	0.0703	0.1823	

(17.7–70.6 N). The average value of occlusal forces at the incisors was higher with the traditionally made prostheses than with the biofunctional ones. The data were evaluated statistically for their distribution of values using non-parametric tests (Tab. 2, Fig.5)

The statistical analysis showed that statistically significant differences were found only between Test 2 (24 h after installation of the biofunctional prostheses) and Test 3 (after one week), with a significance level of 0.0001. There was no statistically significant difference between the values of the occlusal forces generated at the incisors in Test 1 and Test 4 (Tables 1 and 2).

The average values of the occlusal forces measured at the right and left molars are summarized in Tab. 1 and Figs. 4, 6, and 7. In the patients with the traditionally made prostheses after three months of use, the average occlusal force was 91.12 N (and the range 35.3–188.6 N) at the right molars, and 75.96 N (17.5–168.9 N) at the left molars. The difference in the average occlusal force on the left and right was 28.20 N.

After using the biofunctional prostheses for 24 hours, the average bite strength measured at the molars was higher than for the traditional prostheses: for the biofunctional prostheses, the average was 105.82 N (ranging 57.8–188.6 N) at the right molars, and 88.10 N (57.8–132.6 N) at the left molars. In the following studies, these values steadily increased, after one week reaching 112.80 N (70.7–188.6 N) at the right molars and 109.55 N (84.6–150.1 N) at the left molars. In the final test, after three months, the average was 118.82 N

w kolejnych badaniach. Oceniane dane z uwagi na rozkład wartości zostały poddane ocenie statystycznej z zastosowaniem testów nieparametrycznych (Tab. 2, Fig. 5).

W wyniku analizy statystycznej stwierdzono, że różnice statystycznie istotne występują tylko między badaniem II (tzn. przeprowadzonym po 24 h od zastosowania protez wykonanych wg metody biofunkcjonalnej) a badaniem III (tzn. wykonanym po 1 tyg. od zastosowania protez wykonanych wg metody biofunkcjonalnej) o poziomie istotności 0,0001. Nie stwierdzono różnic statystycznie istotnych między wartościami sił zgryzowych uzyskiwanych na poziomie zębów siecznych w badaniu I i IV (Tab. 1, 2).

Średnie wartości sił zgryzowych mierzone w okolicy prawych i lewych zębów trzonowych zestawiono w tabeli 1 i na rycinach 4, 6, 7. U pacjentów użytkujących protezy całkowite wykonane wg procedury standardowej po 3-miesięcznym ich użytkowaniu, uzyskano w obrębie zębów trzonowych prawych wartości w granicach 91,12 N (przy wartościach skrajnych 35,3 – 188,6 N), a w obrębie zębów trzonowych lewych 75,96 N (wartości skrajne 17,5 – 168,9 N). Natomiast różnica średnich wartości sił zgryzowych w okolicy zębów trzonowych po stronie prawej i lewej wyniosła 28,20 N.

Po zastosowaniu protez wykonanych wg procedury biofunkcjonalnej już w pierwszym badaniu przeprowadzonym po 24 godzinach ich użytkowania, średnie siły zgryzowe mierzone na zębach trzonowych miały wyższe wartości w porównaniu do uzyskanych na protezach wykonanych wg

(70.7–150.1 N) at the right molars and 117.59 N (84.5–150.1 N) at the left molars.

Comparing the value of the occlusal forces obtained at the left and right molars in both groups, a gradual increase could be observed, reaching 118.82 N on the right and 117.59 N on the left side. This means that, with the biofunctional prosthesis installed, the occlusal force generated by the lateral sections of the dental arch was 30 N greater than with the traditional prostheses. This provided a favourable assessment of the biomechanical prosthetic.

Statistical analysis using the ANOVA test for non-parametric values and the Wilcoxon signed-rank test showed statistically significant differences between the occlusal forces at the right molars between all tests except Tests 2 and 3 (Tab. 3, Fig. 6). For the left molars, no significant differences were seen between Tests 1 and 2 (Tab. 4, Fig. 7). A high significance level (0.0005) was observed in the maximum occlusal forces obtained at the right molars between Tests 1 and 4 (Tab. 3, Fig. 6) and in the case of the maximum forces obtained at the left molars, the difference between Tests 1 and 4 also had a high significance level (0.0000; Tab. 4; Fig. 7).

