

**DEVELOPMENTAL DEFECTS OF CHEST - APPLICATION OF SURGERY BY NUSS IN TREATMENT OF THE FUNNEL CHEST TREATMENT**

Krystian Pawlak, Aleksander Barinow-Wojewódzki,  
Wojciech Dyszkiewicz  
Greater Pulmonology and Thoracic Surgery  
Center in Poznan, Poland

**ABSTRACT**

**Introduction.** Deformations of the chest wall are a serious problem in congenital defects and regards even up to 0.1% of the total population. Most of them are the funnel chest and the chicken chest.

**Aim.** The purpose of this paper is to present methods for treating pathologies of the chest. There is no evidence that conservative treatment or even intensive rehabilitation (physical exercise, fitness, swimming exercises) were able to inhibit the growth, or result in a reduction of the chest deformities.

**Method.** The first method of the chest deformities treatment created and routinely performed by Mark Ravitch, was a treatment consisting in making the vertical cut over the sternum and bilateral cut out of parasternal fragments of 3-5 pairs of rib cartilages, breaking the sternum and its re-anastomosis with reduced previously cartilages in the desired position. Then in 1997 an American pediatric surgeon Donald Nuss presented his experiences using a minimally invasive surgical method for the treatment of chest. Nuss surgery method involves carrying out the endotracheal tube under bridge, using a specially designed track from left to right side of the chest with two symmetrical small skin incisions in the axillary median line.

**Results and conclusions.** The efficacy of surgical treatment is conditioned by the proper rehabilitation in the early postoperative period. Complications in the vast majority are transient, reversible and harmless to life, they occur in the early postoperative period.

**Key word:** congenital defects, chicken chest, funnel chest, surgical treatment

**WADY ROZWOJOWE KLATKI PIERSIOWEJ - ZASTOSOWANIE OPERACJI METODĄ NUSSA W LECZENIU KLATKI PIERSIOWEJ LEJKOWATEJ**

Krystian Pawlak, Aleksander Barinow-Wojewódzki,  
Wojciech Dyszkiewicz  
Wielkopolskie Centrum Pulmonologii i Torakochirurgii w Poznaniu

**STRESZCZENIE**

**Wprowadzenie.** Deformacje ściany klatki piersiowej stanowią poważny problem wad wrodzonych i dotyczą nawet do 0,1 % ogółu populacji. Najczęściej wśród nich występują klatka piersiowa lejkowata oraz klatka piersiowa kurza.

**Cel pracy.** Celem niniejszej pracy jest przedstawienie metod leczenia patologii klatki piersiowej. Nie ma dowodów na to, by leczenie zachowawcze lub nawet intensywne rehabilitacja (ćwiczenia fizyczne, siłownia, ćwiczenia pływackie) były w stanie zahamować rozwój, czy spowodować zmniejszenie deformacji klatki piersiowej.

**Metoda.** Pierwszą metodą leczenia deformacji klatki piersiowej stworzoną i rutynowo wykonywaną przez Marka Ravitcha, był zabieg polegający na wykonaniu pionowego cięcia nad mostkiem i obustronnym wycięciu przymostkowych fragmentów 3-5 par chrząstek żebrowych, przełamaniu mostka i jego ponownym zespoleniu ze skróconymi wcześniej chrząstkami w pożądanej pozycji. Następnie w 1997 amerykański chirurg dziecięcy Donald Nuss przedstawił swoje doświadczenia wykorzystując małoinwazyjną metodę chirurgiczną leczenia klatki piersiowej. Zabieg operacyjny metodą Nussa polega na przeprowadzeniu pod mostkiem rurki intubacyjnej, za pomocą specjalnie zaprojektowanej przewodnicy z lewej na prawą stronę klatki piersiowej przez dwie symetryczne niewielkie nacięcia skóry w linii pachowej środkowej.

**Wyniki i wnioski.** Skuteczność leczenia operacyjnego uwarunkowane jest właściwą rehabilitacją we wczesnym okresie pooperacyjnym. Powikłania w zdecydowanej większości są przemijające, odwracalne i niegroźne dla życia, występują we wczesnym okresie pooperacyjnym.

**Słowa kluczowe:** wady rozwojowe, klatka piersiowa kurza, klatka piersiowa lejkowata, leczenie chirurgiczne

## INTRODUCTION

Deformations of the chest represent about 90% of all congenital malformations and concern from 0.01 to 0.1% of the total population. Most of them are funnel chest ("pectus excavatum", latin) and chicken chest ("pectus carinatum", latin).

The wall chest deformities have been known since ancient times. Hippocrates (460 BC-370 BC), defined the chicken chest as "sharply pointer chest," and affected patients described as "affected with difficulty breathing" (cited in Castile et al 1982). The oldest documented evidence of chest deformities was provided by discovery of 176 graves in Hungary. Of the 48 surviving skeletons of chests found in graves dating back to the 10 - 16 age, there were identified two funnel-shaped sterna (Tóth and Buda 2001). For the first time the funnel chest was described in 1594 by French naturalist-botanist and physician, Johann Bauhinusa (1541-1612). In the paper and titled "Sterni cum costis ad interna reflexis nativa spirandi difficultatis causa" published in the edition of Johannes Scenka von Grafenberg "Observationum rarum, novarum, admirabilium et monstruosorum (Frankfurt: Tomus I Librum II, 1600;507-508)", Bauhinus described the case of a severe form of funnel chest in a patient with the extensive pressure on the lung, shortness of breath and paroxysmal coughing (Skrzelewski et al 2005).

Among the hypotheses about the causes of the congenital chest deformities there are distinguished congenital abnormalities of the muscles having their tendons within a chest, excessive growth of the ribs, which push the sternum towards its back, too flaccid sternum entheses and the excessive breathing in childhood.

