

ROMAN NOWAK¹, TADEUSZ SZYMON GAŹDZIK²

¹ Katedra i Oddział Kliniczny Ortopedii ŚUM
Wojewódzki Szpital Specjalistyczny nr 5, Sosnowiec

² Śląski Uniwersytet Medyczny, Katowice

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 2050/1767

Tables/Tabele 1

Figures/Ryciny 2

References/Piśmiennictwo 36

Received: 10.05.2008

Accepted: 10.09.2009

Published: 01.02.2009

Summary

Solid spinal fusion is one of the principal conditions of the effective treatment in many of the operative interventions performed in different spinal pathologies, in every segment of the spine. Despite of the implementation of new methods of osteosynthesis the incidence of postoperative spinal nonunions is 5 to 35%. The purpose of this study was to present diagnostic problems, epidemiology, risk factors and contemporary methods of treatment of bone healing disturbances in different spinal pathologies. Further advances in understanding of biology and biomechanics of the bone tissue healing, implementation of improved biomaterials together with the possibility of influencing the bone healing process at the molecular level will reduce the number of patients requiring spinal reoperation because of the nonunion.

Key words: spinal pseudoarthrosis, spinal fusion, spinal nonunion

Streszczenie

Uzyskanie mocnego bloku spondylodezy jest jednym z głównych warunków powodzenia wielu interwencji operacyjnych wykonywanych w obliczu różnych chorób kręgosłupa, w obrębie każdego z jego odcinków. Pomimo stosowania coraz doskonalszych technik osteosyntezy częstość zaburzeń zrostu po operacjach kręgosłupowych stwierdza się w przypadku 5 do 35% chorych. Celem pracy było przedstawienie, w oparciu o dane z piśmiennictwa i doświadczenia własne, problemów diagnostycznych, epidemiologii, czynników ryzyka, oraz współcześnie stosowanych metod postępowania w leczeniu zaburzeń zrostu w różnych patologiach kręgosłupa. Dalsze postępy w zrozumieniu biologii i biomechaniki gojenia się tkanki kostnej, wprowadzanie coraz doskonalszych biomateriałów, w połączeniu z możliwością ingerencji w przebieg procesu zrostu kostnego na poziomie molekularnym pozwolą zmniejszyć liczbę chorych wymagających reoperacji kręgosłupa z powodu braku zrostu.

Słowa kluczowe: staw rzekomy kręgosłupa, spondylodeza, zaburzenia zrostu

INTRODUCTION

The frequent prerequisite for the success of vertebral surgery consists in the permanent stability of specific motor segments. It may be achieved exclusively through synostosis between vertebra in the form of either posterior, posterior-lateral, anterior block spondylodesis or fixation of the anterior and posterior columns of the spine, referred to as 360° spondylodesis. Despite constant development of stabilization techniques in respect of various spinal segments, the introduction of novel biomaterials and an increasing understanding of the biological, physiological and molecular mechanisms underlying the processes at work within the bone tissue, nonunion affecting the area treated with spondylodesis remains a frequent late complication due to surgical intervention.

The objective of the study covers the presentation of issues ranging from epidemiology, etiology and risk factors associated with vertebral nonunion as well as the diagnostic and therapeutic problems thereof.

EPIDEMIOLOGY

The interval from the surgery to the diagnosis of vertebral nonunion is commonly estimated at a minimum of 12 months after the surgery. (1). The exact incidence of the condition is unknown as it remains asymptomatic in approximately 50% of patients after spinal surgeries yet may also cause pain, failure of correction, deformity aggravation as well as severe neurological problems. (1,2,3). The incidence of nonunion in the case of anterior fixation of a single cervical segment as reported by the authors amounts even to 20% and increases along with the number of segments operated on. (4,5,6). The number of false joints is correlated with the type of stabilization performed. The comparative analysis of the outcome of four surgical techniques featuring anterior cortical graft along with Halo girdle, anterior cortical graft coupled with cervical plate, anterior cortical graft with posterior stabilization and spondylodesis as well as anterior cortical graft and dynamic cervical plate demonstrates the respective numbers of false joint: 20%, 40%, 0% and 7% (7). It appears self-evident that the incidence of nonunion within the lumbar segment is also affected by the surgical method. Steinmann and Herkovitz provide the following figures: 4-68% with regard to anterior interbody fusion (ALIF), 3-25,5% as regards posterior-lateral spondylodesis, between transverse processes and 6-27% in relation to posterior interbody fusion (PLIF) (3). Brodsky et al. report an average of 25,5% of false joints due to lumbar segment fusion, of which 13% of cases after internal stabilization featured nonunion while the percentage of nonunion in surgical patients without stabilization was tantamount to 31,5%(8). In posterior surgical treatment of scolioses the incidence of false joint is assessed within the range of 0 to 35% (9,10). In adult scoliosis patients who underwent posterior fusion by means of novel generation implants Kim et al. observed nonunion in 17% of cases (10)

