

- [1] N.B. Morgan, Mater. Sci. Eng. A 378 (2004) 16-23.
 [2] G.C. McKey, R. Mavnair, C. MacDonald, M.H. Grant, Biomater. 1996; 17:1339-44.
 [3] S. Shabalovskaya, J. Anderegg, J. Van Humbeeck, Acta Biomater. 4 (2008) 447-467.
 [4] G. Rondelli, B. Vicentini, J. Biomed. Mater. Res. 51 (2000) 47-54.
 [5] C.L. Chua, C.Y. Chungb, P.K. Chub, Mater. Sci. Eng. A 417 (2006) 104-109.
 [6] Y.W. Gu, B.Y. Tay, C.S. Lim, M.S. Yong, Appl. Surf. Sci. 252 (2005) 2038-2049.
 [7] Z.D. Cui, H.C. Man, X.J. Yang, Appl. Surf. Sci. 208-209 (2003) 388-393.

- [8] J. Lelątko, T. Goryczka, T. Wierzchoń, M. Ossowski, B. Łosiewicz, E. Rówiński, H. Morawiec, ESOMAT 2009, DOI:10.1051/esomat/200905020.
 [9] C. Liu, D. Hu, J. Xu, D. Yang, M. Qi, Thin Solid Films 496 (2006) 457-462.
 [10] R. Hang, Y. Qi, Diamond Relat. Mater. 19 (2010) 62-66.
 [11] F. Sun, K.N. Sask, J.L. Brash, I. Zhitomirsky, Colloids Surf., B 67 (2008) 132-139.
 [12] P. Dong, W. Hao, X. Wang, T. Wang, Thin Solid Films 516 (2008) 5168-5171.
 [13] D.O. Flamini, S.B. Saidman, Cor. Sci. 52 (2010) 229-234.

BADANIA DOŚWIADCZALNE NOWEJ GENERACJI STABILIZATORÓW PŁYTKOWYCH PRZEZNACZONYCH DO LECZENIA ZNIEKSZTAŁCEŃ PRZEDNIEJ ŚCIANY KLATKI PIERSIOWEJ

A. KAJZER^{1*}, W. KAJZER¹, J. MARCINIAK¹, J. DZIELICKI²,
I. JANICKA³, W. WOLAŃSKI⁴, B. GZIK-ZROSKA⁴

¹ POLITECHNIKA ŚLĄSKA, WYDZIAŁ MECHANICZNY TECHNOLOGICZNY,
INSTYTUT MATERIAŁÓW INŻYNIERSKICH I BIOMEDYCZNYCH, GLIWICE
² ŚLĄSKI UNIWERSYTET MEDYCZNY,
KLINIKA CHIRURGII WAD ROZWOJOWYCH DZIECI I TRAUMATOLOGII,
KATOWICE

³ ŚLĄSKI UNIWERSYTET MEDYCZNY,
KLINIKA CHIRURGII KLATKI PIERSIOWEJ, KATOWICE

⁴ POLITECHNIKA ŚLĄSKA, WYDZIAŁ MECHANICZNY TECHNOLOGICZNY,
KATEDRA MECHANIKI STOSOWANEJ, GLIWICE

*E-MAIL: ANITA.KAJZER@POLSL.PL

[Inżynieria Biomateriałów, 109-111, (2011), 50-53]

Wprowadzenie

Zniekształcenia klatki piersiowej stanowią od lat istotny problem leczniczy i w ponad 90% obejmują: zniekształcenie typu: lejkowatego oraz kurzego. Wprowadzanie w ostatnich latach nowych, małoinwazyjnych technik operacyjnych bazuje na doświadczeniach zespołów interdyscyplinarnych inżynierii biomedycznej. Wytworzenie stabilizatorów płytkowych oraz instrumentarium chirurgicznego opracowanych w Centrum Inżynierii Biomedycznej Politechniki Śląskiej oraz ich wdrożenie do produkcji w BHH Mikromed wielokrotnie obniża koszty zabiegu operacyjnego. Efektem tego jest rozpowszechnienie tej metody leczenia operacyjnego w wielu ośrodkach torakochirurgii w Polsce.

