



A contemporary approach to surgical treatment of scolioses

Współczesne podejście do leczenia operacyjnego skolioz

© J ORTHOP TRAUMA SURG REL RES 1 (13) 2009

Review article/Artykuł poglądowy

ROMAN NOWAK

Katedra i Oddział Kliniczny SUM

Wojewódzki Szpital Specjalistyczny nr 5 im. Św. Barbary, Sosnowiec

Address for correspondence/Adres do korespondencji:

Dr n med Roman Nowak

ul. Rolna 10d/1, 40-555 Katowice

tel. +48 668 304 424, e-mail: nowrom@neostrada.pl

Statistic/Statystyka

Word count/Liczba słów 3500/2782

Tables/Tabele 0

Figures/Ryciny 9

References/Piśmiennictwo 39

Received: 27.11.2008

Accepted: 10.01.2009

Published: 01.02.2009

A study prepared within the project of the Ministry of Science and Informatization No.2P05C07430

Praca wykonana w ramach projektu MNiI Nr 2P05C07430

Summary

Scoliosis belongs to the most frequent deformations of human axial skeleton. In about 20% of cases, the pathology constituting the original cause of scoliosis is recognized. As regards the remaining cases, the diagnosis of scoliosis idiopathica is made by way of elimination. For many years, surgery has been the standard procedure in the treatment of large scolioses, where preservative treatment proves ineffective.

The aim of the work is to present contemporary opinions and controversies concerning the indications for surgical treatment of scoliosis, the choice of surgical access, modern possibilities and evolution of surgical methods employed for correction and stabilization of scoliosis.

Therapeutic decisions taken after scoliosis has been diagnosed are based on clinical and radiological assessment of a number of factors having a documented influence on the risk of progression of the curvature. General indications for surgical treatment of scoliosis include progressing scoliosis of Cobb's angle over 40-45° in skeletally immature children, considerable deformations of Cobb's angle over 50° in adolescents, irrespectively of their skeletal age, scoliosis-related pain complaints unresponsive to preservative treatment, thoracic lordosis coexisting with progressive scoliosis, and cosmetic deformations. In scolioses of known etiology, the decision of surgical treatment is influenced not only by the factors of progression risk, common to idiopathic scolioses and related to growth potential and extent of the deformation, but also by additional factors, specific to the original pathology underlying the scoliosis, e.g. the type, number, and location of congenital defects in the spinal area in congenital (osteopathic) scoliosis, the dynamics and type of neurological disorders in neuropathic scoliosis. The origin of the modern spinal surgery was a combination of the concept of spinal fusion and inner stabilization and correction of the scoliosis with spinal implants. In consideration of the patient's age, morphology of the scoliosis, as well as the operator's experience and preferences, a choice is made between spondylodesis and anterior or posterior stabilization, or a combination of the two. Among the contemporary surgical methods, two different approaches can be distinguished with respect to the patient's age: correction and stabilization of scoliosis with an application of implants and spinal fusion, and stabilization and correction of scoliosis, utilizing the remaining growth potential for curbing the progression and directing further spinal growth until final spondylodesis is applied. In spite of enormous progress in spinal surgery that has been made over the last hundred years, the main objective of surgical treatment of scoliosis has remained the same: an optimal and permanent correction of the deformation with the least possible complications.

The evolution of surgical techniques of correction and stabilization of scoliosis from Harrington instruments to segmental instrumentation with pedicle screws is an indication of the progress from single-plane to multi-plane correction of scoliotic deformations.

Clinical differentiation of various types of scoliosis as well as numerous controversies concerning the surgical access, the extent of spondylodesis, the choice of implants and of correction methods limit the possibility of introducing a universal algorithm of surgical treatment.

Key words: scoliosis, surgical stabilization and correction, spinal fusion, spinal implants.

Streszczenie

Skolioza należy do najczęściej spotykanych zniekształceń szkieletu osiowego człowieka. W przypadku około 20% chorych patologia będąca pierwotną przyczyną skoliozy jest znana. W odniesieniu do pozostałej grupy, drogą wykluczenia, stawiane jest rozpoznanie scoliosis idiopathica. Leczenie operacyjne od wielu lat jest standardem postępowania w leczeniu dużych skrzywień, których leczenie zachowawcze jest nieskuteczne.

Celem pracy było przedstawienie obecnych poglądów i kontrowersji dotyczących wskazań do leczenia operacyjnego bocznych skrzywień kręgosłupa, wyboru dostępu operacyjnego, aktualnych możliwości i ewolucji operacyjnych metod stosowanych do korekcji i stabilizacji skoliozy.

Decyzje terapeutyczne podejmowane po postawieniu rozpoznania skoliozy oparte są o ocenę kliniczną i radiologiczną szeregu czynników o udokumentowanym związku z ryzykiem progresji skrzywienia. Ogólne wskazania do leczenia operacyjnego skoliozy obejmują narastające skrzywienia o kącie Cobba powyżej 40°-45° u dzieci niedojrzałych szkieletowo, znaczne deformacje o kącie Cobba powyżej 50° u dorastających, bez względu na wiek szkieletowy, związane ze skoliozą dolegliwości bólowe nieodpowiadające na leczenie zachowawcze, współistniejącą z pogłębiającą się skoliozą lordozę w odcinku piersiowym kręgosłupa oraz znaczną deformację kosmetyczną. W skoliozach o znanej etiologii poza wspólnymi ze skrzywieniami idiopatycznymi czynnikami ryzyka progresji związanymi z potencjałem wzrostowym i rozmiarami deformacji bardzo istotne znaczenie w przy podejmowaniu decyzji o operacji odgrywają dodatkowe czynniki specyficzne dla zasadniczej patologii będącej przyczyną skrzywienia, np. w skoliozach wrodzonych (kostnopochodnych) rodzaj, liczba i lokalizacja wad wrodzonych w obrębie kręgosłupa, w skoliozach neuropochodnych dynamika i rodzaj zaburzeń neurologicznych. Początkiem współczesnej chirurgii kręgosłupa było połączenie koncepcji usztywnienia z wewnętrzną stabilizacją i korekcją skrzywienia opartą na implantach kręgosłupowych. Uwzględniając wiek operowanego, morfologię skrzywienia oraz doświadczenia i preferencje operatora dokonuje się wyboru pomiędzy spondylodezą i stabilizacją tylną, przednią lub ich połączeniem. W arsenale stosowanych obecnie metod operacyjnych wyróżnić można dwie odmienne koncepcje podejścia do skoliozy dostosowane do wieku operowanego: korekcję i stabilizację skrzywienia przy użyciu implantów wraz z usztywnieniem kręgosłupa oraz stabilizację i korekcję skrzywienia z wykorzystaniem pozostałego potencjału wzrostowego do zahamowania progresji i ukierunkowania dalszego wzrostu kręgosłupa do czasu wykonania ostatecznego usztywnienia. Pomimo olbrzymich postępów w chirurgii kręgosłupa jakich dokonano w ciągu ostatnich stu lat główny cel leczenia chirurgicznego skoliozy pozostał ten sam: optymalna i trwała korekcja deformacji przy jak najmniejszej liczbie powikłań.

Ewolucja technik operacyjnej korekcji i stabilizacji skolioz od instrumentarium Harringtona do segmentarnej instrumentacji śrubami przeznasadowymi obrazuje postępy na drodze od jedno do wielopłaszczyznowej korekcji skoliozy zniekształcenia.

Zróżnicowanie kliniczne skolioz oraz liczne kontrowersje dotyczące dostępu operacyjnego, rozległości usztywnienia, doboru implantów oraz wyboru metody korekcji ograniczają możliwość wprowadzenia uniwersalnego algorytmu leczenia operacyjnego.

Słowa kluczowe: skolioza, operacyjna stabilizacja i korekcja, usztywnienie kręgosłupa, implanty kręgosłupowe

Scoliosis, or lateral curvature of the spine, belongs to the most frequent deformations of human axial skeleton. In about 20% of cases, the pathology constituting the original cause of scoliosis is recognized. As regards the remaining cases, the diagnosis of scoliosis idiopathica is made by way of elimination. (1)

The vast subject of surgical treatment of scoliosis requires the consideration of a number of issues related to the indications for surgical intervention with respect to the patient's age (spinal fusion vs. control of the spinal growth), the choice of surgical access (anterior, posterior, combined), current possibilities of stabilizing and correcting the curvature, and the classification of curvatures and the planned extent of spondylodesis.

Skolioza czyli boczne wygięcie kręgosłupa należy do najczęściej spotykanych zniekształceń szkieletu osiowego człowieka. W przypadku około 20% chorych patologia będąca pierwotną przyczyną skoliozy jest znana. W odniesieniu do pozostałej grupy, drogą wykluczenia, stawiane jest rozpoznanie scoliosis idiopathica. (1)

Obszerny temat jakim jest leczenie operacyjne skolioz wymaga odniesienia się do szeregu zagadnień dotyczących wskazań do interwencji chirurgicznej z uwzględnieniem wieku chorego (usztywnienie versus kontrola wzrostu kręgosłupa), wyboru dostępu operacyjnego (tylny, przedni, skojarzony), aktualnych możliwości stabilizacji i korekcji skrzywienia oraz klasyfikacji skrzywień i planowania rozległości spondylodezy.

SURGICAL TREATMENT OF SCOLIOSIS – AIM AND INDICATIONS

The two main objectives of surgical treatment of scoliosis are: curbing the progression of scoliosis and achieving the largest possible three-dimensional correction of the deformation with the reconstruction of compensated trunk. An important evidence of success is durability of the radiological and clinical result.

Therapeutic decisions taken after scoliosis has been diagnosed are based on clinical and radiological assessment of a number of factors having a documented influence on the risk of progression of the curvature. In idiopathic scoliosis, they include: sex, age at the moment of diagnosis (the onset of the disease), skeletal age, advancement of sexual maturation, the rate of growth up to the present, morphological type of the curvature, and its current extent (Cobb's angle) (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10). In scolioses of known etiology, the prognoses are influenced not only by the factors of progression risk common to idiopathic scolioses and related to growth potential and extent of the deformation but also by additional factors, specific to the original pathology underlying the scoliosis, e.g. the type, number, and location of congenital defects in the spinal area in congenital (osteopathic) scoliosis, the dynamics and type of neurological disorders in neuropathic scoliosis. Fig.1.