Both the gradual increase in the maximum occlusal force in patients using the biofunctional prosthesis and the statistically significant difference between the occlusal force in patients using a traditional prosthesis and that in the same patients using a biofunctional prosthesis may indicate that the biofunctional prosthesis creates favourable biomechanical conditions for muscular action, and thus generates higher occlusal forces.

In order to evaluate the symmetry in the generation of occlusal forces on both sides of the dental arch, the differences in the average values of the occlusal forces measured on the right and left (Figs. 8 and 9) were analyzed. In patients using the traditionally made prosthesis, the difference was 28.20 N. In contrast, the difference gradually decreased in subsequent examinations using the biofunctional prostheses (Figs. 8, 9). After 24 hours, this difference was on average 23.55 N, 13.73 N after one week, and only 5.57 N after three months. (Tab. 5, Fig. 9).

procedury standardowej i tak: na zębach trzonowych prawych miały wartość 105,82 N (wartości skrajne 57,8 – 188,6 N), a na zębach trzonowych lewych 88,10 N (przy wartościach skrajnych 57,8 – 132,6 N). W kolejnych badaniach wartości te systematycznie zwiększały się osiągając po 1 tygodniu poziom 112,80 N (wartości skrajne 70,7 – 188,6 N) na zębach trzonowych prawych i 109,55 N (wartości skrajne 84,6 – 150,1 N) na zębach trzonowych lewych, a w końcowym badaniu uzyskano 118,82 N (wartości skrajne 70,7 – 150,1 N) na zębach trzonowych prawych i 117,59 N (przy wartościach skrajnych 84,5 – 150,1 N) na zębach trzonowych lewych.

Porównując wartości sił zgryzowych uzyskane na zębach trzonowych prawych i lewych w obu grupach, można zaobserwować ich stopniowy wzrost, aż do osiągnięcia wartości 118,82 N po stronie prawej i 117,59 N po stronie lewej. Oznacza to, iż po zastosowaniu leczenia wg metody biofunkcjonalnej uzyskano wzrost sił zgryzowych w bocznych odcinkach łuku zębowego, w stosunku do metody standardowej o średnią wartość 30 N. Jest to korzystny wynik dla oceny biomechaniki użytkowanych protez

Analiza statystyczna z zastosowaniem testu dla wartości nieparametrycznych ANOVA i testu kolejności par Wilcoxon, wykazała różnice statystycznie istotne dla badanych wartości sił zgryzowych, które wystąpiły dla zębów trzonowych prawych między wszystkimi badaniami z wyjątkiem badania II i III (Tab. 3, Fig. 6), a dla zębów trzonowych lewych brak istotnych różnic występuje między badaniem I a II (Tab. 4, Fig. 7). Wysoki poziom istotności o wartości 0,0005 obserwowany jest w wartościach maksymalnych sił zgryzowych uzyskanych na zębach trzonowych prawych między badaniem I a IV (Tab. 3, Fig. 6), a w przypadku maksymalnych sił uzyskanych na lewych zębach trzonowych różnica między badaniem I a IV jest również na wysokim poziomie istotności 0,0000 (Tab. 4, Fig. 7).

Zarówno stopniowy wzrost maksymalnych sił okluzyjnych u pacjentów korzystających z protez całkowitych wykonanych wg metody biofunkcjonalnej, jak i obserwowana istotna statystycznie różnica w wielkości generowanych sił w grupie

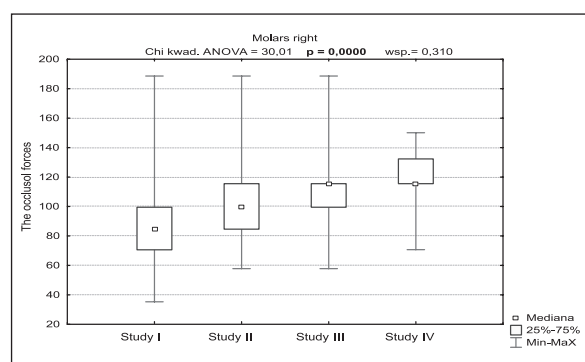


Fig. 6. Comparison of average values of occlusal forces in individual studies obtained on the right molars with ANOVA.
 Porównanie wartości średnich sił zgryzowych w poszczególnych badaniach uzyskanych na prawych zębach trzonowych testem ANOVA Friedmana.