Uzyskane do tej pory efekty przeprowadzonych stabilizacji metodą Nussa są w ocenie klinicznej bardzo pozytywne. Niemniej jednak bieżące analizy doświadczeń klinicznych wskazują na konieczność dalszej weryfikacji i korygowania cech konstrukcyjnych i biomechanicznych stabilizatorów w odniesieniu do populacji wiekowej pacjentów oraz cech

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE NEW GENERATION PLATE STABILIZERS USED IN TREATMENT OF ANTERIOR SURFACE DEFORMITY OF CHEST

A. KAJZER^{1*}, W. KAJZER¹, J. MARCINIAK¹, J. DZIELICKI²,
I. JANICKA³, W. WOLAŃSKI⁴, B. GZIK-ZROSKA⁴

¹ SILESIA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY,
INSTITUTE OF ENGINEERING MATERIALS AND BIOMATERIALS,
GLIWICE

² MEDICAL UNIVERSITY OF SILESIA, KATOWICE

³ MEDICAL UNIVERSITY OF SILESIA, KATOWICE

⁴ SILESIA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY,
DEPARTMENT OF APPLIED MECHANICS, GLIWICE

*E-MAIL: ANITA.KAJZER@POLSL.PL

[Engineering of Biomaterials, 109-111, (2011), 50-53]

Introduction

The anterior surface deformity of chest has been a significant treatment problem since years and in more than 90% it includes pectus excavatum and pectus carinatum types of deformation. Recently introduced new minimally invasive surgery procedures are based on the research of the interdisciplinary biomedical engineering teams. Creating new generation plate stabilizers and surgical tools developed in the Biomedical Engineering Center of the Silesian University of Technology and manufactured by BHH Mikromed significantly decrease costs of a surgical treatment. As a result, the surgical treatment has been widely used in many Thoracic Surgery Centers in Poland. Clinical results of the stabilization obtained so far and carried out using Nuss'es method are very positive. Nevertheless, current analysis of clinical research reveal a necessity of further verification and correction of the constructional and biomechanical features of the stabilizers with a reference to the age of patients and their individual reactivity features. So far it has been observed that in some cases the plate becomes loose and, as a consequence, rotates causing irritation of the inner structure of ribs and breastbone resulting in pain problems. Therefore, implementing new solution of the geometry of the stabilizer will undoubtedly contribute

reaktywności osobniczej. Dotychczas obserwowano przypadki obluźnienia płyty i w następstwie jej obrót powodujący drażnienie wewnętrznej struktury żeber i mostka stwarzając dolegliwości bólowe. Dlatego też zastosowanie nowego rozwiązania geometrii stabilizatora przyczyni się niewątpliwie do zwiększenia komfortu pacjenta po operacji zapewniając prawidłową korekcję wady [1-5].

Wyniki badań numerycznych i doświadczalnych stosowanych obecnie implantów potwierdziły spostrzeżenia klinicystów o konieczności modyfikacji ich geometrii. Dodatkowo przeprowadzone przez Autorów badania odporności korozyjnej płyt w stanie wyjściowym, jak również po określonym czasie użytkowania pozwoliły na opracowanie technologii modyfikacji powierzchni biomateriału metalowego uwzględniającą konieczność sterylizacji implantu [6-8].

W pracy przedstawiono wyniki badań doświadczalnych nowej generacji stabilizatora do leczenia zniekształceń klatki piersiowej o zmodyfikowanej geometrii i sposobie mocowania zapobiegającemu rotacji, obluźnianiu i jej przemieszczaniu się podczas stabilizacji. W szczególności wyznaczono wartości siły i przemieszczenia płyty podczas obciążania oraz sprawdzono skuteczność nowego sposobu stabilizacji.