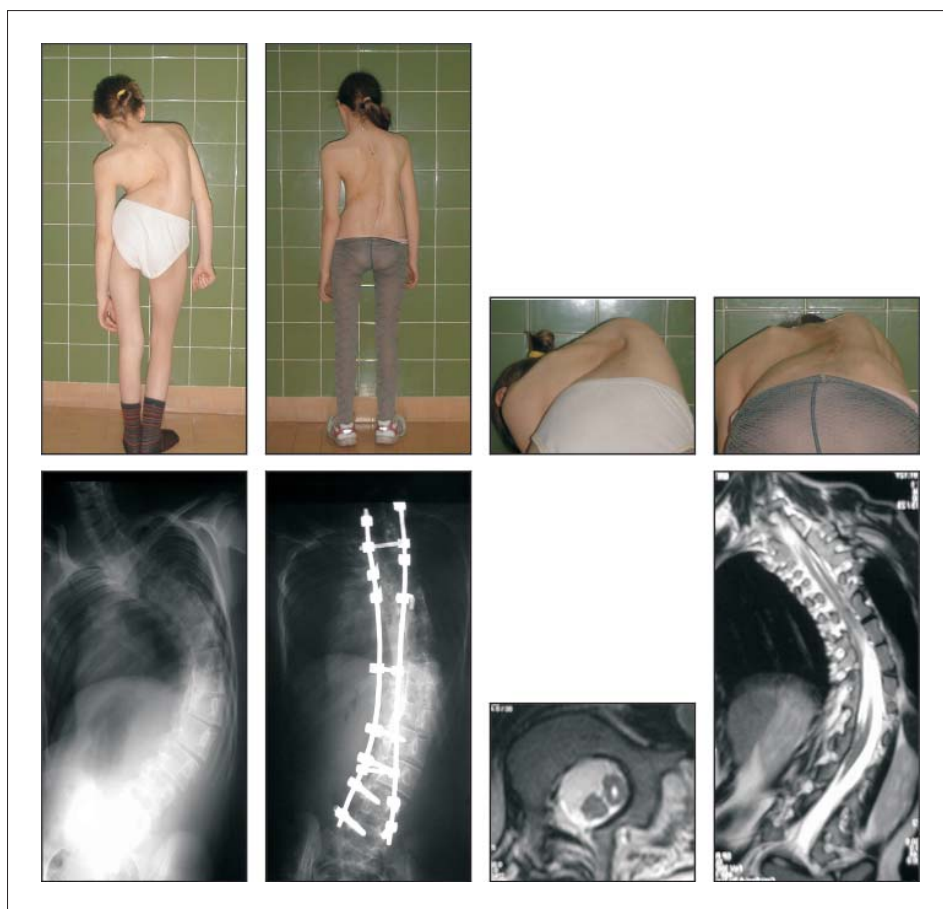
LECZENIE OPERACYJNE SKOLIOZ – CEL I WSKAZANIA

Główne dwa cele leczenia chirurgicznego skoliozy to zahamowanie progresji skrzywienia i uzyskanie jak największej trójwymiarowej korekcji zniekształcenia z odtworzeniem skompensowanego tułowia. Istotnym warunkiem powodzenia jest trwałość uzyskanego wyniku radiologicznego i klinicznego.

Decyzje terapeutyczne podejmowane po postawieniu rozpoznania skoliozy oparte są o ocenę kliniczną i radiologiczną szeregu czynników o udokumentowanym związku z ryzykiem progresji skrzywienia. W skoliozach idiopatycznych należą do nich: płeć, wiek w czasie rozpoznania (początek choroby), wiek szkieletowy, zaawansowanie dojrzewania płciowego, dotychczasowe tempo wzrostu (skok wzrostowy), typ morfologiczny skrzywienia i aktualne rozmiary deformacji (kąt Cobba) (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10). W skoliozach o znanej etiologii poza wspólnymi ze skrzywieniami idiopatycznymi czynnikami ryzyka progresji związanymi z potencjałem wzrostowym i rozmiarami deformacji bardzo istotne znaczenie rokownicze odgrywają dodatkowe czynniki specyficzne dla zasadniczej patologii będącej przyczyną skrzywienia, np. w skoliozach wrodzonych (kostnopochoдных) rodzaj, liczba i lokalizacja wad wrodzonych w obrębie kręgosłupa, w skoliozach neuropochoдных dynamika i rodzaj zaburzeń neurologicznych, ryc. 1.

Fig. 1. Congenital scoliosis. A female patient, aged 13, with multiple congenital defects in the spinal area, syringomyelia and dimyelia in the thoracolumbar section. Clinical condition and radiological image before and after surgical treatment.

Ryc. 1. Skolioza wrodzona. Chora lat 13 z mnogimi wadami wrodzonymi w obrębie kręgosłupa, syringomyelią i dimyelią w odcinku piersiowo-lędźwiowym. Stan kliniczny i obraz radiologiczny przed i po leczeniu operacyjnym



The child's age at the occurrence of the deformity determines the estimated duration and rate of spinal growth, playing an important role in the development of the disease. In about 70% of idiopathic curvatures diagnosed before the age of 10 (juvenile scoliosis), 27% - 80% of children require surgical treatment due to the disease's progression (7,11,12,13). In the largest group of adolescent idiopathic scolioses, diagnosed after the age of 10 (about 80%), 10% of patients require active treatment, and only 0.1% - surgical treatment (3,8,9). A chest deformity, accompanying a severe deformation of the spine, results in a reduction of the chest's size and a limitation of rib mobility, which may cause pulmonary hypertension and right ventricular failure (4,14). The problem concerns mostly patients at an early stage of deformation. Research on natural course of scoliosis demonstrated increased mortality due to circulatory-respiratory failure in this group of patients, whereas similar relationship among adolescents with idiopathic scoliosis has not been confirmed (8,9). Probably, an early growth of a deformation impairs the process of alveoli maturation, which is completed around the age of 8 (4).

General indications for surgical treatment of scoliosis include progressing scoliosis of Cobb's angle over 40-45° in skeletally immature children, considerable deformations of Cobb's angle over 50° in adolescents, irrespectively of their skeletal age, scoliosis-related pain complaints unresponsive to preservative treatment, thoracic lordosis coexisting with progressive scoliosis, and a considerable, particularly from the patient's point of view, cosmetic deformation. (15). It must be emphasized that the above indications are only general guidelines, and the final decision on the surgery, its type and extent, is taken individually in each case. Among the contemporary surgical methods, two different approaches to scoliosis can be distinguished. The first and most frequent one is definitive in character and involves correction and stabilization of the curvature by means of implants combined with more or less extensive spinal fusion. The other approach is based on stabilization and correction of the curvature, utilizing the remaining growth potential for curbing the progression and directing further spinal growth until final spondylodesis is applied – „nonfusion surgery”. Spondylodesis of the deformed section of the spine has been the standard procedure in surgical treatment of spinal deformations for many years. In consideration of the patient's age, morphology of the scoliosis as well as the operator's experience and preferences, a choice is made between spondylodesis and anterior or posterior stabilization, or a combination of the two. Fig.2.

Wiek dziecka, w którym pojawia się zniekształcenie determinuje przewidywany czas trwania i tempo procesu wzrostowego kręgosłupa odgrywających istotną rolę w ewolucji choroby. W przypadku około 70% skrzywień idiopatycznych rozpoznanych przed 10 rokiem życia (skoliozy dziecięce) od 27% do 80% dzieci ze względu na progresję wymaga leczenia operacyjnego. (7,11,12,13) W najliczniej reprezentowanej grupie skolioz idiopatycznych dorastających, rozpoznawanych od 10 roku życia, (około 80%), aktywnego leczenia wymaga około 10% chorych, a leczenia operacyjnego jedynie 0,1%. (3,8,9) Towarzyszące ciężkiej deformacji kręgosłupa zniekształcenie klatki piersiowej prowadzi do zmniejszenia jej rozmiarów i ograniczenia ruchomości żeber co może skutkować nadciśnieniem płucnym i niewydolnością prawokomorową. (4,14) Problem, ten głównie dotyczy chorych o wczesnym początku deformacji. Badania nad przebiegiem naturalnym skolioz wykazały zwiększoną śmiertelność z powodu niewydolności krążeniowo-oddechowej w tej grupie chorych, nie potwierdziły natomiast takiego związku w skrzywieniach idiopatycznych dorastających. (8,9) Wcześniej narastające zniekształcenie prawdopodobnie upośledza proces dojrzewania pęcherzyków płucnych, który ulega zakończeniu około 8 roku życia. (4)

Ogólne wskazania do leczenia operacyjnego skoliozy obejmują narastające skrzywienia o kącie Cobba powyżej 40°-45° u dzieci niedojrzałych szkieletowo, znaczne deformacje o kącie Cobba powyżej 50° u dorastających, bez względu na wiek szkieletowy, związane ze skoliozą dolegliwości bólowe nieodpowiadające na leczenie zachowawcze, współistniejąca z pogłębiającą się skoliozą lordoza w odcinku piersiowym kręgosłupa oraz znaczna, zwłaszcza z punktu widzenia osoby chorej deformacja kosmetyczna. (15) Należy podkreślić, że powyższe wskazania mają charakter ogólny, a ostateczna decyzja o operacji, jej typie i rozległości podejmowana jest w przypadku każdego chorego indywidualnie. W arsenale stosowanych obecnie metod operacyjnych wyróżnić można dwie odmienne koncepcje podejścia do skoliozy. Pierwsza z nich, najczęściej stosowana, ma charakter definitywny i polega na korekcji i stabilizacji skrzywienia przy użyciu implantów połączonej z mniej lub bardziej rozległym usztywnieniem kręgosłupa. Druga koncepcja opiera się na stabilizacji i korekcji skrzywienia z wykorzystaniem pozostałego potencjału wzrostowego do zahamowania progresji i ukierunkowania dalszego wzrostu kręgosłupa do czasu wykonania ostatecznego usztywnienia – „nonfusion surgery”. Usztywnienie objętego zniekształceniem odcinka kręgosłupa od wielu lat stanowi standard w leczeniu operacyjnym schorzeń deformacyjnych kręgosłupa. Uwzględniając wiek operowanego, morfologię skrzywienia oraz doświadczenia i preferencje operatora dokonuje się wyboru pomiędzy spondylodezą i stabilizacją tylną, przednią lub ich połączeniem ryc.2.