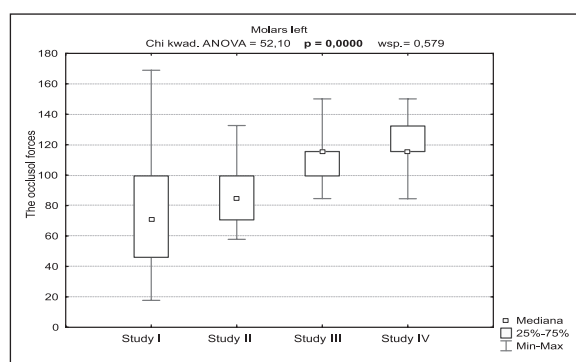


Fig. 7. Comparison of average values of occlusal forces in individual studies obtained on the left molars with ANOVA.
 Porównanie wartości średnich sił zgryzowych w poszczególnych badaniach uzyskanych na lewych zębach trzonowych testem ANOVA Friedmana.

Table 3. The significance level by Wilcoxon test for the value of occlusal forces on the right molars between successive tests

Wilcoxon matched pairs test. Selected results are relevant to $p < 0.05$

Molars right		Study I	Study II	Study III	Study IV
Study I	Group K		0.0014	0.0014	0.0005
Study II	The Z group after 24h	0.0014		0.0859	0.0068
Study III	The Z group after 1 week	0.0014	0.0859		0.0392
Study IV	The Z group after 3 months	0.0005	0.0068	0.0392	

Table 4. The significance level by Wilcoxon test for the value of occlusal forces on the left molars between successive tests

Wilcoxon matched pairs test. Selected results are relevant to $p < 0.05$

Molars left		Study I	Study II	Study III	Study IV
Study I	Group K		0.0734	0.0001	0.0000
Study II	The Z group after 24h	0.0734		0.0000	0.0000
Study III	The Z group after 1 week	0.0001	0.0000		0.0096
Study IV	The Z group after 3 months	0.0000	0.0000	0.0096	

Discussion

In people with natural dentition, the forces that occur as the jaws clench pass through the teeth and periodontium into the jawbone. In edentulous patients, these forces are transferred in a non-

pacjentów użytkujących protezy wykonane wg procedury standardowej, a następnie leczonych metodą biofunkcjonalną, może świadczyć, że protezy wykonane według procedury biofunkcjonalnej stwarzają korzystniejsze warunki biomecha-

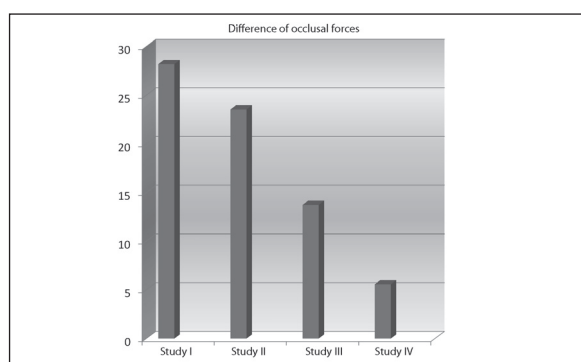


Fig. 8. Average values of the differences of occlusal forces on the molars left and right arch in subsequent studies (presented graphically). Średnie wartości różnic sił zgryzowych na zębach trzonowych prawej i lewej strony łuku zębowego w kolejnych badaniach (przedstawione graficznie).

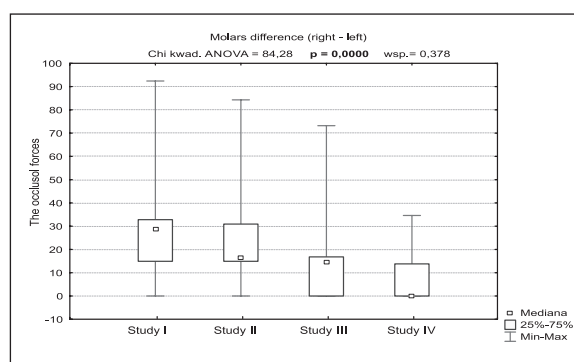


Fig. 9. Comparing the difference in the mean values of occlusal forces obtained on molars right and left across studies with ANOVA. Porównanie różnicy wartości średnich sił zgryzowych uzyskanych na zębach trzonowych prawych i lewych w poszczególnych badaniach testem ANOVA Friedmana.