Metodyka

Do badań doświadczalnych stabilizatora płytkowego do leczenia zniekształceń przedniej ściany klatki piersiowej przygotowano specjalne stanowisko opracowane przez pracowników Zakładu Inżynierii Biomedycznej, które odpowiednio zamontowane w uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej Firmy MTS Insight, umożliwiło pomiar wartości przemieszczeń wytypowanych obszarów płyty oraz sił obciążających F . Badaniu poddano płytę o wymiarach 16x3,5x400 mm wykonaną ze stali Cr-Ni-Mo – RYS. 1. Pomiar polegał na rejestrowaniu siły osiowej F w kierunku osi „z” oraz wartości przemieszczeń w kierunku osi „x” odczytywanych dla przemieszczenia osiowego w kierunku osi „z”. Założono możliwość przemieszczeń do 10 mm co 1mm, uwzględniając ugięcie klatki piersiowej. Taka wartość przemieszczeń nie powoduje dolegliwości bólowych.

Aby zasymulować prawidłową stabilizację zdeformowanej klatki piersiowej przed przystąpieniem do badań płytę odpowiednio dogięto do jej anatomicznej krzywizny przy pomocy specjalistycznego instrumentarium chirurgicznego i przymocowano do nowo opracowanej poprzeczki. Następnie zamocowano ją na stanowisku, za pomocą drutu chirurgicznego zgodnie z techniką operacyjną. Stanowisko umożliwiło różny sposób mocowania płyty – z wykorzystaniem podpór stałych (z niewielką możliwością przemieszczania się części bocznej płyty podczas obciążania wynikającą z elastyczności konstrukcji) oraz wykorzystaniem podpory ruchomej (zakładając ograniczenie przemieszczenia do max 10 mm z jednej strony).

to increasing patient's comfort after operation, providing an appropriate correction of the defect [1-5].

The results of numerical and experimental researches of currently used implants have proven the clinical researchers' observation about the necessity of modifying their geometry. Furthermore, conducted by the Author analysis of the corrosion resistance of the plates in initial state as well as after particular time of usage enabled to develop the modification technology of the surface of the steel biomaterial taking the necessity of sterilizing the implant into consideration [6-8].

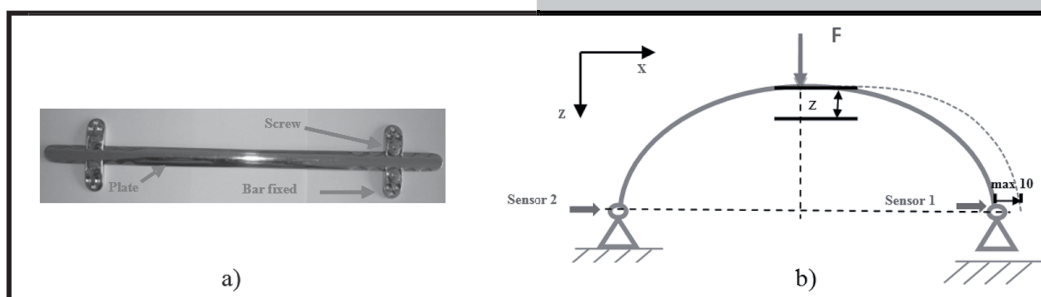
The paper presents the results of an experimental analysis of the new generation stabilizer used for anterior surface deformity treatment with a modified geometry and way of fixing preventing rotation, loosening and its displacement during stabilization. In particular, forces and displacements of the plate during loading were determined and the effectiveness of the new way of stabilizing was verified.

Methods

In order to conduct experimental research of the plate stabilizer used in anterior chest deformity treatment, a special stand was created by the researchers of the Division of Biomedical Materials Engineering. The stand, properly fixed in universal testing machine manufactured by MTS Insight, enabled calculating results of displacements of chosen areas of the plate and loading forces F . The analysis was performed on the plate 16x3,5x400 mm made of Cr-Ni-Mo stainless steel - FIG. 1. The calculations were based on registering axial force F directed towards axis „z” and the value of displacements directed towards axis „x” interpreted for axial displacement directed towards axis „z”. The possibility of displacements up to 10 mm step of 1mm were assumed, considering chest bending. Such value of displacement does not cause any pain problems.