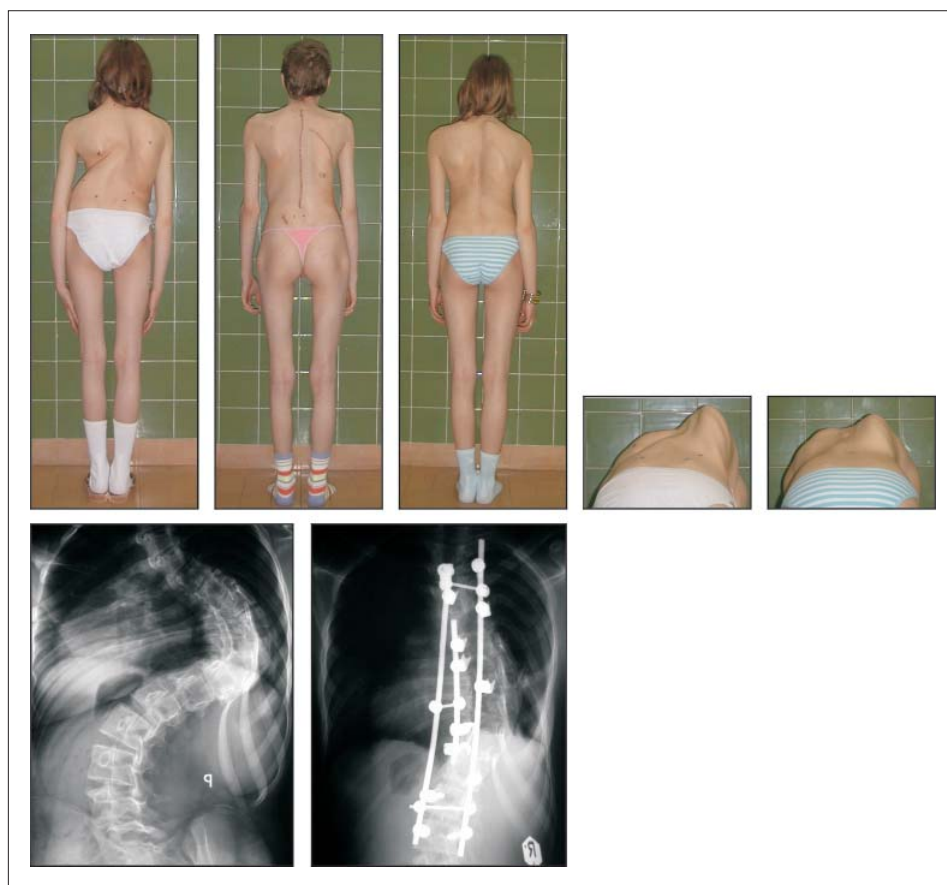
Podjęcie decyzji o leczeniu operacyjnym skoliozy jest szczególnie trudne w przypadku małych dzieci, z dużym

The decision of surgical treatment is particularly difficult in the case of young children, whose growth potential is very large. A solid block of spondylodesis in a child who is still growing leads to a linear growth arrest in this section of the spine. This is to some extent compensated by the correction of the curvature and, paradoxically, by curbing further growth-induced progression. Another serious problem concerning certain patients with immature skeleton after the most frequent surgery type, i.e. correction, stabilization and posterior spondylodesis, is the so-called crankshaft phenomenon. It is manifested by a post-operative loss of the curvature correction and an increasing deformity of the chest. The cause of the phenomenon is most probably the growth of the anterior spinal column, continuing in spite of the solid block of posterior spondylodesis (16). A suggested solution to the problem is complementing the posterior spondylodesis with an anterior spondylodesis. The problem may also be diminished by an application of pedicle screws instead of hooks for posterior instrumentation (16,17). An alternative to spondylodesis in the case of very young patients with large progressing curvatures is offered by the methods of surgical correction and stabilization without spondylodesis – „nonfusion surgery”. Their main objective is to curb the progression and control the curvature until final spondylodesis is applied. The contemporary methods include: instrumentation based on the so-called double growing rods (Luque-trolley, Leeds, McCarthy,

potencjałem wzrostowym. Solidny blok spondylodezy u rosnącego jeszcze dziecka prowadzi do zahamowania wzrostu liniowego kręgosłupa w jej obszarze. Jest to w pewnej mierze rekompensowane przez korekcję skrzywienia oraz paradoksalnie poprzez zahamowanie dalszej, związanej ze wzrostem progresji. Innym istotnym problemem dotyczącym niektórych chorych z niedojrzałym szkieletem, po najczęściej wykonywanym typie operacji jakim jest korekcja, stabilizacja i tylne usztywnienie kręgosłupa jest tzw. crankshaft phenomenon. Przyczyną tego zjawiska objawiającego się pooperacyjną utratą korekcji skrzywienia i narastaniem zniekształcenia klatki piersiowej jest najprawdopodobniej utrzymujący się pomimo solidnego bloku tylnej spondylodezy wzrost przedniej kolumny kręgosłupa. (16) Proponowanym rozwiązaniem tego problemu jest uzupełnienie tylnej spondylodezy spondylodezą przednią. Do zmniejszenia wagi tego problemu może się również przyczynić zastosowanie do instrumentacji tylnej śrub przeznasadowych zamiast haków. (16,17) Alternatywą dla usztywnienia kręgosłupa w przypadku małych pacjentów z dużymi, pogłębiającymi się skrzywieniami są metody operacyjnej korekcji i stabilizacji bez usztywnienia – „nonfusion surgery”. Ich główny cel to zahamowanie progresji i kontrolowanie skrzywienia do czasu wykonania ostatecznej spondylodezy. Wśród obecnie stosowanych należy tutaj wymienić metody instrumentacji w oparciu o tzw. podwójne rosnące pręty (techniki Luque-trolley, Leeds,

Fig. 2. A female patient, aged 14, with idiopathic scoliosis of Lenke 1C+ type, Cobb's angle 128°, reduced surgically to 59°. Clinical condition and radiological image before and after surgical treatment. Two-stage correction: anterior release and correction from a posterior access with the C-D method and the technique of 3 rods.

Ryc. 2. Chora lat 14, ze skoliozą idiopatyczną, typ Lenke 1C+, kąt Cobba 128°, pooperacyjnie zmniejszony do 59°. Stan kliniczny i obraz radiologiczny przed i po leczeniu operacyjnym. Korekcja dwuetapowa: uwolnienie przednie i korekcja z dostępu tylnego metodą C-D techniką 3 prętów



Shilla techniques), the technique of intercostal distraction with the use of a vertical expandable prosthetic titanium rib (VEPTR), and the techniques of spinal growth modulation (vertebral staples and tethers). Fig.3. (16).

A REVIEW OF TECHNIQUES OF CORRECTION AND STABILIZATION OF LATERAL SPINAL CURVATURES

Since 1911, when Hibbs introduced the idea of spinal fusion in order to achieve curvature stabilization, spondylosis has become one of the key elements of surgical treatment in various spinal pathologies. However, the true beginning of the modern spondylosurgery was the combination of the idea of spondylosis with interior stabilization and curvature correction based on spinal implants (18). The Harrington instrumentation, widely used in the late 1960s and early 1970s, is still regarded as „the golden standard”, a reference point for an evaluation of more recent systems of stabilization and correction (19). When using Harrington instrumentation, the correction of curvature was achieved mainly due to the distraction force applied along the longitudinal axis of the spinal column, at the concave side of the curvature, by means of two laminar hooks fixed at the opposite poles of the rod. Fig.4.

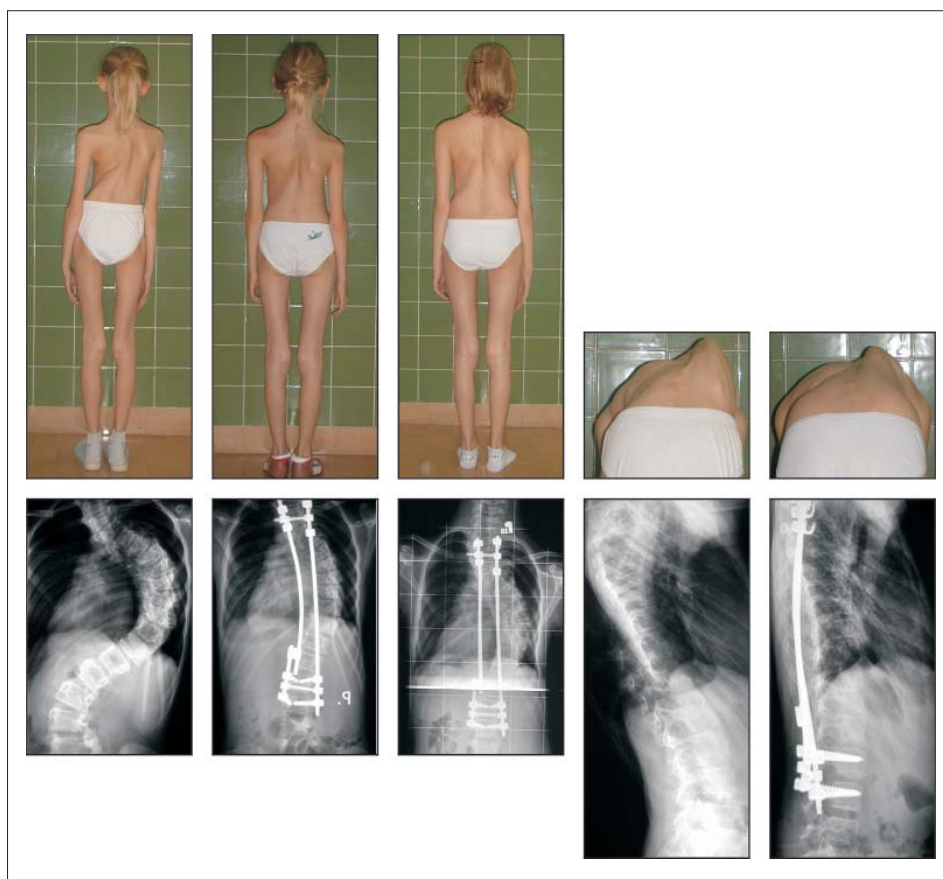
McCarthy, Shilla), technikę dystrakcji międzyżebrowej z wykorzystaniem pionowej rozciąganej tytanowej protezy żebrowej VEPTR, oraz techniki modulowania wzrostu kręgosłupa (międzytrzonowe staplery i „lejce”) ryc. 3. (16)

PRZEGLĄD TECHNIK KOREKCJI I STABILIZACJA BOCZNYCH SKRZYWIEŃ KRĘGOSŁUPA

Od czasu, kiedy Hibbs w 1911 roku wprowadził ideę usztywnienia kręgosłupa w celu uzyskania stabilizacji skrzywienia, spondyloza stała się jednym z kluczowych elementów leczenia operacyjnego różnych patologii w obrębie kręgosłupa. Jednak prawdziwym początkiem współczesnej spondylochirurgii było połączenie koncepcji usztywnienia z wewnętrzną stabilizacją i korekcją skrzywienia opartą na implantach kręgosłupowych.(18) Rozpowszechnione pod koniec lat sześćdziesiątych i na początku lat siedemdziesiątych ubiegłego stulecia instrumentarium Harringtona do dnia dzisiejszego traktowane jest jako „złoty standard”, punkt odniesienia, dla oceny nowszych systemów stabilizacyjno-korekcyjnych.(19) W instrumentarium Harringtona korekcję skrzywienia uzyskiwano głównie dzięki sile dystrakcji przyłożonej wzdłuż osi długiej kręgosłupa, po stronie wklęsłej wygięcia za pośrednictwem dwóch haków laminarnych osadzonych na przeciwnych biegunach pręta ryc. 4.