Table 5. The significance level by Wilcoxon test for difference of occlusal forces measured on the right and left molars between successive tests

Wilcoxon matched pairs test. Selected results are relevant to $p < 0.05$					
Molars left and right		Study I	Study II	Study III	Study IV
Study I	Group K		0.1783	0.0004	0.0000
Study II	The Z group after 24h	0.1783		0.0094	0.0000
Study III	The Z group after 1 week	0.0004	0.0094		0.0070
Study IV	The Z group after 3 months	0.0000	0.0000	0.0070	

physiological manner through the artificial teeth and base plate of the prosthesis into the mucosa, periosteum, and bone. The magnitude of the force is modified by the sensitivity of the mucosa, its thickness, and resilience, and also depends on the prosthesis being appropriately stabilized on its base.¹⁻⁵ It is known that the conditions of occlusion affect the size of the occlusal forces generated by the masticatory organ. In edentulous patients, there is a significant decrease in the value of occlusal forces, as compared to those that occur in natural dentition.^{2,3,5-8} This is associated with the age of patients, the prosthetic base conditions, and the retention of the prosthesis.^{2,3,5,9-13} Based on studies of occlusal forces generated by edentulous patients with favourable prosthetic base conditions, it was found that on average these forces at the

niczne dla pracy mięśni i w związku z tym dochodzi do wygenerowania większych wartości sił zgryzowych.

W celu oceny symetryczności w generowaniu sił okluzyjnych po obu stronach łuku zębowego, przeanalizowano różnice średnich wartości sił zgryzowych mierzonych po stronie prawej i lewej (Fig. 8, 9). W grupie pacjentów użytkujących protezy wykonane wg procedury standartowej, różnica ta wynosiła 28,20 N. Natomiast analizując różnicę średnich wartości sił zgryzowych po stronie prawej i lewej po zastosowaniu protez wykonanych wg metody biofunkcjonalnej stwierdzono, iż ulegała ona zmniejszaniu w kolejnych badaniach (Fig. 8, 9). W badaniu po 24 h wartość ta wyniosła średnio 23,55 N, po tygodniu 13,73 N, a po 3 miesiącach tylko 5,57 N (Tab. 5, Fig. 9).

molars reach 150 N. In patients with unfavourable prosthetic base conditions, there is a decrease in occlusal forces, both at the molars (on average by 60%) and the incisors (on average by 90%).^{2,3,9,11}

In this study, it was demonstrated that the average magnitude of occlusal forces in individuals using dentures made in the traditional way is considerably reduced at the incisors and at the right and left molars. This is confirmed by observations that occlusal forces in edentulous patients using a prosthesis undergo a reduction as compared to natural teeth, with the average value of occlusal force in patients with complete dental arches being 250 N at the incisors and 350 N at the molars^{2,3,9,11,14,15} – significantly higher than the forces obtained in the present study. Because the magnitude of the occlusal forces generated by edentulous patients depends on subjective feelings of the need to keep the prosthesis on its base, as well as on the pain threshold, we can say that the low values of occlusal forces observed in patients using prostheses made in the traditional method were associated with inadequate adhesion of the prostheses to the base and with pain that prevented more forceful biting on the dynamometer. The removal of the traditionally made prostheses and their replacement with prostheses made in accordance with biofunctional procedures resulted in an increase in the force generated at the right and left molars at the first examination 24 hours later. This value systematically underwent further increases at subsequent measurements.

Once the biofunctional prostheses had been installed, there was a gradual reduction in the difference between the forces generated at the right and left molars. This proves that a uniform distribution of occlusal forces was obtained as a result of prosthetic treatment using the biofunctional method.

The gradual increase in occlusal forces and their symmetric distribution across the occlusal surface was observed with the biofunctional prostheses, which indicates that these prostheses better meet the biomechanical needs of the masticatory system. This is likely the result of the prostheses adhering well to their base – an idea that is consistent with the results of the authors who evaluated the

Omówienie wyników i dyskusja

U osób z uzębieniem naturalnym, siły powstające podczas zwierania szczęk są przenoszone przez zęby i ozębną na kości szczęki i żuchwy. U osób bezzębnych siły te przenoszone są w sposób niefizjologiczny poprzez zęby sztuczne i płytę protezy na błonę śluzową, okostną i kość, a ich wielkość jest regulowana przez wrażliwość błony śluzowej, jej grubość i sprężystość, jak również uzależniona jest od odpowiedniej stabilizacji protez na podłożu.¹⁻⁵ Wiadomo, że warunki okluzji mają wpływ na wielkość sił zgryzowych generowanych w narządzie żucia. U pacjentów bezzębnych dochodzi do znacznego obniżenia wartości sił zgryzowych w porównaniu do osób z uzębieniem naturalnym.^{2,3,5-8} Związane jest to z wiekiem pacjentów oraz warunkami podłoża protetycznego i retencją protez.^{2,3,5,9-13} Na podstawie badań dotyczących wielkości generowanych sił zgryzowych przez pacjentów bezzębnych o korzystnych warunkach podłoża protetycznego stwierdzono, że średnia wartość tych sił wynosi w zakresie zębów trzonowych 150 N. W przypadku pacjentów o niekorzystnych warunkach podłoża, dochodzi do spadku sił zgryzowych zarówno w strefie zębów trzonowych (średnio o 60%), jak i strefie zębów siecznych (średnio o 90%).^{2,3,9,11}