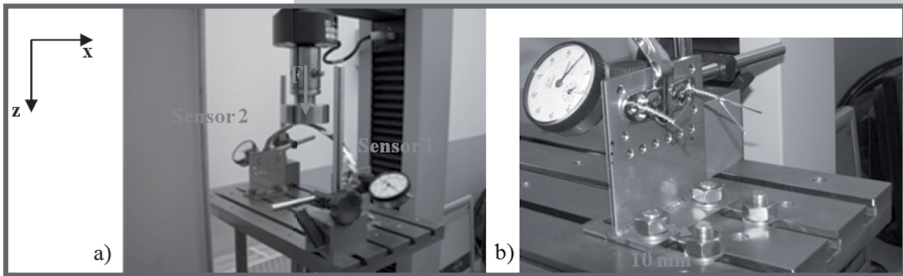
In order to simulate the correct stabilization of the deformed chest before starting the research the plate was appropriately fitted to its anatomical curvature with the use of the dedicated surgical tools and fixed to the newly designed bar. Then, it was fixed on the stand with surgical wire according to the operational technique. The stand enabled different types of fixing the plate with the use of fixed support (with the small possibility of displacement of the side part of the plate during loading caused by flexibility of the construction) and with the use of mobile support (assuming the limit of the displacement up to maximum 10 mm from one side).

Such way of limiting includes possibility of stabilizer's displacement in the place where it is fixed to ribs while patients breathing. In order to calculate the value of displacements in characteristic areas of the model (along the axis „x”) sensors were used (sensor 1 and sensor 2) according to the scheme shown in FIG.2. The values of displacement directed towards axis „z” were registered with the help of specialist program of the universal testing machine.



RYS. 1. a) konstrukcja stabilizatora płytkowego, b) schemat obciążenia i przemieszczeń.
FIG. 1. a) The construction of the plate stabilizer, b) the scheme of load and displacements.

Taki sposób ograniczenia uwzględni możliwość przemieszczania się stabilizatora w miejscu jej mocowania do żeber podczas oddychania pacjenta. W celu określenia wartości przemieszczeń w charakterystycznych punktach modelu (wzdłuż osi „x”) zastosowano czujniki zegarowe (Czujnik 1 i Czujnik 2) zgodnie ze schematem przedstawionym na RYS.2. Wartości przemieszczenia w kierunku osi „z” rejestrowane były przy pomocy specjalistycznego oprogramowania maszyny wytrzymałościowej.



RYS. 2. Stanowiska do badań doświadczalnych, mocowanie z wykorzystaniem podpór: a) stałych, b) jednej podpory ruchomej.
FIG. 2. Research stand, fixing with the use of support: a) fixed b) one mobile support.

Wyniki

Wyniki badań przedstawiono na RYS.3 i w TABLICY 1.

Na ich podstawie można stwierdzić, że przy zadaniu maksymalnej wartości przemieszczenia osiowego „z”=10 mm uzyskuje się siły osiowe: $F=888$ N przy założeniu sztywnych podpór, natomiast przy możliwości przemieszczania się płyty z jednej strony o wartość max 10 mm siła ta zmalała do wartości $F=442$ N.

W pierwszym przypadku uzyskane wartości przemieszczenia rejestrowane w punkcie 1 i punkcie 2 wzdłuż osi „x”

Results

The results of the research are presented in FIG.3 and in TAB.1.

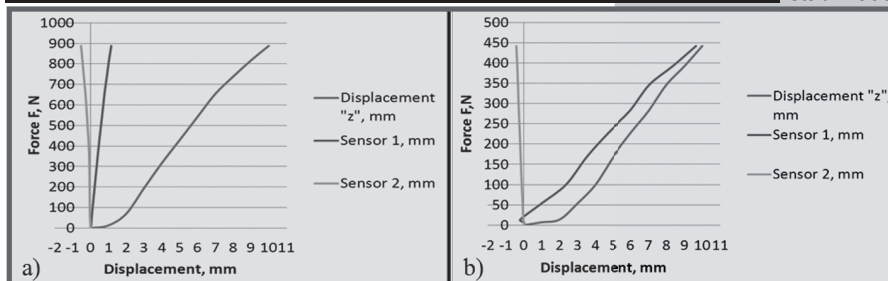
On the basis of the obtained results it can be stated that applying maximum value of axial displacement „z”=10mm, generates the axial force $F=888$ N for the fixed support, whereas with the possibility of plate displacement from one side with the maximum value of 10 mm, this force decreased to the value of $F=442$ N.