WSTĘP

Warunkiem powodzenia wielu interwencji operacyjnych w obrębie kręgosłupa jest zapewnienie trwałej stabilności określonych segmentów ruchowych. Staje się to możliwe jedynie dzięki uzyskaniu zrostu kostnego pomiędzy kręgami w postaci sztywnego bloku spondylodezy tylnej, tylno-bocznej, przedniej lub usztywnienia tylnej i przedniej kolumny kręgosłupa, czyli tzw. spondylodezy 360°. Pomimo stałego doskonalenia technik stabilizacji różnych odcinków kręgosłupa, wprowadzania nowych biomateriałów i coraz lepszego zrozumienia biologii, fizjologii i molekularnego podłoża procesów zachodzących w tkance kostnej, brak zrostu w obszarze poddanym spondylodezie nadal należy do częstych późnych powikłań po leczeniu operacyjnym.

Celem pracy było przedstawienie, w oparciu o dane z piśmiennictwa i doświadczenia własne epidemiologii, przyczyn i czynników ryzyka oraz problemów związanych z diagnostyką i leczeniem zaburzeń zrostu w obrębie kręgosłupa.

EPIDEMIOLOGIA

Powszechnie przyjmuje się, że brak zrostu kostnego w obrębie kręgosłupa rozpoznaje się dopiero po upływie 12 miesięcy od operacji (1). Częstość występowania tego problemu nie jest dokładnie znana ponieważ w przypadku około 50% chorych brak zrostu po operacjach kręgosłupa przebiega bezobjawowo, może jednak być także przyczyną dolegliwości bólowych, utraty korekcji, narastania deformacji oraz poważnych konsekwencji neurologicznych (1,2,3). Podawana przez autorów częstość występowania braku zrostu w przypadku usztywnienia pojedynczego segmentu szyjnego odcinka kręgosłupa z dostępu przedniego wynosi nawet 20% i wzrasta wraz z liczbą operowanych poziomów (4,5,6). Liczba stawów rzekomych związana jest również z typem stabilizacji. Porównując wyniki uzyskane po leczeniu z zastosowaniem czterech różnych technik operacyjnych: przedniego przeszczepu korowego w połączeniu z gorsetem halo, przedniego przeszczepu korowego w połączeniu z płytką szyjną, przedniego przeszczepu korowego w połączeniu z tylną stabilizacją i spondylodezą oraz przedniego przeszczepu korowego w połączeniu z dynamiczną płytką szyjną stwierdzono odpowiednio 20%, 40%, 0% i 7% stawów rzekomych (7). Wydaje się oczywistym, że również w odcinku lędźwiowym kręgosłupa liczba zaburzeń zrostu związana jest z zastosowaną metodą operacyjną. Steinmann i Herkovitz podają liczby od 4-68% w przypadku operacji usztywnienia międzytrzonowego z dostępu przedniego (ALIF), 3-25,5% w spondylodezie tylnobocznej, między wyrostkami poprzecznymi i 6-27% w usztywnieniu międzytrzonowym z dostępu tylnego (PLIF) (3). W pracy Brodsky i wsp. donoszą o występowaniu średnio 25,5% stawów rzekomych po usztywnieniach odcinka lędźwiowego, z czego w przypadkach z wewnętrzną stabilizacją brak zrostu stwierdzono u 13%, a bez stabilizacji u 31,5% operowanych (8). W chirurgii

ETIOLOGY AND RISK FACTORS

The establishment of an exact etiology postoperative nonunion proves problematic and thus usually discredits the attempts to uncover the exact cause of vertebral false joints (1). A negative impact on the transformation of graft into spondylodesis block may be exerted by numerous local and systemic factors. The most significant among local factors are associated with the surgery itself. These cover: inappropriate choice of surgical technique, excessive mobility due to instability at the fusion site, insufficient preparation of the compartment for spondylodesis, maladjustment and scarcity of graft material along with considerable tissue devitalization induced by prolonged surgery duration and severity of technique applied. Other local factors include cicatrices due to previous operations, radiotherapy, local neoplastic process, infection (1,11). It is agreed upon that systemic factors that have a negative impact on synostosis formation feature predominantly smoking cigarettes and non-steroid anti-inflammatory medicines. The damaging effect of smoking upon spondylodesis has been vastly documented in experimental and clinical studies (1,11,12,13,14,15). Toxic substances present in tobacco smoke impair bone metabolism by diminishing tissue perfusion and oxidation as well as they inhibit graft revascularization. Nonunion after vertebral surgery is more frequent in smokers as opposed to non-smokers even by five-fold. (16). The administration of certain medicines may prove vital for synostosis throughout early postoperative period. Nonsteroid anti-inflammatory medicines reduce the odds of successful synostosis as a result of their inhibitory effect on cyclooxygenase -2 (COX-2) –dependent E2 prostaglandine (PGE2) production (17,18,19). Other drugs to have an inhibitory effect involve corticosteroids and cytostatic drugs (20,21). Elderly age, malnutrition, exhaustion, alcohol abuse, concurrent metabolic disorders, rheumatoid arthritis and osteoporosis are another factors that may lead to an increased risk of synostosis disorders. (1).