W badaniach własnych wykazano, że wielkość sił zgryzowych w grupie osób użytkujących protezy całkowite wykonane wg metody tradycyjnej w zakresie zębów siecznych i trzonowych są znacznie obniżone. Potwierdziło to spostrzeżenia dotyczące obniżenia sił zgryzowych u pacjentów bezzębnych użytkujących protezy w stosunku do uzębienia naturalnego, gdyż średnie wartości sił zgryzowych u osób z pełnymi łukami zębowymi wynoszą na poziomie zębów siecznych 250 N, a na poziomie zębów trzonowych 350 N,^{2,3,9,11,14,15} czyli są znacząco wyższe od tych, które uzyskano w badaniach własnych. Ponieważ wielkość generowanych sił zgryzowych u pacjentów bezzębnych uzależniona jest od subiektywnych odczuć wynikających z utrzymania protez na podłożu, a także prognozy bólu – można uznać że uzyskane niskie wartości sił zgryzowych u pacjentów korzystających z protez wykonanych wg metody tradycyjnej, były związane z nieodpowiednim utrzymaniem ich na

maximum occlusal forces generated in edentulous patients before and after the application of adhesive. They found that the occlusal forces were greater after applying the adhesive, as the prostheses adhered better to their base.¹³ A study that used a special instrument to measure occlusal forces in edentulous patients with unfavourable prosthetic base conditions showed that the average force was 15 N.^{2,3} Our study showed that patients with unfavourable anatomical and physiological conditions using prostheses made according to the biofunctional method achieved much better results, with occlusal forces at the molars averaging 100 N.

Conclusions

1. The method used to construct prostheses has a significant impact on the magnitude of the occlusal force generated.

2. The generation of larger occlusal forces with biofunctional prostheses may indicate that they have good retention to the prosthetic base.

3. When using a biofunctional prosthesis, a systematic increase in occlusal forces and their symmetric distribution across the occlusal surface can provide evidence that the prosthesis is creating favourable biomechanical conditions for muscle action.

podłożu i dolegliwościami bólowymi, które uniemożliwiły mocniejsze nagryzanie na urządzenie pomiarowe (siłomierz). Wymiana protez i zastosowanie uzupełnień protetycznych wykonanych wg procedury biofunkcjonalnej, spowodowała już podczas pierwszego badania przeprowadzonego po 24 godzinach, wzrost sił generowanych na poziomie zębów trzonowych prawych i lewych, które systematycznie ulegały zwiększeniu w kolejnych badaniach. Po zastosowaniu protez wykonanych wg metody biofunkcjonalnej dochodziło również do stopniowego zmniejszania się różnicy między wielkością sił generowanych na poziomie prawych i lewych zębów trzonowych. Świadczy to o uzyskaniu równomiernego rozkładu sił zgryzowych w wyniku leczenia protetycznego wg procedury biofunkcjonalnej.

Stopniowy wzrost sił zgryzowych oraz ich symetryczny rozkład na powierzchni okluzyjnej obserwowany po zastosowaniu protez wg procedury biofunkcjonalnej wskazuje, że uzupełnienia te lepiej spełniają wymogi biomechaniki narządu żucia. Prawdopodobnie chodzi tu o dobre utrzymanie protez na podłożu, co jest zgodne z wynikami badań autorów, którzy oceniali wielkość maksymalnych sił zgryzowych u pacjentów bezzębnych przed i po zastosowaniu środka adhezyjnego. Stwierdzili, że wartości sił zgryzowych były większe po zastosowaniu środka adhezyjnego, kiedy protezy miały lepsze utrzymanie na podłożu.¹³ Badania, za pomocą przyrządu do pomiaru sił zgryzowych, przeprowadzone wśród pacjentów bezzębnych o niekorzystnych warunkach podłoża protetycznego wykazały, że generują oni siły w granicach średnio 15 N.^{2,3} W badaniach własnych, u pacjentów z niekorzystnymi warunkami anatomo-fizjologicznymi podłoża protetycznego użytkującymi protezy wykonane wg procedury zmodyfikowanej uzyskano znacznie lepszy wynik, bowiem wielkość sił zgryzowych na poziomie zębów trzonowych wynosiła średnio 100N.