In the first case, obtained displacement values registered in point 1 and point 2 along the „x” axis were respectively equal to: 1,16 mm and 0,54 mm, whereas for the mobile support: 9,65 mm and 0,42 mm.

TABLICA 1. Wartości sił F i przemieszczeń „x” zarejestrowanych przy wartościach przemieszczenia osiowego „z”: od 1 mm do 10 mm co 1 mm.

TABLE 1. The values of the force F and displacement „x” registered at the axial displacement values „z”- from 1 mm to 10 mm.

No	Przemieszczenie Displacement [mm]	Podpory stałe Fixed support			Podpora ruchoma Mobile support	
		Siła / Force F , [N]	Sensor 1 [mm]	Sensor 2 [mm]	Siła / Force F , [N]	Sensor 1 [mm]
1	1	13	0,030	-0,010	7	-0,004
2	2	70	0,080	-0,040	14	-0,200
3	3	195	0,220	-0,050	54	1,000
4	4	317	0,360	-0,070	100	2,350
5	5	429	0,490	-0,120	168	3,500
6	6	542	0,640	-0,200	227	4,700
7	7	654	0,780	-0,290	281	5,950
8	8	738	0,910	-0,380	346	7,050
9	9	817	1,030	-0,460	392	8,350
10	10	888	1,160	-0,540	442	9,650



RYS. 3. Wykres zależności wartości przemieszczenia w osi „x” i „z” od siły F : a) podpory stałe, b) podpora ruchoma.

FIG. 3. The diagram of the dependence of the values of the displacements in axis „x” and „z” on the F force: a) fixed support b) mobile support.

Conclusions

Obtained in the experimental research values of the axial forces which cause the plate bend of 10 mm were respectively equal to: 888 N with the fixed support and 442 N with the mobile support. Relating obtained results to the results obtained in the analysis of the chest stiffness at children [9], where the maximum axial displacement which did not cause pain problems was obtained at the load of 100 N and ranged from 10 to 20 mm. It can be stated that in both cases, the plate has greater stiffness than a chest, which can be the subject of further research aiming at minimizing the stiffness of the stabilizer through optimizing its geometry – width and thickness of the plate. It was also concluded that the applied type of bars fixation by means of surgical wires ensures the appropriate stabilization of the system. While loading in the first stage, the elimination of clearances between the bar fixed with surgical wire and ribs occurred. The wires were not damaged as well as no clamps were observed to come loose.

Moreover, it was stated that the suggested innovative way of fixing the plate to the bars prevented from its rotation during loading. No mechanical damages of cooperating elements were observed i.e. seats of the plate, bars and locking screws, which

wynosiły odpowiednio: 1,16 mm i 0,54 mm, natomiast dla podpory ruchomej: 9,65 mm oraz 0,42 mm.

Podsumowanie

Uzyskane w badaniach doświadczalnych wartości sił osiowych, które powodują ugięcie płyty o 10 mm wynosiły odpowiednio: 888 N przy założeniu podpór stałych, natomiast 442 N przy założeniu jednej podpory ruchomej. Odnosząc otrzymane wartości do wyników uzyskanych w badaniach sztywności klatki piersiowej u dzieci [9], gdzie maksymalne przemieszczenie osiowe, które nie powodowało dolegliwości bólowych osiągnięto przy obciążeniu 100 N i wynosiło od 10 do 20 mm można stwierdzić, że zarówno w jednym, jak i drugim przypadku płyta charakteryzuje się większą sztywnością, niż klatka piersiowa. Może to stanowić przedmiot dalszych badań dążących do zminimalizowania sztywności stabilizatora poprzez optymalizację jej geometrii – szerokości i grubości. Stwierdzono również, że sposób mocowania poprzeczek drutami chirurgicznymi, zapewnia odpowiednią stabilizację układu. Podczas obciążania w pierwszym etapie następowało kasowanie luzów pomiędzy poprzeczką mocowaną drutami chirurgicznymi, a żebrami. Druty te nie uległy uszkodzeniu, jak również nie zaobserwowano obluźnienia mocowania.