### Patients

Funnel chest and shoemaker chest are the most common congenital deformities of the chest. They are recognized in 1/1000 live births, and they are three times more common in males. In about 45% of the observed occurrences of these defects, they are among those related to each other, suggesting a genetic background of illnesses, and it is assumed, that a gene located in the long arm of chromosome 18 is probably responsible for these malformations (Skrzelewski et al 2005, Goretsky et al 2004). Although it is not perceived a racial predisposition in the occurrence of funnel chest, it is the most re-

## WPROWADZENIE

Deformacje ściany klatki piersiowej stanowią około 90 % wszystkich wad wrodzonych i dotyczą od 0,01 do 0,1 % ogółu populacji. Najczęściej wśród nich występują klatka piersiowa lejkwata (łac. pectus excavatum) oraz klatka piersiowa kurza (łac. pectus carinatum).

Deformacje ściany klatki piersiowej znane były od najdawniejszych czasów. Hipokrates (460 p.n.e. - 370 p.n.e.) określał klatkę piersiową kurzą, jako „sharply pointer chest”, a dotkniętych nią pacjentów opisywał jako „affected with difficulty breathing” (cyt. za Castile i wsp. 1982). Najstarszych udokumentowanych dowodów istnienia deformacji ściany klatki piersiowej dostarczyło odkrycie 176 grobów na Węgrzech. Spośród 48 zachowanych szkieletów klatki piersiowej w mogiłach datowanych na 10 - 16 wiek zidentyfikowano dwa lejkwate mostki (Tóth i Buda 2001). Po raz pierwszy klatka piersiowa lejkwata została opisana w 1594 roku przez francuskiego naturalistę-botanika i lekarza, Johanna Bauhinusa (1541-1612). W pracy pod tytułem „Sterni cum costis ad interna reflexis nativa spirandi difficultatis causa” opublikowanej w edycji Johanesa Scenka von Grafenberga „Observationum rarum, novarum, admirabilium et monstruosorum (Frankfurt: Tomus I, Librum II, 1600; 507–508)”, Bauhinus opisał przypadek ciężkiej postaci klatki lejkwatej u pacjenta z rozległym uciskiem na płuco, dusznością i napadowym kaszlem (Skrzelewski i wsp. 2005).

Wśród hipotez dotyczących przyczyn powstania wrodzonych deformacji klatki piersiowej wyróżnia się wrodzone nieprawidłowości układu mięśni mających przyczepy w obrębie klatki piersiowej, nadmierny wzrost żeber, które spychają mostek ku tyłowi, zbyt wiotki mostkowy przyczep przepony oraz nadmierny wysięk oddechowy w dzieciństwie.

### Chorzy

Klatka piersiowa lejkwata i klatka piersiowa szewska są najczęściej występującymi spośród wrodzonych deformacji ściany klatki piersiowej. Rozpoznaje się je w 1/1000 żywych urodzeń i trzy razy częściej u płci męskiej. W około 45% przypadków obserwuje się występowanie tej wady wśród osób ze sobą spokrewnionych, co sugeruje genetyczne tło tego schorzenia, a jak się przypuszcza, prawdopodobnie odpowiada za to gen zlokalizowany w ramieniu długim chromosomu 18 (Skrzelewski i wsp. 2005, Goretsky i wsp. 2004). Jakkolwiek nie spostrzega się predyspozycji rasowej w występo-

lated to people of Caucasian (98%) and to a lesser extent, Hispanic (9%) or Asian (2%) and American Negro races (Koumbourlis 2009, Fonkalsrud 2003). The funnel chest is often diagnosed in patients with Marfan syndrome and Ehlers-Danlos syndrome. Only about 40% of deformations are visible at birth, and their reach their peak in the pubertal period of rapid growth. To the complete growth of chest, it is about 18-20 years old, deformities may be growing.

In a typical, present in some cases type, the funnel chest is characterized by bending towards the shank of sternum together with the adjacent ribs. The lowest point of the funnel chest exists at the level of the xiphoid process joining to the sternum trunk, with the anatomical setting of the sternum grip. Parasternal parts of ribs strongly bent towards the back, and the place of the angle curving falls mostly on the border of the cartilaginous and bony parts of ribs from III to IX. Subsequently, there are observed asymmetrical depression of the sternum with its rotation, flat and narrow cavity of the anterior wall of chest, collapsing of the sternum over its entire length, the deformity of "grand canyon" type and the complex deformation like chicken-funnel chest (Saxena et al 1999, Park and et al 2004).

#### METHODS

The funnel chest occurs not only in different types, but also in various stages of development. The size of the deformation can be determined easily by measuring the distance from the point of greatest depression taking as a reference the level of correctly aligned ribs. They are currently widely used indicators of deformation: the index of Kopera-Weissa (the ratio of the smallest to the largest distance from posterior surface of the sternum to the anterior surface of the spine, ascertained in chest X-ray in lateral projection) and Haller index (the ratio of the largest dimension of the internal thoracic transverse dimension to the smallest internal measure between the rear surface of the sternum to the frontal surface of the spine. The latter is determined on the basis of computed tomography of the chest (Adamczak et al 2004).

Among the clinical symptoms from the respiratory system, in patients with the funnel chest it is frequently observed the decreased exercise tolerance (92%), chest pain (71%), frequent and recur-

waniu klatki piersiowej lejkowatej, to najczęściej dotyczy ona ludzi rasy Kaukaskiej (98%), w mniejszym stopniu Latynoskiej (9%) lub Azjatyckiej (2%) i Amerykańskich Murzynów (Koumbourlis 2009, Fonkalsrud 2003). Klatka piersiowa lejkowata często jest rozpoznawana u chorych z zespołem Marfana i zespołem Ehlersa-Danlosa. Tylko około 40% deformacji widocznych jest po urodzeniu, a największe nasilenie osiągają w okresie szybkiego wzrostu pokwitaniowego. Do zakończenia wzrostu klatki, to jest około 18-20 roku życia, deformacje mogą powiększać się.