Fig. 3. A female patient, aged 10, with juvenile idiopathic scoliosis. Clinical condition and radiological image before and during the therapy with the method of growing rods.

Ryc. 3. Chora lat 10, ze skoliozą idiopatyczną dziecięcą. Stan kliniczny i obraz radiologiczny przed i w trakcie leczenia metodą rosnących prętów



An advantage of the Harrington instrumentation was its simplicity, low risk of neurological complications, and good correction of the curvature in the frontal plane. Its disadvantages included the lack of influence on the axial rotation of the spine, occasional unfavourable influence on the sagittal profile, manifested as a deformation of the „flat back” type, and low stability of the connection, requiring post-operative use of a jacket (18,19). Another significant stage in the development of the methods of spine stabilization and correction was the introduction of spinal implants of the second generation into the so-called segmental instrumentation. The concept, elaborated by a Mexican, Eduardo Luque, and presented in 1976, is based on instrumenting each segment in the area of the planned spondylodesis, which makes it possible to distribute the correcting forces into a larger number of points. This makes the connection more stable and provides a better correction in the frontal and sagittal plane than the Harrington instrumentation, potentially influencing the axial rotation as well (20). Unlike in the Harrington method, the forces correcting the deformation are applied perpendicularly to the longitudinal axis of the spinal column by means of wire loops placed on both sides under the vertebral arches, and then pulled in an appropriate sequence to the two L-shaped rods. The need to pass the wire loops under the vertebral arches was regarded as the main disadvantage of Luque's method, due to the high risk of neurological complications, reaching even 17% (21). The knowledge and experience gained in the course of using Harrington's and Luque's implants has produced a number of hybrid methods, including a particularly interesting approach presented in 1984 by Drummond et al.: the Wisconsin technique (22). In order to correct and stabilize curvatures, the authors applied distraction with a Harrington rod on the concave side and correction with a C-shaped Luque's rod on the convex side of the curvature. Through the bases of the spinous processes of all the instrumented segments, wire loops, passing through nodules, were conducted in the direction

Zaletą instrumentarium Harringtona była jego prostota, małe ryzyko powikłań neurologicznych oraz dobra korekcja zniekształcenia w płaszczyźnie czołowej. Wśród wad wymienić należy brak wpływu na rotację osiową kręgosłupa, niejednokrotnie niekorzystny wpływ na profil strzałkowy w postaci deformacji typu płaskich pleców oraz małą stabilność zespolenia powodującą konieczność pooperacyjnego stosowania gorsetu. (18,19). Kolejnym znaczącym etapem w rozwoju metod stabilizacji i korekcji kręgosłupa było wprowadzenie implantów kręgosłupowych II generacji do tzw. segmentarnej instrumentacji. Istota tej zaprezentowanej w 1976 roku koncepcji autorstwa meksykanina Eduardo Luque polega na objęciu instrumentacją każdego segmentu w obszarze planowanej spondylodezy, dzięki czemu możliwe jest rozłożenie sił korygujących deformację na większą liczbę punktów. Zapewnia to większą stabilność zespolenia i umożliwia uzyskanie lepszej, niż w instrumentarium Harringtona korekcji skrzywienia w płaszczyźnie czołowej i strzałkowej, a potencjalnie wpływa również na rotację osiową. (20) W odróżnieniu od metody Harringtona siły korygujące deformację przyłożone są tu prostopadłe do długiej osi kręgosłupa za pośrednictwem pętli drucianych przełożonych obustronnie pod łukami kręgowymi, a następnie dociągniętych w odpowiedniej kolejności do dwóch prętów w kształcie litery „L”. Konieczność przeprowadzania pętli drucianych pod łukami kręgowymi uznana została za główną wadę metody Luque ze względu na wysokie ryzyko powikłań neurologicznych sięgające nawet 17%. (21) Wykorzystanie wiedzy i doświadczeń zdobytych dzięki użytkowaniu implantów Harringtona i Luque zaowocowało powstaniem szeregu metod hybrydowych, z których na szczególną uwagę zasługuje zaprezentowana w 1984 roku przez Drummonda i wsp. technika Wisconsin. (22) Do korekcji i stabilizacji skrzywienia autorzy wykorzystali dystrakcję prętem Harringtona po stronie wklęsłej oraz mechanizm korekcji prętem Luque w kształcie litery C po stronie wypukłej wygięcia. Przez podstawy wyrostków kolczystych wszystkich in-

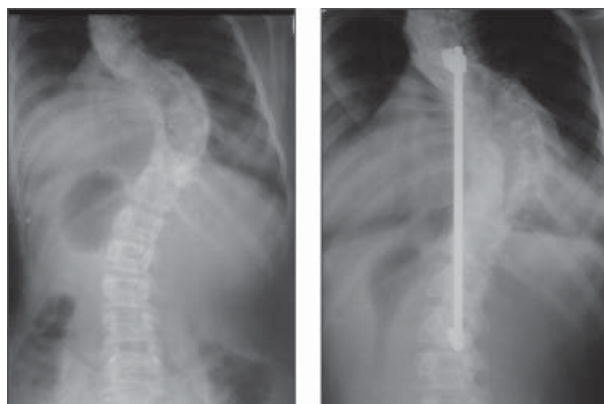


Fig. 4. A female patient, aged 16, idiopathic scoliosis, radiological image before and after an application of the Harrington method
Ryc. 4. Chora lat 16, skolioza idiopatyczna, obraz radiologiczny przed i po leczeniu metodą Harringtona

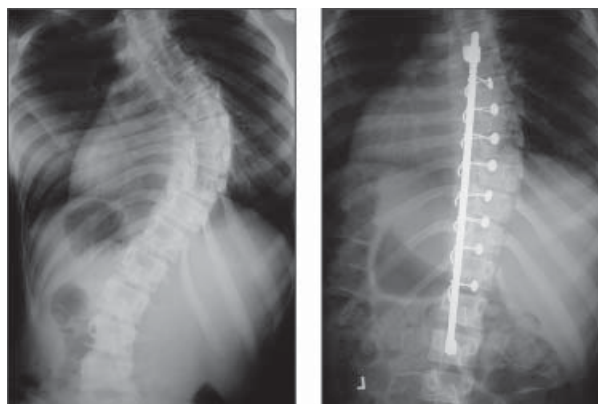


Fig. 5. A female patient, aged 15, idiopathic scoliosis, a radiological image before and after an application of a simplified Wisconsin method of segmental instrumentation
Ryc. 5. Chora lat 15, skolioza idiopatyczna, obraz radiologiczny przed i po leczeniu uproszczoną metodą segmentarnej instrumentacji Wisconsin

of each rod. The loops were first pulled on the convex side to the Luque's rod, and then – to the Harrington rod on the concave side of the curvature. Fig.5

Passing the wire loops at the bases of the spinous processes allowed to retain the advantages of the Harrington and Luque methods, reducing simultaneously the risk of neurological complications. The introduction of the Wisconsin method coincided with the publication by two French orthopaedists, Yves Cotrel and Jean Dubousset, who put forward a new approach to correction and stabilization of scoliosis – the C-D method (23). The C-D method started the era of the third generation implants, establishing the attitude to scoliosis as a three-dimensional deformation, therefore requiring a reconstruction of the spinal column's shape in three planes: frontal, sagittal, and horizontal. In the original version of the C-D system, the essential correction of the curvature was achieved through a derotation of a knurled rod fixed within the area of hooks of special construction, implanted on the concave side of the curvature. The rod was initially bent to the shape which the spinal column should acquire in the sagittal plane after the surgery. After the rod had been derotated by 90 degrees, additional correcting forces, in the form of intersegmental compression or distraction, were applied at the sections between the hooks. The hooks were blocked on the rod; then the instrumentation was completed by fixing another rod in the area of the hooks on the convex side of the curvature and connecting both rods with two or three transverse traction devices (DTT). In this way a rigid frame construction is created, providing enough stability to let the patient assume early an erect position without external fixation. The C-D instrumentation appeared to be the first system that allowed three-dimensional correction of deformations. However, it turned out that the effect of the surgery on the change of sagittal profile and axial rotation of the spinal column concerns mainly soft curvatures. In certain cases, a serious problem of post-operative trunk decompensation in the frontal plane appeared as well (19). On the foundation of the original C-D instrumentation, within the next two decades numerous stabilizing-correcting systems of scoliosis surgery from the posterior access were elaborated. A number of new solutions were introduced into their construction, including replacing knurled rods with smooth ones, a different way of fixing them, further diversification of the series of hook types, and – first of all – the introduction of monoaxial and polyaxial pedicle screws. Thanks to the possibilities offered by modern metallurgy and material processing, the austenitic steel implants used until recently were replaced by implants made of titanium alloys. The changes allowed not only to lower the implant profiles and to adjust the implanted constructions to the patient's individual anatomical traits but also to elaborate a number of new surgical techniques, opening new possibilities of scoliosis correction. The contemporary correction techniques include, apart from the classical maneuver of rod dero-

strumentowanych segmentów przeprowadzano w kierunku każdego z prętów przewleczone przez guziki pętle druciane. Pętle dociągano najpierw po stronie wypukłej do pręta Luque, następnie do pręta Harringtona po stronie wklęsłej wygięcia, ryc. 5.