Ponad to stwierdzono, że zaproponowane nowatorskie mocowanie płyty do poprzeczek uniemożliwiało jej rotację podczas obciążania. Nie zaobserwowano uszkodzeń mechanicznych współpracujących ze sobą elementów, tj. gniazd płyty, poprzeczki i śrub blokujących co wskazuje na odpowiedni dobór cech geometrycznych i materiałowych tych elementów.

Podsumowując wyniki uzyskane w pracy można stwierdzić, że zaproponowany nowy sposób stabilizacji zapewnia prawidłową pracę płyty minimalizując niebezpieczeństwo jej rotacji co zdarzało się podczas standardowego mocowania płyty jedynie przy pomocy drutów. Natomiast w dalszych badaniach należy przeprowadzić analizy płyt o zmodyfikowanej geometrii zapewniającej mniejszą ich sztywność zbliżoną do sztywności klatki piersiowej.

Podziękowania

Prezentowana praca była finansowana z projektu badawczego nr 4159/B/T02/2010/38 na lata 2010-2012.

Piśmiennictwo

- [1] Dzielicki J., Korlacki W., Sitkiewicz T.: Małoinwazyjna metoda Nussa w leczeniu lejkowatej klatki piersiowej, *Polski Przegląd Chirurgiczny*, 2000, 72, 6, ss. 524-530.
- [2] Kravarusic D., Dicken B.J., Dewar R., Harder J., Poncet P., Schneider M., Sigalet D.L.: The Calgary protocol for bracing of pectus carinatum: a preliminary report. *J.Pediatr.Surg.* 2006;41(5):923-926.
- [3] Lee S.Y., Lee S.J., Jeon C.W., Lee C.L., Lee K.R.: Effect of the compressive brace in pectus carinatum. *Eur.J.Cardiothorac.Surg.* 2008;34:146-149.
- [4] Bohosiewicz J., Kudela G., Koszutski T.: Results of Nuss procedures for the correction of pectus excavatum, *European Journal of Pediatric Surgery* 2005, Vol.15, No.1, pp. 6-10.
- [5] Rzechonek A., J. Kołodziej: Leczenie lejkowatej klatki piersiowej sposobem Nussa – porównanie z metodą Ravitcha *Family Medicine Primary Care Review* 2005, 7, 2: 144-148.

indicates an appropriate choice of geometrical and material features of these elements.

Summarizing the results obtained in the paper it can be stated that the suggested new way of stabilizing ensures a proper work of the plate, minimizing the risk of its rotation, which took place during standard fitting of the plate by means of wires only. However, in further research analysis of plates with modified geometry providing their less stiffness related to the stiffness of the chest should be conducted.

Acknowledgements

Presented work was financed from the scientific funds No 4159/B/T02/2010/38 in the years 2010-2012 as a research project.

References

- [6] Krauze A., Kajzer W., Dzielicki J., Marciniak J.: Influence of mechanical damage on corrosion resistance of plates used in funnel chest treatment. *Journal of Medical Informatics & Technologies*, vol. 10, December 2006, pp. 133-141.
- [7] Krauze A., Marciniak J.: Numerical analysis of plates used in funnel chest treatment. October 11th – 14th 2007, Rytro, *Inżynieria Biomateriałów (Engineering of biomaterials)*, nr 67-68, vol X, December 2007, pp. 32-34.
- [8] Krauze A., Kajzer W., Walke W., Dzielicki J.: Physicochemical properties of fixation plates used in pectus excavatum treatment. *Int. J. Computational Materials Science and Surface Engineering*, Vol. 1, No. 3, 2007, pp. 351-365.
- [9] J. Dzielicki, W. Wolański, B. Gzik-Zroska, A. Kajzer, W. Kajzer: Pomiar sztywności klatki piersiowej u dzieci w wieku szkolnym. *Majówka Młodych Biomechaników 2011 19-22.05.2011 Wisła. Materiały Konferencyjne.*