W typowej, obecnej w części przypadków odmianie, charakteryzuje ją wygięcie ku tyłowi trzonu mostka z przylegającymi do niego żebrami. Najniższy punkt lejkowatego zagłębienia ma miejsce na poziomie połączenia wyrostka mieczykowatego z trzonem mostka, przy anatomicznym ustawieniu rękojeści mostka. Przymostkowe odcinki żeber silnie wygięte ku tyłowi, a miejsce kątownego zagięcia przypada najczęściej na granicy chrzęstnej i kostnej części żeber III-IX. W dalszej kolejności obserwuje się asymetryczną depresję mostka z jego rotacją, płaskie i szerokie zagłębienie przedniej ściany klatki piersiowej, zapadnięcie mostka na całej jego długości, deformację typu „grand canyon” oraz deformację złożoną kurzo-lejkowatą (Saxena i wsp. 1999, Park i wsp. 2004).

#### METODY

Klatka piersiowa lejkowata występuje nie tylko w różnych wariantach, ale także w różnym stopniu zaawansowania. Rozmiar deformacji można określić w prosty sposób, mierząc odległość od punktu największego zagłębienia, biorąc jako punkt odniesienia poziom prawidłowo ustawionych żeber. Obecnie powszechnie wykorzystuje się wskaźniki deformacji: wskaźnik Koperę-Weissa (iloraz najmniejszej do największej odległości tylnej powierzchni mostka do przedniej powierzchni kręgosłupa, wyznaczony w RTG klatki piersiowej w projekcji bocznej) oraz wskaźnik Hallera (iloraz największego wewnętrznego wymiaru poprzecznego klatki piersiowej do najmniejszego wymiaru wewnętrznego pomiędzy tylną powierzchnią mostka do przedniej powierzchni kręgosłupa. Ten ostatni jest określany na podstawie badania tomografii komputerowej klatki piersiowej) (Adamczak i wsp. 2004).

Spośród podmiotowych objawów klinicznych ze strony układu oddechowego u osób z klatką pier-

rent respiratory tract infections (34.3%), or a set of symptoms towards asthma (34%), which is often reflected in the reduced, at 1/3-1/2 of examined subjects, spirometric parameters (FVC, FEV<sub>1</sub>, FEF<sub>25-75%</sub>) <80% (Szydlik et al 2013). In most patients, the depression of the sternum results in, detected in a radiological imaging, the pressure on the heart (85%) or its displacement (73.4%). In 26% of cases, a prolapse of the anterior leaflet of the mitral valve is observed. In some patients, changes of the heart rhythm are the result of deformation impact, coming from changes in the heart placement (1.5%).

## RESULTS AND TREATMENT

In most of patients with the funnel chest, the abnormalities are observed during ontogenetic development like delayed physical development, low biological age, low weight and asthenic body constitution, the reduced size and mobility of the chest, different posture abnormalities (the head protruded forward, drooping or protruding forward shoulders, bladed shoulder, kyphoscoliosis, bulging belly) and postural muscles weakness. A very important issue also appears to be frequently observed in this group of patients towards psychosocial disorder that significantly make difficulties in daily functioning and constituted the dominant factor in the decision to undertake the treatment. There is a list of them to avoid contact with peers, public places (pools, beaches), reduced sports activity, masking deformation by loose clothing, poorer academic performance, low self-esteem, symptoms of depression including suicidal tendencies.

In the treatment of the funnel chest there are used both conservative and surgical methods. There is no evidence that conservative treatment or even intensive rehabilitation (physical exercise, fitness, swimming exercises) were able to inhibit the growth, or result in a reduction of the chest deformities. The defect concerns the skeletal system, and not the soft tissues that can be trained using the rehabilitation treatment.

Among the methods used in the context of non-invasive clinical trials may be mentioned the "vacuum bell" - a vacuum pump and generating a magnetic field caused by a strong magnet implant-

siową lejkowatą najczęściej obserwuje się zmniejszoną tolerancję wysiłku (92%), bóle w klatce piersiowej (71%), częste i nawracające infekcje dróg oddechowych (34,3%), czy zespół objawów astmatycznych (34%), co często znajduje odzwierciedlenie w obniżonych, u 1/3-1/2 badanych, parametrach badania spirometrycznego (FVC, FEV<sub>1</sub>, FEF<sub>25-75%</sub>) < 80% (Szydlik i wsp. 2013). U większości pacjentów depresja mostka powoduje także spostrzegane w obrazowych badaniach radiologicznych ucisk na serce (85%) lub jego przemieszczenie (73,4 %). W 26% przypadków obserwuje się wypadanie przedniego płata zastawki mitralnej. U niektórych pacjentów zmiany ułożenia serca w wyniku oddziaływania deformacji, są przyczyną wystąpienia zaburzeń rytmu serca (1,5 %).

## WYNIKI I LECZENIE

U większości pacjentów z klatką piersiową lejkowatą obserwuje się zaburzenia rozwoju osobniczego, przede wszystkim: opóźniony rozwój somatyczny, niski wiek biologiczny, niską masę i asteniczną budowę ciała, zmniejszone wymiary i ruchomość klatki piersiowej, różne wady postawy (wysunięta ku przodowi głowa, opadające i wysunięte ku przodowi barki, odstające łopatki, kifoskolioza, wypukły brzuch) i osłabienie mięśni posturalnych. Bardzo istotnym zagadnieniem wydają się być również często obserwowane w tej grupie pacjentów zaburzenia psychospołeczne, które znacznie utrudniają codzienne funkcjonowanie i stanowią dominujący czynnik przy podjęciu decyzji o poddaniu się leczeniu. Wymienia się wśród nich unikanie kontaktów z rówieśnikami, miejsc publicznych (basen, plaża), obniżoną aktywność sportową, maskowanie deformacji luźną odzieżą, gorsze wyniki w nauce, obniżone poczucie własnej wartości, zachowania depresyjne włącznie z tendencjami samobójczymi.

W leczeniu klatki piersiowej lejkowatej stosowane są zarówno metody zachowawcze, jak i operacyjne. Nie ma dowodów na to, by leczenie zachowawcze lub intensywne nawet rehabilitacja (ćwiczenia fizyczne, siłownia, ćwiczenia pływakie) są w stanie zahamować rozwój czy spowodować zmniejszenie deformacji. Wada dotyczy bowiem układu kostnego, a nie tkanek miękkich, które można wyćwiczyć przy zastosowaniu leczenia usprawniającego.