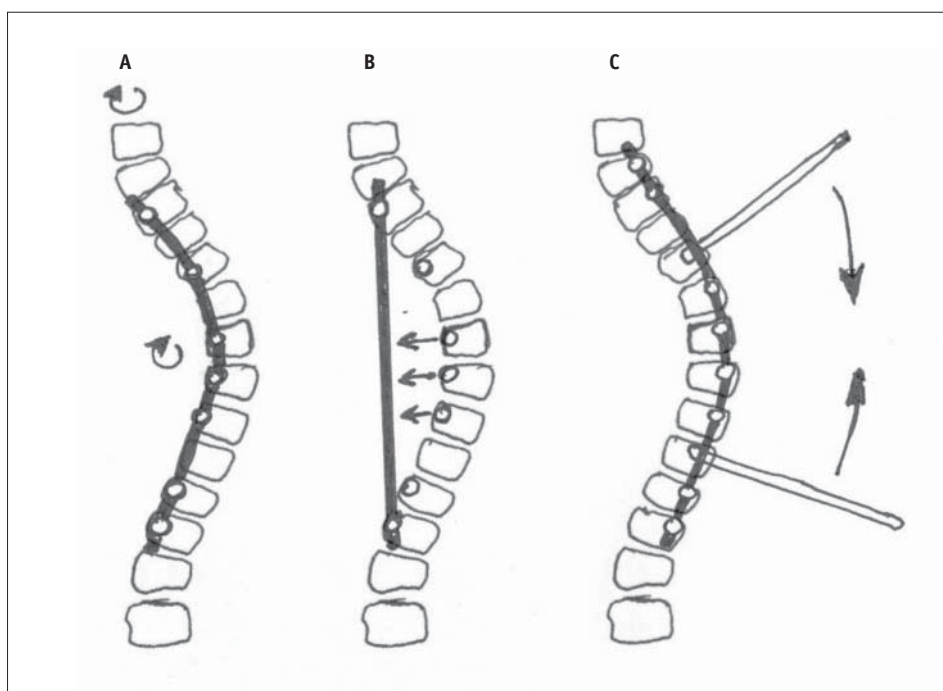
Wykorzystanie podstaw wyrostków kolczystych jako miejsca przeprowadzenia pętli drutu pozwoliło zachować korzyści wynikające z metod Harringtona i Luque, zmniejszając jednocześnie ryzyko powikłań neurologicznych. Wprowadzenie metody Wisconsin zbiegło się w czasie z publikacją dwóch francuskich ortopedów Yves Cotrela i Jean Dubousseta, którzy zaproponowali nowe podejście do korekcji i stabilizacji skoliozy – metodę C-D. (23) Metoda C-D zapoczątkowała erę implantów III generacji ugruntowując spojrzenie na skoliozę, jako na deformację trójwymiarową, zatem wymagającą odtworzenia kształtu kręgosłupa w trzech płaszczyznach: czołowej, strzałkowej i horyzontalnej. W pierwotnej wersji systemu CD zasadniczą korekcję skrzywienia uzyskiwano poprzez odrotowanie moletowanego pręta osadzonego w obrębie odpowiedniej konstrukcji haków zaimplantowanych po stronie wklęsłej wygięcia. Pręt wstępnie doginano do kształtu, jaki pooperacyjnie miał przybrać kręgosłup w płaszczyźnie strzałkowej. Po odrotowaniu pręta o 90 stopni, dodatkowe siły korekcyjne w postaci międzysegmentarnej kompresji lub dystrakcji przykładowe były w odcinkach pomiędzy hakami. Po zablokowaniu haków na pręcie instrumentację skrzywienia uzupełniało zamocowanie drugiego pręta w obrębie haków po stronie wypukłej wygięcia oraz połączenie obydwu prętów dwoma lub trzema ściągaczami poprzecznymi DTT. Powstała w ten sposób sztywna, ramowa konstrukcja zapewnia stabilność wystarczającą do wczesnej pionizacji chorego bez zewnętrznego unieruchomienia. Instrumentarium C-D pretendowało do miana pierwszego systemu umożliwiającego trójpłaszczyznową korekcję deformacji. Okazało się jednak, że wpływ operacji na zmiany profilu strzałkowego i rotacji osiowej kręgosłupa dotyczy głównie skrzywień miękkich. Pojawił się również istotny problem obserwowanej w przypadku niektórych chorych pooperacyjnej dekompensacji tułowia w płaszczyźnie czołowej. (19) W oparciu o fundament utworzony przez pierwotną wersję instrumentarium C-D, w ciągu kolejnych dwóch dziesięcioleci opracowano liczne systemy stabilizująco-korekcyjne do leczenia operacyjnego skolioz z dostępu tylnego. Wprowadzono szereg nowych rozwiązań konstrukcyjnych polegających między innymi na zmianie prętów moletowanych na gładkie, odmiennym sposobie ich osadzenia i zamocowania, dalszym zróżnicowaniu typoszeręgów haków, a przede wszystkim wprowadzeniu do instrumentacji jedno i wieloosiowych śrub przemasadowych. Dzięki możliwościom współczesnej metalurgii i obróbki materiałowej stosowane do niedawna implanty ze stali austenicznej zostały wyparte przez wszczepy ze stopów tytanu. Zmiany te poza obniżeniem profilu implantów i możliwością dostosowania złożonej z nich konstrukcji do indywidualnej anatomii chorego pozwoliły opracować szereg nowych

tation on the concave side of the curvature (fig.6A) and intersegmental distraction and compression, translation, cantilever technique with bending rods on site as well as the increasingly popular technique of direct vertebrae derotation with instrumentation based on pedicle screws. The translation technique consists in pulling the implants fixed on the concave side of the curvature to a rod formerly fixed on the same side, bent to an adequate shape. The rod has been pre-modelled to fit the desired post-operative shape of the spine in the sagittal plane, fig.6B. The correction is supplemented by the instrumentation of the convex side and fixing the transverse traction devices. In comparison to the classical derotation, the translation technique appears to involve less risk of post-operative trunk decompensation (24). A different approach to correcting curvatures underlies the cantilever technique with on-site bending, fig.6C. Here, the rod shaped to fit the curvature is first fixed in the area of implants on the convex side and then it is bent back on site with special bending tools in order to correct the lateral curve. The correction is supplemented by fixing another rod on the concave side, bending both rods to the desired shape in the sagittal plane, blocking them and connecting with transverse traction devices (25). In the opinion of the specialists who apply this technique, an instrumentation based completely on pedicle screws produces sufficient force to correct even large and stiff curvatures without the need to release the spinal column from the anterior access (25).

technik chirurgicznych dających nowe możliwości korekcji skrzywienia. W arsenale stosowanych obecnie technik korekcyjnych poza klasycznym rękoćnym derotacji pręta po stronie wklęsłej wygięcia, ryc.6A, międzysegmentarną dystrakcją i kompresją wymienić należy translację, technikę dźwigni z doginaniem prętów in situ (cantilever) oraz coraz częściej ostatnio stosowaną technikę bezpośredniej derotacji kręgów z instrumentacją opartą na śrubach przeznaczonych. Technika translacji polega na dociągnięciu wszczepów osadzonych po stronie wklęsłej wygięcia do wcześniej zamocowanego po tej samej stronie odpowiednio dogiętego pręta. Pręt jest wstępnie domodelowany do kształtu kręgosłupa, jaki pooperacyjnie chce się uzyskać w płaszczyźnie strzałkowej, ryc.6B. Instrumentacja strony wypukłej i założenie ściągaczy poprzecznych uzupełnia korekcję. W porównaniu z klasyczną derotacją technika translacji wydaje się być związana z mniejszym ryzykiem pooperacyjnej dekomensacji tułowia. (24) Odmienne podejście do korekcji skrzywienia zapewnia technika dźwigni z użyciem doginaczy in situ (cantilever technique) ryc.6C. Tutaj pręt domodelowany do kształtu krzywizny wygięcia zostaje najpierw osadzony w obrębie wszczepów po stronie wypukłej, a następnie w celu skorygowania wygięcia bocznego jest odginany specjalnymi doginaczami in situ. Korekcję uzupełnia założenie drugiego pręta po stronie wklęsłej, dogięcie obu prętów do pożądanego kształtu w płaszczyźnie strzałkowej, ich zablokowanie i połączenie ściągaczami poprzecznymi.(25). Zdaniem stosujących tę technikę, w przypadku wykorzystania instrumentacji opartej w całości na śrubach przeznaczonych wytworzone siły korygujące skrzywienie są wystarczające nawet do skorygowania dużych, sztywnych skrzywień bez konieczności uwolnienia kręgosłupa z dostępu przedniego. (25).

Fig. 6. A,B,C. A – a diagram of correction with the classical derotation maneuver; B – a diagram of correction with the translation technique; C – a diagram of correction with the cantilever technique with on-site bending tools.

Ryc. 6 A,B,C. A – schemat korekcji klasycznym rękoćnym derotacji. B – schemat korekcji techniką translacji. C – schemat korekcji techniką dźwigni z użyciem doginaczy in situ (cantilever technique)



Another technique requiring an application of pedicle screws throughout the length of the instrumentation is the direct apical vertebra derotation (DAVD), gaining more and more supporters. The concept is based on transferring the force derotating vertebral bodies by means of pedicle screws. After the maneuver of derotating the rods fixed in the sockets of the screws has been performed, the moment of the derotating force is applied to the screws on both sides of the curvature by means of derotators fastened to them, fig.7. Reports have indicated that, thanks to the method of direct apical vertebra derotation, truly three-dimensional correction of scoliosis can be achieved (26).