Wnioski

1. Konstrukcja protezy całkowitej ma istotny wpływ na wielkość generowanych sił okluzyjnych.
2. Generowanie większych sił okluzyjnych po

zastosowaniu protez wykonanych wg systemu biofunkcjonalnego może wskazywać na ich dobre utrzymanie na podłożu.

3. Systematyczny wzrost sił zgryzowych oraz ich symetryczny rozkład na powierzchni okluzyjnej po zastosowaniu protez wykonanych według systemu biofunkcjonalnego może świadczyć, że uzupełnienia te stwarzają korzystniejsze warunki biomechaniczne dla pracy mięśni.

References

1. *Kasperski J, Chladek W, Karasiński A*: Badanie podatności błony śluzowej u osób zadowolonych i niezadowolonych z użytkowania całkowitych protez zębowych. *Czas Stomatol* 2001; 54: 189-194.
2. *Lipski T, Chladek W*: Wartości sił zgryzu w zależności od wieku i płci. *Protet Stomatol* 1997; 47: 284-287.
3. *Lipski T*: Wpływ wybranych cech środowiska jamy ustnej na siły utrzymania całkowitej protezy dolnej przy zaniku wyrostków zębodołowych. Rozprawa habilitacyjna. Katowice: Śląska Akademia Medyczna; 2005.
4. *Mohl N, Zarb G, Carlsson G, Rugh J*: A textbook of occlusion. Chicago: Quintessence; 1991.
5. *Rosak P, Kasperski J*: Relacje między siłami okluzyjnymi a akceptacją dolnych protez całkowitych. Analiza wpływu wybranych parametrów na siły okluzyjne. *Protet Stomatol* 2010; 60: 294-298.
6. *Carlsson GE*: Clinical morbidity and sequelae of treatment with complete dentures. *J Prosthet Dent* 1998; 79: 17-23.
7. *Sierpińska T, Pakiela G, Gołębiowska M*: Przebieg adaptacji do nowych protez całkowitych w aspekcie zmiany warunków zwarciowo-artykulacyjnych. *Protet Stomatol* 1996; 46: 281-285.
8. *Sierpińska T, Kuć J, Gołębiowska M*: Ocena parametrów morfologicznych twarzoczaszki u osób bezzębnych podczas wymiany protez całkowitych. *Protet Stomatol* 2008; 58: 235-240.
9. *Chladek W, Karasiński A, Lipski T*: Badania sił zgryzu w zależności od wielkości rozwarcia żuchwy. *Ann Acad Med Siles* 1998; supl. 26: 52-57.
10. *Chladek W, Lipski T, Karasiński A*: Experimental evaluation of occlusal forces. *Acta Bioeng Biomech* 2001; 3: 25-37.
11. *Chladek W*: Biomechanika inżynierska narządu żucia – zagadnienia wybrane. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej; 2008.
12. *Rodrigo G, Regalo SCH*: Using overdenture on implants and complete dentures: effects on postural maintenance of masticatory musculature. *Braz J Oral Sci* 2008; 7: 1550-1554.
13. *Wojtyńska E, Bączkowski B, Kucharski Z, Mierzwińska-Nastalska E, Spiechowicz E*: Wpływ środka adhezyjnego Corega fix & Fest na jakość użytkowania protez całkowitych. *Protet Stomatol* 2004; 54: 115-122.
14. *Pihut M*: Wpływ stosowania czasowych szyn okluzyjnych na biomechaniczne warunki żucia w leczeniu zaburzeń czynnościowych US. Rozprawa doktorska, Kraków: CM UJ; 2002.
15. *Pihut M, Wiśniewska G, Loster J, Wieczorek A*: Wpływ stosowania czasowych szyn okluzyjnych na biomechaniczne warunki żucia w leczeniu zaburzeń czynnościowych układu stomatognatycznego. *Nowocz Tech Dentystyczny* 2007; wyd spec: 124-132.

Address: 31-155 Kraków, ul. Montelupich 4
Tel.: +4812 4245436
e-mail: grazyna.wisniewska@uj.edu.pl

Received: 20th December 2015
Accepted: 22nd February 2016