Wśród metod nieinwazyjnych stosowanych w ramach prób klinicznych można wymienić „vacuum bell” - pompę generującą podciśnienie oraz pole magnetyczne wytwarzane przez silny ma-

ed into the lower end of the sternum, which is attracted by the second magnet which is placed in a special harness worn by the patient. However, no sufficient data are available confirming the efficiency of this type of therapy.

It should be also mentioned the possibility of introducing subcutaneously the individually matched silicone prosthesis, which can adjust the appearance of especially small deformation, but does not eliminate the compression of the thoracic organs by the collapsed sternum.

Surgery is the only way to effectively treat the funnel chest. Originally in the surgical treatment of the chest there was routinely used method T described in 1949 by Mark Ravitch (Ravitch 1949). It involves the implementation of a vertical cut over the sternum, and then the bilateral resection of paravertebral fragments of 3-5 pairs of costal cartilages around the cavity, breaking the sternum and its re-anastomosis with the reduced cartilages in new, desired position.

In 1997, an American pediatric surgeon Donald Nuss presented to Congress of American Society for Pediatric Surgery, his ten-year experience in the surgical treatment of the funnel chest using a new, minimally invasive surgical method, later named in his honor (Nuss et al 1998). This innovative way of operation revolutionized the existing procedures in treatment of chest congenital deformities, soon became a fundamental and universally accepted method of surgical treatment.

Among the indications for surgery in more than 90% of the patients there are dominated considerations of beauty, also advanced of chest wall deformity, chronic ailments hampering the proper functioning and a significant pressure on the organs of mediastinum.

Before surgery, there are routinely performed preoperative blood biochemical tests, X-ray imaging of chest in anterior-posterior and lateral projections, as well as spirometry and ECG. In some patients with a large, secondary or asymmetric deformation, there are additionally performed CT scans of the chest and echocardiography.

Surgery according to Nuss is performed under general anesthesia with a single endotracheal tube. In addition, it is routinely used the epidural analgesia (0.25% Bupivacaine) at Th5/Th6 in order to reduce the postoperative pain in the chest and fa-

gnes wszczepiony do dolnego końca mostka, który przyciągany jest przez drugi magnes umieszczony w specjalnej uprząży noszonej przez pacjenta. Brak jest jednak wystarczających danych dotyczących efektywności tego typu terapii.

Wspomnieć również należy o możliwości wprowadzenia podskórnego, indywidualnie dopasowanej protezy silikonowej, która może skorygować wygląd zwłaszcza niewielkiej deformacji, jednak nie eliminuje kompresji narządów klatki piersiowej przez zapadnięty mostek.

Leczenie operacyjne jest jedyną metodą skutecznego leczenia klatki lejkwatej. Pierwotnie w leczeniu operacyjnym klatki piersiowej rutynowo wykorzystywano metodę T opisaną w 1949 roku przez Marka Ravitcha (Ravitch 1949). Polega ona na wykonaniu pionowego cięcia nad mostkiem, a następnie obustronnym wycięciu przymostkowych fragmentów 3-5 par chrząstek żeberowych w okolicy zagłębienia, przełamaniu mostka i jego ponownym zespoleniu ze skróconymi wcześniej chrząstkami w nowej, pożądanej pozycji.

W 1997 amerykański chirurg dziecięcy Donald Nuss przedstawił na Kongresie Amerykańskiego Towarzystwa Chirurgii Dziecięcej swoje dziesięcioletnie doświadczenia w leczeniu operacyjnym klatki piersiowej lejkwatej z wykorzystaniem nowej, mało inwazyjnej metody chirurgicznej, nazwanej później jego imieniem (Nuss i wsp. 1998). Ten nowatorski sposób operacji zrewolucjonizował dotychczasowe postępowanie we wrodzonych deformacjach klatki piersiowej stając się niebawem podstawowym i powszechnie akceptowanym sposobem leczenia chirurgicznego.

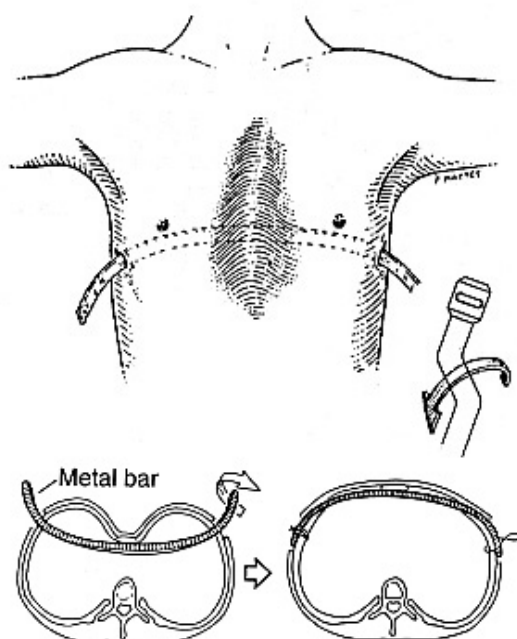
Wśród wskazań do zabiegu u ponad 90 % pacjentów dominują względy kosmetyczne, a ponadto zaawansowana deformacja klatki piersiowej, przewlekłe dolegliwości utrudniające prawidłowe funkcjonowanie oraz znaczny ucisk na narządy śródpiersia.

W przygotowaniu przedoperacyjnym rutynowo wykonuje się badania biochemiczne krwi, rtg przeglądowe klatki piersiowej w projekcji a-p i bocznej, a także spirometrię i elektrokardiografię. U niektórych pacjentów z dużą, wtórną lub asymetryczną deformacją, dodatkowo wykonywano badanie TK klatki piersiowej lub echokardiografię.