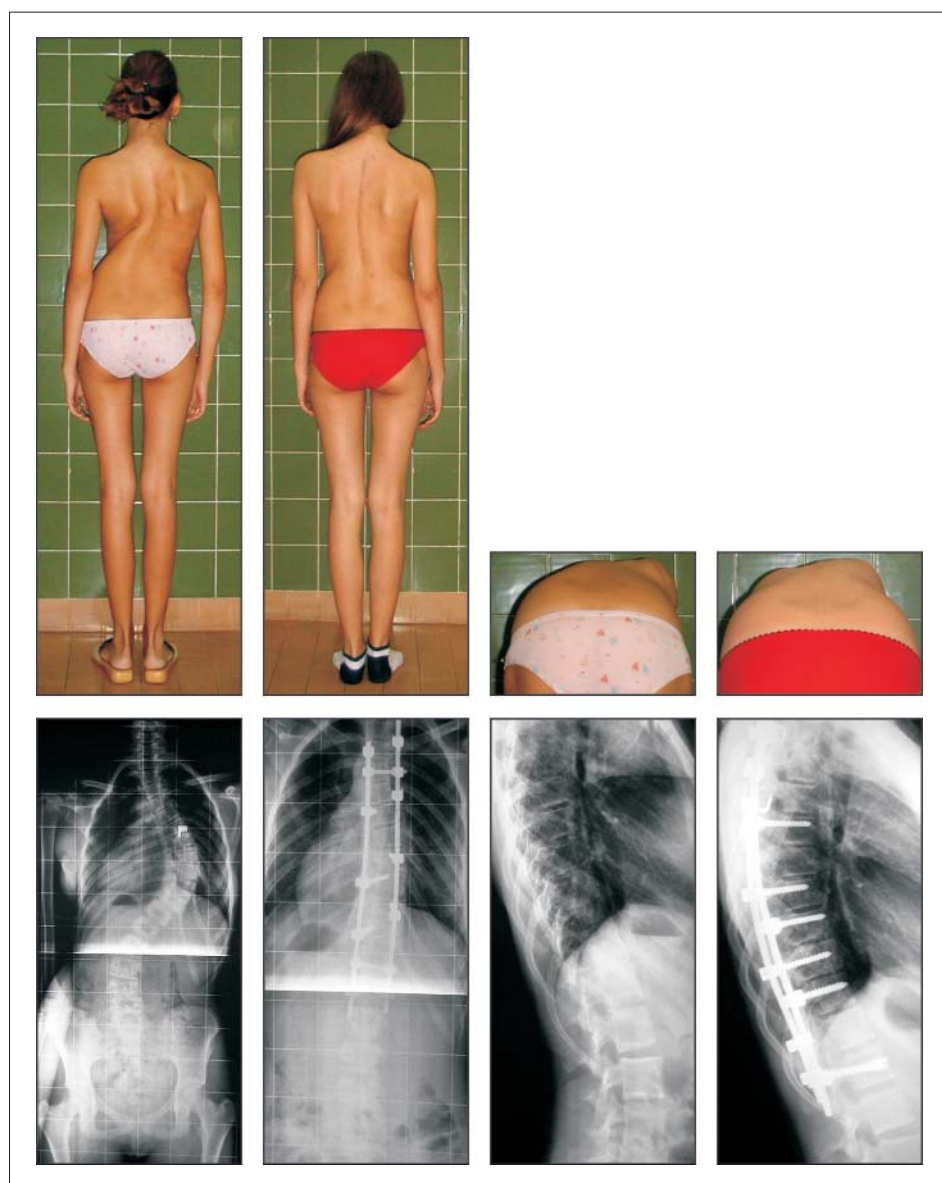
Simultaneously with the posterior access techniques of stabilization and correction, the techniques employing an anterior access to the spinal column evolved as well. A precursor in this area was in the late 1960s an Australian orthopaedist, Dwyer (27). The essence of the

Zastosowania śrub przemasadowych na całej długości instrumentacji wymaga również zdobywająca coraz więcej zwolenników korekcja skrzywienia techniką bezpośredniej derotacji kręgów (DAVD – Direct Apical Vertebra Derotation). Koncepcja tej metody oparta jest na przeniesieniu siły odrotowującej trzony kręgowe za pośrednictwem wprowadzonych przemasadowo śrub. Po wykonaniu manewru odrotowania prętów osadzonych w kielichach śrub, moment siły derotującej skrzywienie przykładany jest do śrub po obu stronach wygięcia poprzez zamocowane do nich derotatory, ryc.7. Dotychczasowe doniesienia wskazują, że dzięki metodzie bezpośredniej derotacji kręgów możliwe jest uzyskanie prawdziwie trójpłaszczyznowej korekcji skoliozy. (26)

Równoległe z rozwojem technik tylnej korekcji i stabilizacji skoliozy ewoluowały metody wykorzystujące przedni dostęp do kręgosłupa. Prekursorem w tej dziedzinie był pod koniec lat sześćdziesiątych XX wie-

Fig. 7. A female patient, aged 13, idiopathic scoliosis of adolescents, Lenke 1AN type, a clinical and radiological image before and after surgical treatment with the DAVD technique with an application of pedicle screws

Ryc. 7. Chora lat 13, skolioza idiopatyczna dorastających, typ Lenke 1AN, obraz kliniczny i radiologiczny przed i po leczeniu operacyjnym techniką DAVD z użyciem śrub przemasadowych



correcting technique with an anterior access was attacking the peak of the deformation on its convex side by shortening and stabilizing the anterior spinal column. In the Dwyer's method, the correction was achieved by means of compression applied between vertebral bodies through the tension of a multi-core cable introduced in the area of the screws fixed in vertebral bodies. A further significant modification of the anterior access instrumentation was the method suggested by Zielke, where the cable was replaced with a rod and the direction of introducing the screws into the vertebral bodies was changed (28). The advantages of the techniques of anterior access included: very good correction of the lateral curvature, stronger effect on the axial rotation of the spine than in the classical posterior techniques, and shortening of the extent of spondylodesis (18). Its disadvantages lay in a higher number of adhesion disorders, problems with the destabilization of implants, and more frequent correction loss. The problems were alleviated to a large extent in the next generations of implants thanks to the construction consisting of two rods fixed with two screws in each vertebral body. This system is more biomechanically stable and facilitates better derotation of the curvature. The anterior access to scoliosis is used, as well, in the endoscopic techniques, developing dynamically over the last twenty years. Thoracoscopic video-surgery poses a scarcely invasive alternative to classical surgery of both anterior release and anterior spondylodesis, correction, and stabilization of curvatures. The achieved correction of spine and chest deformities is comparable to that obtained by means of the classical, invasive methods, while the blood loss is definitely lower, the cosmetic result is better, and the period of hospitalization is shorter (29).

SURGICAL CLASSIFICATION OF IDIOPATHIC SCOLIOSES. THE EXTENT OF SPINAL FUSION

Constantly improved correction and stabilization methods offered by the new surgical techniques and new generations of implants create demand for classification systems of idiopathic scolioses where the type of curvature would be linked with a planned surgical management, understood mainly as an extent of instrumentation and spondylodesis. In 1983, King et al., analysing the results of surgery with the Harrington method, suggested a division of thoracic idiopathic curvatures into 5 types. The main differentiating factors of this division are: the location of the lumbar curve with relation to the central sacral line (CSL) and the flexibility of the thoracic and lumbar curve, being the difference between the type 1 and 2 (30). The King's classification has created the basis for rational planning of the extent of instrumentation and spondylodesis, helping to identify the curvatures where spondylodesis could be limited to only one curve (selective spondylodesis). Even though the King's system is still frequently applied, in the course of time at least three of its limitations have become visible: it does not cover

ku australijski ortopeda Dwyer. (27) Zasadniczą ideą korekcji skrzywienia z dostępu przedniego było zaatakowanie szczytu deformacji po stronie wypukłej poprzez skrócenie i stabilizację przedniej kolumny kręgosłupa. W metodzie Dwyera korekcję uzyskiwano stosując kompresję międzytrzonową wywieraną przez naciąg wielopęczkowego kabla wprowadzonego w obręb śrub zamocowanych w trzonach kręgowych. Dalsza istotna ewolucja instrumentarium do przedniej stabilizacji kręgosłupa w postaci metody zaproponowanej przez Zielke polegała na zastąpieniu kabla prętem i zmianie kierunku wprowadzania śrub w trzony kręgowe. (28) Wśród zalet techniki z przedniego dostępu do kręgosłupa wymieniano bardzo dobrą korekcję wygięcia boczno, większy, niż w klasycznych technikach tylnych wpływ na rotację osiową kręgosłupa oraz skrócenie rozległości usztywnienia. (18). Wady polegały na większej liczbie zaburzeń zrostu, problemów z destabilizacją implantów oraz częstszej utracie korekcji. Problemy te w znacznej mierze zniwelowano w kolejnych generacjach implantów dzięki konstrukcji złożonej z dwóch prętów mocowanych w każdym z trzonów dwiema śrubami. Powstały dzięki temu układ jest biomechanicznie bardziej stabilny i pozwala na lepsze odrotowanie wygięcia. Przednie dojście do skoliozy wykorzystywane jest również w dynamicznie rozwijających się w ciągu ostatnich dwudziestu lat technikach endoskopowych. Videochirurgia torakoskopowa stanowi małoinwazyjną alternatywę dla wykonywanych metodą klasyczną operacji zarówno przedniego uwolnienia kręgosłupa, jak i przedniego usztywnienia, korekcji i stabilizacji skrzywienia. Osiągana korekcja zniekształcenia kręgosłupa i klatki piersiowej jest porównywalna z uzyskiwaną klasycznymi, inwazyjnymi metodami, natomiast zdecydowanie niższa jest utrata krwi, lepszy wynik kosmetyczny i krótszy czas hospitalizacji. (29)

KLASYFIKACJA CHIRURGICZNA SKOLIOZ IDIOPATYCZNYCH. ROZLEGŁOŚĆ USZTYWNIENIA KRĘGOSŁUPA

Coraz doskonalsze metody korekcji i stabilizacji oferowane przez nowe techniki operacyjne i nowe generacje implantów wytworzyły zapotrzebowanie na systemy klasyfikacji skrzywień idiopatycznych łączących typ skrzywienia z planowanym postępowaniem chirurgicznym, rozumianym głównie jako rozległość instrumentacji i usztywnienia kręgosłupa. W 1983 roku King i wsp., analizując wyniki po leczeniu operacyjnym metodą Harringtona, zaproponowali podział idiopatycznych skrzywień w odcinku piersiowym kręgosłupa na 5 typów. W tym podziale zasadniczymi elementami różnicującymi poszczególne typy są: położenie wygięcia lędźwiowego względem centralnej linii krzyżowej CSL (Central Sacral Line) oraz giętkość wygięcia piersiowego i lędźwiowego, odróżniając typ 1 od 2. (30) Klasyfikacja Kinga stworzyła podstawy do racjonalnego planowania rozległości instrumentacji i spondylodezy, pozwalając wyłonić skrzywienia w których usztywnienie można

all the types of idiopathic curvatures, it is based on an assessment of spinal shape in only one – frontal – plane, and it does not match the possibilities offered by the new generations of implants for three-dimensional correction of spinal deformations. Equally serious objections are raised due to insufficient comparability and repeatability of the assessment when a curvature is classified to a certain type (31,32).