Zabieg operacyjny metodą Nussa przeprowadza się w znieczuleniu ogólnym dotchawiczym z zastosowaniem pojedynczej rurki intubacyjnej. Dodatkowo stosowane jest znieczulenie zewnątrzoponowe (0,25% Bupivacaine) na poziomie Th5/Th6

facilitate the efficient respiratory rehabilitation (Nuss et al 1998). The procedure involves performing under the sternum, using a specially designed guide from the left to the right side of the chest by two symmetrical small skin incisions in the mid axillary line, respectively curved arched metal plate made of stainless steel (BBH Mikromed Ltd.) (Figure 1). The surgery is performed with the thoracoscopic camera, which allows for accurate visualization of the pleural cavity and prevent the organs damage in mediastinum. Plate is placed toward the back of the ridge, and then rotated 180 degrees along its long axis, thereby obtaining the desired shape of the chest. Depending on the size and nature of the deformation there are introduced one or two such plates. The ends of the ribs are attached with non-absorbable sutures to a stabilizer and a metal plate to prevent movements. Usually the drainage of pleural cavity and the lung in order to lungs decompression and evacuation of fluid from the pleural cavity. There are two small symmetrical scars left on the sides of the chest after the operation.

w celu zmniejszenia w okresie pooperacyjnym dolegliwości bólowych w klatce piersiowej i ułatwienia sprawnej rehabilitacji oddechowej (Nuss i wsp 1998). Zabieg polega na przeprowadzeniu pod mostkiem, za pomocą specjalnie zaprojektowanej prowadnicy z lewej na prawą stronę klatki piersiowej przez dwie symetryczne niewielkie nacięcia skóry w linii pachowej środkowej, odpowiednio wygiętej łukowato płytki metalowej ze stali chirurgicznej (BBH Mikromed Sp z o.o.) (Rycina 1). Operację przeprowadza się kontrolą kamery wideotorakoskopowej, co pozwala na dokładną wizualizację jamy opłucnej i uniknięcie uszkodzenia narządów śródpiersia. Płytkę wprowadzana jest wypukłością skierowaną ku tyłowi, a następnie jest obracana o 180 st. wzdłuż jej osi długiej, przez co uzyskuje się pożądaną kształt klatki piersiowej. W zależności od rozmiaru i charakteru deformacji wprowadza się jedną lub dwie takie płytki. Ich końce mocowane są do żeber za pomocą niewchłaniających szwów i metalowego stabilizatora zapobiegającego przemieszczeniom płytki. Zwykle stosuje się drenaż jamy opłucnej celem rozprężenia płuca i ewakuacji płynu z jamy opłucnej. Po operacji pozostają dwie niewielkie symetryczne blizny po bokach klatki piersiowej.



*Rycina 1. Schemat zabiegu według Nussa.*

*Figure 1. The scheme of surgery according to Nuss's procedure.*

After 3 years, the plate is removed surgically from the access by a scar from the previous surgery within a short, usually three-day hospital stay. Nuss operation method is currently the primary method of treatment of the funnel chest. It is characterized by a good and long lasting cosmetic effect in more than 97% of patients, the short duration of surgery and hospitalization, not a great number of postoperative complications. The risk of serious complications by using videothoracoscopy is minimal. Severe life complications like postoperative bleeding, damage to the pericardium or heart, large vessels, or lung are described rarely in the literature (Gips et al 2008, Hoel et al 2006, Jemielity et al 2011). Usually they occur in the initial period of the method application and with poor experience of the surgical team.

Complications are in the vast majority transient, reversible and harmless to life and occur in the early postoperative period, covering approximately 37% of patients. Most commonly, at the 1/5 of operated subjects they can be observe the partial pleural edema (resulting from partial expansion of the lungs), which in most patients requires only the pulmonary rehabilitation. A similar frequency regards the fluid in pleural cavity, which is usually absorbed spontaneously without further results. Only few patients require the re-puncture or drainage of pleural cavity. During the first days after surgery there is often a pain in the chest cavity, which results from the introduction of corrective inserts and their attachment to the wall of the chest. These ailments alleviated routinely using epidural anesthesia and analgesics, significantly decrease after a few days and disappear after 2-3 weeks of, and rarely last longer. Appropriate surgical techniques serve the proper montage of corrective plates. Movements of the implants may appear in the first month after the procedure only in 3% of patients (Pawlak et al 2013). Thereafter, this risk no longer exists, because around the plates there will arise strong connective scar tissues that not only maintain the plate in the desired position, but also constitute a scaffold for modeling the chest after removal of the correction plates. In some patients a fever may occur for a few days but it will quickly disappear after the antibiotic treatment. The operation time is from 20 minutes to 3 hours, 40-60 minutes on average, and the return home takes place between 5 and 7 days.

In some patients, especially with the advanced

Po 3 latach płytki jest usuwana operacyjnie z dostępu przez blizny po poprzednim zabiegu w ramach krótkiego, zwykle trzydniowego pobytu szpitalnego. Operacja metodą Nussa jest obecnie podstawowym sposobem leczenia klatki lejkowatej. Cechują ją dobry i trwały efekt kosmetyczny u ponad 97 % pacjentów, krótki czas operacji i hospitalizacji, niewielka ilość powikłań pooperacyjnych. Ryzyko poważnych powikłań przy zastosowaniu wideotorakoskopii jest minimalne. W piśmiennictwie bardzo rzadko opisywane są poważne, zagrażające życiu powikłania, jak krwawienie pooperacyjne, uszkodzenie osierdzia lub serca, lub dużych naczyń krwionośnych, czy płuc (Gips i wsp. 2008, Hoel i wsp. 2006, Jemielity i wsp. 2011). Zwykle występują one w początkowym okresie stosowania metody i przy małym doświadczeniu zespołu operującego.

Powikłania, w zdecydowanej większości przemijające, odwracalne i niegroźne dla życia, występują we wczesnym okresie pooperacyjnym i dotyczą ok. 37 % pacjentów. Najczęściej, u 1/5 operowanych obserwujemy częściową odmę opłucnej (wynikającą z niecałkowitego rozprężenia płuc), która u większości pacjentów wymaga tylko rehabilitacji oddechowej. Z podobną częstością może wystąpić płyn w jamie opłucnej, który zwykle samoistnie wchłania się bez dalszych następstw. Tylko u niewielkich pacjentów konieczne jest nakłucie lub ponowny drenaż jamy opłucnej. W pierwszych dniach po operacji często występuje ból w klatce piersiowej, który wynika z wprowadzenia płytek korekcyjnych i ich mocowania do ściany klatki piersiowej. Dolegliwości te, łagodzone stosowanym rutynowo znieczuleniem zewnątrzoponowym i lekami przeciwbólowymi, znacznie zmniejszają się po kilku dniach i ustępują po 2-3 tygodniach, a bardzo rzadko trwają dłużej. Odpowiednie techniki operacyjne służą prawidłowemu umocowaniu płytek korekcyjnych. Przemieszczenia implantów obserwuje się w pierwszym miesiącu po zabiegu tylko u 3% pacjentów (Pawlak i wsp. 2013). W późniejszym okresie takiego ryzyka już nie ma, ponieważ wokół płytek dochodzi do wytworzenia się silnych zrostów tkanki łącznej, które nie tylko utrzymują płytkę w pożądanej pozycji, ale także stanowią rusztowanie dla wymodelowanej klatki piersiowej po usunięciu płytek korekcyjnych. U niektórych pacjentów możliwe jest wystąpienie kilkudniowej gorączki, która szybko ustępuje pod wpływem antybiotykoterapii. Czas operacji wynosi od 20 minut do 3 godzin, średnio około 40-60 minut, a powrót

asymmetric funnel-shaped chest, and a chicken-funnel malformation, it is necessary to combine both of the described techniques, Ravitch and Nuss methods together (so called the complex surgery). Then the plates introduced to the chest form a kind of scaffolding for the corrected front wall of the chest.

Despite many reports evaluating surgical outcomes, still no optimal age for the operation was ascertained. Some authors believe that surgery should be performed as soon as possible, in children under 10 years of age, when flexible and soft structures of the chest most undergo modifications, and operations are characterized by the low percentage of complications (Park et al 2012, Ohno et al 2003, Kim et al 2005). According to Park et al (2012) performing the surgery as soon as possible, even after 3 years of age can prevent the development of asymmetric deformation, recurrent of respiratory infections and psychical discomfort due to the presence of funnel chest during school time. On the other hand according to Kelly et al (2010), the main cause for recurrence of asymmetric chest deformities is associated with too early performing surgery. Therefore, advocates like Frantz et al (2011) performing operations by Nuss in patients between 12 and 16 years of age postulate, that chest before the end of ossification, is still susceptible to modification, and correction increases the chance for a stable and resistant correction (Kelly et al 2010). There are also reports describing good effects in adult patients after the end of the growth period. It was emphasized, however, the higher compared to younger patients percentage of complications in the early postoperative period (Frantz et al 2011, Aronson et al 2007, Coln et al 2002).

## CONCLUSIONS

The efficacy of surgical treatment is conditioned by the proper rehabilitation in early postoperative period. It is therefore necessary to use painkillers from the first day after surgery, the use of semi-sitting position of the patient for proper drainage, reducing the pain, improving respiratory conditions. It is also necessary to learn the patient the diaphragmatic and rib-like breathing, effective coughing, and chest percussion, increasing the ranges of movements in shoulder joints, stretching

do domu następuje już pomiędzy 5, a 7 dniem.

U niektórych pacjentów, zwłaszcza z zaawansowaną asymetryczną klatką lejkową, oraz złożoną wadą kurzo-lejkową, konieczne jest połączenie obu opisanych technik, metody Ravitcha i metody Nussa (tzw. operacja metodą złożoną). Wtedy płytki wprowadzone do klatki piersiowej tworzą rodzaj rusztowania dla skorygowanej przedniej ściany klatki piersiowej.

Pomimo wielu doniesień oceniających wynik leczenia chirurgicznego, nadal nie ustalono optymalnego wieku do wykonania operacji. Część autorów uważa, iż operację należy przeprowadzić jak najwcześniej, u dzieci poniżej 10 roku życia, kiedy elastyczne i miękkie struktury klatki piersiowej najbardziej poddają się modyfikacji, a operacje cechuje niski odsetek powikłań (Park i wsp. 2012, Ohno i wsp. 2003, Kim i wsp. 2005). Zdaniem Parka i wsp. (2012) wykonanie zabiegu jak najwcześniej, nawet po 3 roku życia pozwala zapobiec rozwojowi asymetrii deformacji, nawracającym infekcjom dróg oddechowych oraz dyskomfortowi psychicznemu z powodu obecności klatki lejkowej w okresie szkolnym. Z drugiej strony, według Kelly i wsp. (2010) główną przyczynę wystąpienia nawrotów asymetrycznej deformacji klatki piersiowej wiąże ze zbyt wczesnym wykonaniem zabiegu operacyjnego. Dlatego postuluje się, podobnie jak Frantz i wsp. (2011) wykonanie operacji metodą Nussa u pacjentów pomiędzy 12, a 16 rokiem życia, gdy klatka piersiowa przed zakończeniem okresu kostnienia jest jeszcze podatna na modyfikację, a wykonana korekcja zwiększa szansę na stabilną i trwałą korekcję (Kelly i wsp 2010). Istnieją również doniesienia opisujące dobry efekt leczenia u dorosłych pacjentów, po zakończeniu okresu wzrostu. Podkreśla się jednak wyższy, w porównaniu do młodszych pacjentów, odsetek powikłań we wczesnym okresie pooperacyjnym (Frantz i wsp. 2011, Aronson i wsp. 2007, Coln i wsp. 2002).