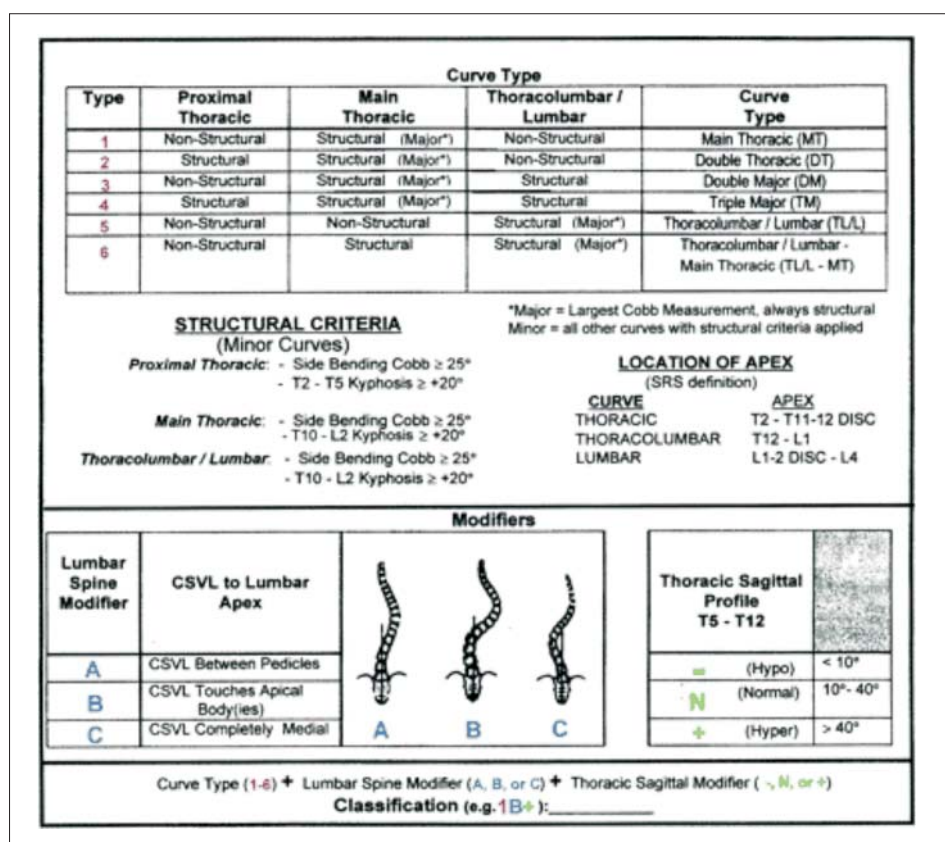
Making use of the valid nomenclature of the Scoliosis Research Society, Lenke et al. elaborated a classification of idiopathic scolioses with respect to structural changes, size and location of curvature peaks in the frontal plane, the sagittal profile of the spine, and the location of the lumbar curve in relation to the central sacral vertical line (CSVL) (33). According to clear-cut criteria, a curvature may be qualified into one of the 6 main types: type 1 – main thoracic (MT), type 2 – double thoracic (DT), type 3 – double major (DM), type 4 – triple major (TM), type 5 – thoracolumbar/lumbar (TL/L), type 6 – thoracolumbar/lumbar with main thoracic (TL/L-MT), fig.8.

ograniczyć jedynie do jednego z wygięć – selektywna spondylodeza. Pomimo, iż system Kinga jest nadal chętnie stosowany, to z perspektywy czasu widać, że cechują go co najmniej trzy istotne ograniczenia: nie obejmuje wszystkich typów skrzywień idiopatycznych, opiera się na ocenie kształtu kręgosłupa tylko w jednej płaszczyźnie-czołowej i nie jest dostosowany do możliwości korekcyjnych nowych generacji implantów do trójpłaszczyznowej korekcji zniekształcenia kręgosłupa. Równie istotne zarzuty dotyczą niewystarczającej porównywalności i powtarzalności ocen przy kwalifikowaniu skrzywienia do określonego typu. (31,32)

Wykorzystując obowiązującą nomenklaturę Scoliosis Research Society Lenke i wsp. stworzyli klasyfikację skolioz idiopatycznych uwzględniając zmiany strukturalne, rozmiary i położenie szczytów wygięć w płaszczyźnie czołowej, profil strzałkowy kręgosłupa i położenie wygięcia lędźwiowego w stosunku do centralnej pionowej linii krzyżowej (CSVL- Central Sacral Vertical Line).(33) Zgodnie z jasno przedstawionymi kryteriami skrzywienie może zostać zakwalifikowane do jednego z 6 głównych typów: typ 1 to skrzywienie główne piersiowe (MT - Main Thoracic), typ2 skrzywienie podwójne piersiowe (DT - Double Thoracic), typ3 skrzywienie podwójne większe (DM - Double Major), typ 4 skrzywienie potrójne główne (TM - Triple Major), typ 5 skrzywienie piersiowo-lędźwiowe/lędźwiowe (TL/L - Thoracolumbar/Lumbar) i typ 6 skrzywienie piersiowo-lędźwiowe/lędźwiowe z głównym piersiowym (TL/L-MT - Thoracolumbar/Lumbar-Main Thoracic), ryc. 8.

Fig. 8. Classification diagram according to Lenke (by permission of J Bone Joint Surg, according to Lenke et al., Bibliography: 33)

Ryc. 8. Schemat klasyfikacji wg Lenke. (za zgodą J Bone Joint Surg wg Lenke G i wsp., piśmiennictwo poz. 33)



Each main type is additionally characterized by a lumbar modifier A, B, or C, defining the location of the peak of lumbar curve in relation to the central sacral vertical line (CSVL) and by a sagittal modifier +, N, or -, reflecting the size of kyphosis in the thoracic section of the spinal column, fig.9.

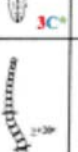
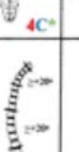
As regards the main type with lumbar and sagittal modifiers, according to the criteria formulated by Lenke et al., 42 distinct types of curvatures can be distinguished. Within each type, as the authors suggest, only the structural curvatures require spondylodesis (34). Whether a curvature is structural is decided on the basis of its potential for correction in radiograms in lateral slope, and an evaluation of the dimensions of segmental kyphosis, fig.3. The clinical importance of Lenke's classification lies in the fact that it is universally applicable to all idiopathic curvatures, it is based on a radiological assessment of the spinal column in two planes, and – first of all – it suggests an algorithm of proceeding that associates the type of curvature with the extent of the planned spondylodesis performed with the use of implants for three-dimensional correction (33, 34, 35, 36, 37). A complex nature of spacial deformation and morpholog-

Każdy z typów głównych jest dodatkowo scharakteryzowany modyfikatorem lędźwiowym A, B lub C określającym położenie szczytu wygięcia lędźwiowego względem centralnej pionowej linii krzyżowej (CSVL) oraz modyfikatorem strzałkowym +, N lub -, odzwierciedlającym rozmiary kyfozy w odcinku piersiowym kręgosłupa ryc. 9.

Uwzględniając typ główny wraz z modyfikatorami lędźwiowym i strzałkowym zgodnie z kryteriami podanymi przez Lenke i wsp. można scharakteryzować 42 odrębne typy skrzywień. Zdaniem autorów w obrębie każdego z nich usztywnienia wymagają tylko wygięcia strukturalne. (34) Określenie czy dane wygięcie jest strukturalne opiera się na ocenie jego korektywności na radiogramach w pochyle boczny oraz na ocenie rozmiarów odcinkowej kyfozy. ryc.3. Istotne znaczenie kliniczne klasyfikacji Lenke polega na tym, że jest ona uniwersalna w odniesieniu do wszystkich skrzywień idiopatycznych, opiera się na radiologicznej ocenie kręgosłupa w dwóch płaszczyznach, a przede wszystkim sugeruje algorytm postępowania łączący typ skrzywienia z rozległością planowanej spondylodezy przy użyciu implantów do trójpłaszczyznowej korekcji. (33,34,35,36,37) Złożona

Fig. 9. Lumbar and sagittal modifiers in the classification according to Lenke (by permission of J Bone Joint Surg, according to Lenke G. et al., Bibliography: 33)

Ryc. 9. Modyfikatory lędźwiowe i strzałkowe w klasyfikacji wg Lenke. (za zgodą J Bone Joint Surg wg Lenke G i wsp., piśmiennictwo poz. 33)

Lumbar Spine Modifier	Curve Type (1 - 6)					
	Type 1 (Main Thoracic)	Type 2 (Double Thoracic)	Type 3 (Double Major)	Type 4 (Triple Major)	Type 5 (TL/L)	Type 6 (TL/L - MT)
A (No to Minimal Curve)	 1A*	 2A*	 3A*	 4A*		
B (Moderate Curve)	 1B*	 2B*	 3B*	 4B*		
C (Large Curve)	 1C*	 2C*	 3C*	 4C*	 5C*	 6C*
Possible Sagittal structural criteria (To determine specific curve type)	 Normal	 PT Kyphosis	 TL Kyphosis	 PT + TL Kyphosis		
* T5-12 sagittal alignment modifier: -, N, or +						- : <10° N : 10-40° + : >40°

ical diversity of scolioses in combination with the complexity of available systems and techniques of correction result in a great variety of opinions concerning both the choice of the border vertebra in spondylodesis and its optimal instrumentation. Robitaille et al., in their recently published study, analysed suggestions of 32 experienced spinal surgeons with respect to the surgical strategy regarding 5 cases of scoliosis, and found out that among the 160 answers (32 surgeons evaluating 5 cases) there were 156 distinct, sometimes diametrically different, operation plans (38). It needs emphasizing that, when planning a spinal correction surgery, the surgeon must take into account numerous factors concerning the patient's characteristics (shape of the curvature, trunk compensation, flexibility of the spine, neurological condition, chest deformity, skeletal maturity, the remaining growth potential), instrumentation (type, location, number and sort of the implants – hooks / screws, the extent of stabilization, the diameter, length, and manner of spinal rod modelling, the sequence of instrumentation, the technique of curvature correction applied in the surgery) (39). Other relevant factors which must be taken into account include: a significant loss of blood, the condition of the patient's bone tissue, the choice of material for bone graft, the risk of neurological complications, and the kind of post-operative procedure.