## WNIOSKI

Skuteczność leczenia operacyjnego uwarunkowana jest właściwą rehabilitacją we wczesnym okresie pooperacyjnym. Konieczne jest więc stosowanie środków przeciwbólowych już od pierwszej doby po zabiegu operacyjnym, wykorzystywaniu półsiedzącej pozycji pacjenta w celu prawidłowego drenażu, zmniejszenia dolegliwości bólowych, poprawy warunków oddechowych. Konieczna jest także nauka oddychania torem przeponowym i żebrowym, efektywnego kaszlu, a także oklepywanie



the intercostal spaces, strengthening the dorsal, pectoral and postural muscles. In the process of rehabilitation during the late postoperative period with a history of hospitalization, it is recommended to continue learned in the hospital breathing exercises and corrective compliance with the habit of correct posture, walking, avoiding bends and twisting, swimming backstroke 4-6 weeks after surgery, avoiding lifting weights for 3 months, sleeping on back by three months, the leave of physical activities for 6 months, avoiding contact and high-trauma sports (skiing, roller-skating, sledging), the prohibition of using the gym.

#### REFERENCES

- Adamczak J**, Pawlak K, Zieliński P, Dyszkiewicz W. Wczesne wyniki leczenia lejkowatej klatki piersiowej metodą Nussa, *Kardiochir. Torakochir. Pol.* 2004;1,2:84-90.
- Aronson DC**, Bosgraaf RP, van der Horst C, Ekelkamp S. Nuss procedure: pediatric surgical solution for adults with pectus excavatum. *World J Surg.* 2007;31,1:26-29.
- Castile RG**, Staats BA, Westbrook PR. Symptomatic pectus deformities of the chest. *Am Rev Respir Dis.* 1982;126:564-568.
- Coln D**, Gunning T, Ramsay M, Swygert T, Vera R. Early experience with the Nuss minimally invasive correction of pectus excavatum in adults. *World J Surg.* 2002;26,10:1217-1221.
- Fonkalsrud EW**, Current management of pectus excavatum. *World J Surg* 2003;2:502-508.
- Frantz FW, Indications and guidelines for pectus excavatum repair. *Curr Opin Pediatr*, 2011;23,4:486-491.
- Gips H**, Zaitsev K, Hiss J. Cardiac perforation by a pectus bar after surgical correction of pectus excavatum: case report and review of the literature. *Pediatr Surg Int.* 2008;24:617-620.
- Goretsky MJ**, Kelly RE Jr, Croitoru D, Nuss D. Chest wall anomalies: pectus excavatum and pectus carinatum. *Adolesc Med Clin*, 2004;15:455-471.
- Hoel TN**, Rein KA, Svennevig JL. A life-threatening complication of the Nuss procedure for pectus excavatum. *Ann Thorac Surg*, 2006;81:370-372.
- Jemielity M**, Pawlak K, Piwkowski C, Dyszkiewicz W. Life-threatening aortic hemorrhage during pectus bar removal. *Ann Thorac Surg*, 2011;91:593-595.
- Kelly RE**, Goretsky MJ, Obermeyer R, Kuhn MA,

klatki piersiowej, zwiększenie zakresów ruchów stawów barkowych, ćwiczenia rozciągające przestrzenie międzyżebrowe, wzmacniające mięśnie grzbietowe i piersiowe oraz posturalne. W procesie usprawniania w późnym okresie pooperacyjnym po przebytej hospitalizacji, zaleca się kontynuację wyuczonych w szpitalu ćwiczeń oddechowych i korekcyjnych, przestrzeganie nawyku prawidłowej postawy, spaceru, unikanie skłonów i skrętosłonów, pływanie stylem grzbietowym po 4-6 tygodniach od operacji, unikanie dźwigania ciężarów przez 3 miesiące, spanie na wznak przez 3 miesiące, zwolnienie z zajęć wychowania fizycznego przez 6 miesięcy, unikanie sportów kontaktowych i wysoko urazowych (narty, rolki, sanki), zakaz korzystania z siłowni.

#### PIŚMIENNICTWO

- Adamczak J**, Pawlak K, Zieliński P, Dyszkiewicz W. Wczesne wyniki leczenia lejkowatej klatki piersiowej metodą Nussa, *Kardiochir. Torakochir. Pol.* 2004;1,2:84-90.
- Aronson DC**, Bosgraaf RP, van der Horst C, Ekelkamp S. Nuss procedure: pediatric surgical solution for adults with pectus excavatum. *World J Surg.* 2007;31,1:26-29.
- Castile RG**, Staats BA, Westbrook PR. Symptomatic pectus deformities of the chest. *Am Rev Respir Dis.* 1982;126:564-568.
- Coln D**, Gunning T, Ramsay M, Swygert T, Vera R. Early experience with the Nuss minimally invasive correction of pectus excavatum in adults. *World J Surg.* 2002;26,10:1217-1221.
- Fonkalsrud EW**, Current management of pectus excavatum. *World J Surg* 2003;2:502-508.
- Frantz FW, Indications and guidelines for pectus excavatum repair. *Curr Opin Pediatr*, 2011;23,4:486-491.
- Gips H**, Zaitsev K, Hiss J. Cardiac perforation by a pectus bar after surgical correction of pectus excavatum: case report and review of the literature. *Pediatr Surg Int.* 2008;24:617-620.
- Goretsky MJ**, Kelly RE Jr, Croitoru D, Nuss D. Chest wall anomalies: pectus excavatum and pectus carinatum. *Adolesc Med Clin*, 2004;15:455-471.
- Hoel TN**, Rein KA, Svennevig JL. A life-threatening complication of the Nuss procedure for pectus excavatum. *Ann Thorac Surg*, 2006;81:370-372.
- Jemielity M**, Pawlak K, Piwkowski C, Dyszkiewicz W. Life-threatening aortic hemorrhage during pectus bar removal. *Ann Thorac Surg*, 2011;91:593-595.
- Kelly RE**, Goretsky MJ, Obermeyer R, Kuhn MA,

Redlinger R, Haney TS, Moskowitz A, Nuss D. Twenty-one years of experience with minimally invasive repair of pectus excavatum by the Nuss procedure in 1215 patients. *Ann Surg*, 2010;252,6:1072-1081.

**Kim do H**, Hwang JJ, Lee MK, Lee DY, Paik HC. Analysis of the Nuss procedure for pectus excavatum in different age groups. *Ann Thorac Surg*, 2005;80,3:1073-1077.

**Koumbourlis AC**, Pectus excavatum: pathophysiology and clinical characteristics. *Paediatr Respir Rev*, 2009;10:3-6.

**Nuss D**, Kelly RE Jr, Croitoru DP, Katz ME. A 10-year review of a minimally invasive technique for the correction of pectus excavatum. *J Pediatr Surg*, 1998;33:545-552.

**Ohno K**, Morotomi Y, Ueda M, Yamada H, Shiokawa C, Nakaoka T, Tsujimoto K, Nakahira M, Moriuchi T, Harumoto K, Yoshida T, Comparison of the Nuss procedure for pectus excavatum by age and uncommon complications. *Osaka City Med J*, 2003;49,2:71-76.

**Park HJ**, Lee SY, Lee CS, Youm W, Lee KR. The Nuss procedure for pectus excavatum: evolution of techniques and early results on 322 patients, *Ann Thorac Surg*, 2004;77:289-295.

**Park HJ**, Sung SW, Park JK, Kim JJ, Jeon HW, Wang YP. How early can we repair pectus excavatum: the earlier the better? *Eur J Cardiothorac Surg*, 2012;42,4:667-672.

**Pawlak K**, Zieliński P, Gabryel P, Gałęcki B, Dyszkiewicz W. Early and late results of the Nuss operation for pectus excavatum – a single institution experience. *Kardiochir. Torakochir. Pol*, 2013;10,4:364–368.

**Ravitch MM**, Operative treatmentThe Operative Treatment of Pectus Excavatum. *Ann Surg*, 1949;129:429-444.

**Saxena AK**, Schaarschmidt K, Schleef J, Morcate JJ, Willital GH. Surgical correction of pectus excavatum: the Münster experience. *Langenbecks Arch Surg*, 1999;384:187-193.

**Skrzelewski S**, Pieta M, Kachel R, Torbus O, Jachimowicz M. Radio-kliniczna problematyka wad i anomalii rozwojowych rusztowania kostnego klatki piersiowej. *Wiad Lek*, 2005;58:99-110.

**Szydlik S**, Jankowska-Szydlik J, Kasprzyk M, Dyszkiewicz W, Adamczak J, Zwaruń D. An effect of nuss procedure on lung function among patients with pectus excavatum. *Pol Przegl Chir*, 2013;1;85,1:1-5.

Tóth GA, Buda BL. Funnel chest (pectus excavatum) In 10-16th century fossil material. *J. Paleontol*, 2001;13:63-66.

Redlinger R, Haney TS, Moskowitz A, Nuss D. Twenty-one years of experience with minimally invasive repair of pectus excavatum by the Nuss procedure in 1215 patients. *Ann Surg*, 2010;252,6:1072-1081.

**Kim do H**, Hwang JJ, Lee MK, Lee DY, Paik HC. Analysis of the Nuss procedure for pectus excavatum in different age groups. *Ann Thorac Surg*, 2005;80,3:1073-1077.

**Koumbourlis AC**, Pectus excavatum: pathophysiology and clinical characteristics. *Paediatr Respir Rev*, 2009;10:3-6.

**Nuss D**, Kelly RE Jr, Croitoru DP, Katz ME. A 10-year review of a minimally invasive technique for the correction of pectus excavatum. *J Pediatr Surg*, 1998;33:545-552.

**Ohno K**, Morotomi Y, Ueda M, Yamada H, Shiokawa C, Nakaoka T, Tsujimoto K, Nakahira M, Moriuchi T, Harumoto K, Yoshida T, Comparison of the Nuss procedure for pectus excavatum by age and uncommon complications. *Osaka City Med J*, 2003;49,2:71-76.

**Park HJ**, Lee SY, Lee CS, Youm W, Lee KR. The Nuss procedure for pectus excavatum: evolution of techniques and early results on 322 patients, *Ann Thorac Surg*, 2004;77:289-295.

**Park HJ**, Sung SW, Park JK, Kim JJ, Jeon HW, Wang YP. How early can we repair pectus excavatum: the earlier the better? *Eur J Cardiothorac Surg*, 2012;42,4:667-672.

**Pawlak K**, Zieliński P, Gabryel P, Gałęcki B, Dyszkiewicz W. Early and late results of the Nuss operation for pectus excavatum – a single institution experience. *Kardiochir. Torakochir. Pol*, 2013;10,4:364–368.

**Ravitch MM**, Operative treatmentThe Operative Treatment of Pectus Excavatum. *Ann Surg*, 1949;129:429-444.

**Saxena AK**, Schaarschmidt K, Schleef J, Morcate JJ, Willital GH. Surgical correction of pectus excavatum: the Münster experience. *Langenbecks Arch Surg*, 1999;384:187-193.

**Skrzelewski S**, Pieta M, Kachel R, Torbus O, Jachimowicz M. Radio-kliniczna problematyka wad i anomalii rozwojowych rusztowania kostnego klatki piersiowej. *Wiad Lek*, 2005;58:99-110.

**Szydlik S**, Jankowska-Szydlik J, Kasprzyk M, Dyszkiewicz W, Adamczak J, Zwaruń D. An effect of nuss procedure on lung function among patients with pectus excavatum. *Pol Przegl Chir*, 2013;1;85,1:1-5.

Tóth GA, Buda BL. Funnel chest (pectus excavatum) In 10-16th century fossil material. *J. Paleontol*, 2001;13:63-66.

Author responsible for corespondence: Krystian Pawlak; Wielkopolskie Centrum Pulmonologii i Torakochirurgii; ul. Szamarzewskiego 62; 60-569 Poznań; krystianp@hotmail.com; tel.: 61 66-54-285

Autor odpowiedzialny za korespondencję: Krystian Pawlak; Wielkopolskie Centrum Pulmonologii i Torakochirurgii; ul. Szamarzewskiego 62; 60-569 Poznań; krystianp@hotmail.com; tel.: 61 66-54-285