CONCLUSIONS

In spite of enormous progress in spinal surgery that has been made over the last hundred years, the main objective of surgical treatment of scoliosis has remained the same: an optimal and permanent correction of the deformation with the least possible complications.

The evolution of surgical techniques of correction and stabilization of scoliosis from Harrington instruments to segmental instrumentation with pedicle screws is an indication of the progress from single-plane to multi-plane correction of scoliotic deformations.

Clinical differentiation of various types of scoliosis, as well as numerous controversies concerning the surgical access, the extent of spondylodesis, the choice of implants and of correction methods, limit the possibility of introducing a universal algorithm of surgical treatment.

natura przestrzennej deformacji i zróżnicowanie morfologiczne skolioz w połączeniu ze złożonością dostępnych systemów i technik korekcyjnych wpływają na znaczne zróżnicowanie poglądów dotyczących zarówno wyboru kręgów granicznych spondylodezy, jaki i optymalnej instrumentacji. W opublikowanej niedawno pracy Robitaille i wsp. analizując propozycje 32 doświadczonych chirurgów kręgosłupowych dotyczące strategii operacyjnej w odniesieniu do 5 przypadków skolioz, stwierdzili wśród 160 uzyskanych odpowiedzi (32 chirurgów oceniających 5 przypadków) 156 odrębnych, niejednokrotnie diametralnie różniących się od siebie planów operacyjnych. (38) Należy tutaj podkreślić, że w procesie planowania operacji korekcji skrzywienia kręgosłupa chirurg musi brać pod uwagę wiele czynników odnoszących się do charakterystyki chorego (kształt skrzywienia, kompensacja tułowia, giętkość kręgosłupa, stan neurologiczny, zniekształcenie klatki piersiowej, dojrzałość szkieletowa, pozostały potencjał wzrostowy), instrumentacji (typ, lokalizacja, liczba i rodzaj implantów-haki/śruby, rozległość stabilizacji, średnica, długość i sposób domodelowania prętów kręgosłupowych, kolejność przeprowadzania instrumentacji, stosowane w czasie operacji technika korekcji skrzywienia). (39) Istotne znaczenie wymagające uwzględnienia odgrywają również takie czynniki jak: duża utrata krwi, stan tkanki kostnej chorego, wybór materiału do przeszczepu kostnego, ryzyko powikłań neurologicznych oraz sposób postępowania pooperacyjnego.

WNIOSKI

Pomimo olbrzymich postępów w chirurgii kręgosłupa jakich dokonano w ciągu ostatnich stu lat główny cel leczenia chirurgicznego skoliozy pozostał ten sam: optymalna i trwała korekcja deformacji przy jak najmniejszej liczbie powikłań.

Ewolucja technik operacyjnej korekcji i stabilizacji skolioz od instrumentarium Harringtona do segmentarnej instrumentacji śrubami przeznasadowymi obrazuje postępy na drodze od jedno do wielopłaszczyznowej korekcji skoliotycznego zniekształcenia.

Zróżnicowanie kliniczne skolioz oraz liczne kontrowersje dotyczące dostępu operacyjnego, rozległości usztywnienia, doboru implantów oraz wyboru metody korekcji ograniczają możliwość wprowadzenia uniwersalnego algorytmu leczenia operacyjnego.

References/Piśmiennictwo:

- Mehlman C.T. Idiopathic scoliosis. <http://www.emedicine.com/orthoped/topic504.htm>
- Bunell W.P. The natural history of idiopathic scoliosis. *Clin Orthop Rel Res* 1988; 229: 20-25
- Asher M.A., Burton D.C. Adolescent idiopathic scoliosis: natural history and long term treatment effects. *Scoliosis* 2006; 1:2. <http://www.scoliosisjournal.com/content/1/1/2>
- Fernandes P., Weinstein S.L. Natural history of early onset scoliosis. *J Bone Joint Surg* 2007; 89-A: S21-S33
- Lonstein J.E., Carlson J.M. The prediction of curve progression in untreated idiopathic scoliosis during growth. *J Bone Joint Surg* 1984; 66-A: 1061-1071
- Akbarnia B.A. Management themes in early onset scoliosis. *J Bone Joint Surg* 2007; 89-A: S42-S54
- Robinson C.M., McMaster M.J. Juvenile idiopathic scoliosis. Curve patterns and prognosis in one hundred and nine patients. *J Bone Joint Surg* 1996; 78-A: 1140-1148
- Weinstein S.L. Natural history. *Spine* 1999; 24: 2592-2600
- Weinstein S.L., Dolan L.A., Spratt K.F., Peterson K.K., Spoonamore M.J., Ponseti I.V. Health and function of patients with untreated idiopathic scoliosis. A 50-year natural history study. *JAMA* 2003; 289: 559-567
- Weinstein S.L., Ponseti I.V. Curve progression in idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg* 1983; 65-A: 447-455.
- Tolo V.T., Gillespie R. The characteristics of juvenile idiopathic scoliosis and results of its treatment. *J Bone Joint Surg* 1978; 60-B: 181-188
- Figueiredo U.M., James J.I.P. Juvenile idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg* 1981; 63-B: 61-66
- Charles Y.P., Daures J., Rosa V., Dimeglio A. Progression risk of idiopathic juvenile scoliosis during pubertal growth. *Spine* 2006; 31: 1933-1942
- Thompson G.H., Lenke L.G., Akbarnia B.A., McCarthy R.E., Campbell R.M. Early onset scoliosis: Future directions. *J Bone Joint Surg* 2007; 89-A: S163-S166
- Canale T, Beaty J. Campbell's Operative Orthopaedics. Mosby 2007, 11 rev. ed. Vol II, part XII
- Lenke L., Dobbs M.B. Management of juvenile idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg* 2007; 89-A: S55-S63
- Akbarnia B.A. Management themes in early onset scoliosis. *J Bone Joint Surg* 2007; 89-A: S42-S54
- Mohan A, Kaushik D. History of surgery for correction of spinal deformity. *Neurosurg Focus* 2003; 14 (1): <http://www.aans.org/education/journal/neurosurgical/jan03/14-1-1.pdf>
- Drummond D. A perspective on recent trends for scoliosis correction. *Clin Orthop Rel Res* 1991; 264: 90-102
- Wenger D., Carollo J., Wilkerson J. Biomechanics of scoliosis correction by segmental spinal instrumentation. *Spine* 1982; 7: 260-264
- Phillips W., Hensinger R. Wisconsin and other instrumentation for posterior spinal fusion. *Clin Orthop Rel Res* 1988; 229: 44-51
- Drummond D, Keene J., Breed A. The Wisconsin System: A technique of interspinous segmental spinal instrumentation. *Contemporary Orthopaedics* 1984; 8: 29-37
- Cotrel Y, Dubousset J. Nouvelle technique d'osteosynthese rachidienne segmentaire par voie posterieure. *Rev Chir Orthop* 1984; 70: 489-494.
- Muschik M, Schlentzka D, Robinson P, Kupferschmidt C. Dorsal instrumentation for adolescent thoracic scoliosis: rod rotation versus translation. *Eur Spine J* 1999; 8: 93-99
- Chang K. Cantilever bending technique for treatment of large and rigid scoliosis. *Spine* 2003; 28: 2452-2458
- Lee S, Suk S, Chung E. Direct vertebral rotation: A new technique of three-dimensional deformity correction with segmental pedicle screw fixation in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine* 2004; 29: 343-349
- Dwyer A., Schaffer M. Anterior approach to scoliosis. Results of treatment in fifty-one cases. *J Bone Joint Surg* 1974; 56B: 218-224
- Kostiuk J, Ferron S. Anterior Zielke instrumentation for spinal deformity in adults. *J Bone Joint Surg* 1989; 71A: 898-912
- Gatehouse S, Izatt M, Adam J i wsp. Perioperative aspects of endoscopic anterior scoliosis surgery: the learning curve for a consecutive series of 100 patients. *J Spinal Disord Tech* 2007; 20:317-323
- King H.A., Moe J.H., Bradford D.S., Winter R.B. The selection of fusion levels in thoracic idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg* 1983; 65-A: 1302-1313
- Lenke L.G., Randal R.B., Bridwell K.H. i wsp. Intraobserver and interobserver reliability of the classification of thoracic adolescent idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg* 1998; 80-A: 1097-1106.
- Cummings J.R., Loveless E.A., Campbell J., Samelson S., Mazur J.M. Interobserver reliability and intraobserver reproducibility of the system of King et al. for the classification of adolescent idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg* 1998; 80-A: 1107-1111
- Lenke L.G., Betz R.R., Harms J. i wsp. Adolescent idiopathic scoliosis. A new classification to determine extent of spinal arthrodesis. *J Bone Joint Surg* 2001; 83-A: 8: 1169-1181
- Lenke L.G., Betz R.R., Clements D. i wsp. Curve prevalence of a new classification of operative adolescent idiopathic scoliosis. Does classification correlate with treatment? *Spine* 2002; 27: 604-611.
- Lenke L.G., Betz R.R., Hafer T.R. i wsp. Multisurgeon assessment of surgical decision-making in adolescent idiopathic scoliosis. Curve classification, operative approach and fusion levels. *Spine* 2001; 21: 2347-2353
- Lenke L.G., Edwards C.C., Bridwell K.H. The Lenke classification of adolescent idiopathic scoliosis: How it organizes curve patterns as a template to perform selective fusions of the spine. *Spine* 2003; 28: S199-S207
- Puno R.M, An K., Puno R.L., Jacob A., Chung S. Treatment recommendations for idiopathic scoliosis: an assessment of Lenke classification. *Spine* 2003; 28: 2102-2115
- Robitaille M, Aubin C, Labelle H. Intra and interobserver variability of preoperative planning for surgical instrumentation in adolescent idiopathic scoliosis. *Eur Spine J* 2007; 16: 1604-1614
- Aubin C, Labelle H, Ciolofan O. Variability of spinal instrumentation configurations in adolescent idiopathic scoliosis. *Eur Spine J* 2007; 16: 57-64