DIAGNOSTICS

By contrast with long bones, the diagnosis of nonunion due to vertebral surgical fusion poses difficulty. Heretofore no available diagnostic means has proved sufficiently sensitive or accurate to serve as a tool appropriate for the diagnosis of 100 of cases. Surgery is still considered to be a “bad standard” in diagnostics. What adds to the diagnostic difficulty are the symptomatic development of the condition and absence of correlation between the fixation obtained and the clinical outcome. (1,22). In case of pain sensations or neurological symptoms other reasons than false joint are to be ruled out. The cheapest and most frequently applied classic AP lateral and diagonal radiograms facilitate a diagnosis in approximately 70-80% of patients (8,9,23). The visualization of spondylodesis block in radiograms more often than not proves problematic on account of complex vertebral structure and the presence of implants. The indications of

gicznym leczeniu skolioz z dostępu tylnego częstość występowania stawów rzekomych szacuje się na 0 do 35% (9,10). W przypadku skolioz u dorosłych operowanych z dostępu tylnego z zastosowaniem nowych generacji implantów Kim i wsp stwierdzili brak zrostu u 17% chorych (10).

PRZYCZYNY I CZYNNIKI RYZYKA

Dokładne ustalenie etiologii pooperacyjnego braku zrostu jest trudne, dlatego w większości przypadków dokładna przyczyna stawu rzekomych kręgosłupa pozostaje nieznana (1). Negatywny wpływ na przebudowę przeszczepu w blok spondylodezy mogą wywierać liczne czynniki o charakterze zarówno miejscowym, jak i ogólnoustrojowym. Wśród czynników o znaczeniu miejscowym najbardziej istotne wydają się być związane z samą interwencją operacyjną. Należałoby tu wymienić: zły dobór typu operacji, nadmierną ruchomość związaną z niestabilnością w miejscu zespolenia, niedostateczne przygotowanie łoża pod spondylodezę, nieprawidłowe dopasowanie i zbyt małą ilość przeszczepu oraz znaczną dewitalizację tkanek związaną z długim czasem trwania operacji oraz brutalną techniką. Do czynników miejscowych zaliczyć również należy obecność blizny po wcześniejszych operacjach, radioterapię, lokalny proces nowotworowy, infekcję (1,11). Istnieje zgodność, że pośród czynników ogólnoustrojowych oddziałujących negatywnie na zrost kostny na pierwszym miejscu należy wymienić palenie papierosów oraz niesterydowe leki przeciwzapalne. Ujemny wpływ palenia na spondylodezę został bogato udokumentowany w pracach doświadczalnych i klinicznych (1,11,12,13,14,15). Toksyczne substancje zawarte w dymie tytoniowym upośledzają metabolizm kostny, zmniejszają perfuzję i natlenowanie tkanek oraz hamują rewaskularyzację przeszczepu. Brak zrostu po operacji kręgosłupa obserwuje się nawet pięciokrotnie częściej u osób palących (16). We wczesnym okresie pooperacyjnym istotne znaczenie dla uzyskania zrostu kostnego może odgrywać podawanie niektórych leków. Niesterydowe leki przeciwzapalne poprzez wpływ na hamowanie zależnej od cyklooksygenazy -2 (COX-2) produkcji prostaglandyny E2 (PGE2) zmniejszają szansę na uzyskanie zrostu (17,18,19). Ujemny wpływ mogą wywierać także kortykosteroidy i cytostatyki (20,21). Ze zwiększonym ryzykiem powikłań zrostu należy liczyć się również w przypadku chorych w podeszłym wieku, niedożywionych, wyniszczonych, nadużywających alkohol, z współistniejącymi zaburzeniami metabolicznymi, reumatoidalnym zapaleniem stawów i osteoporozą (1).

DIAGNOSTYKA

W odróżnieniu od kości długich rozpoznanie braku zrostu po operacji usztywnienia kręgosłupa jest trudne. Jak dotychczas żadne z dostępnych narzędzi diagnostycznych nie jest ani wystarczająco czułe, ani precyzyjne by postawić rozpoznanie w 100% przypadków. Nadal chirurgiczna eksploracja uznawana jest za „złoty standard” przy

nonunion range from dislocation, graft or implant fracture. Fig.1. Upon the observation of clear areas in the vicinity of metal grafts their loosening should be suspected. Fig.2. Diagonal projections serve well to demonstrate the area of intervertebral joints and are thus a helpful tool in the evaluation of posterior and posterior-lateral spondylodesis block. Slightly more information may be harnessed from functional radiograms. Cannada et al., profess that distance changes between spinous processes are more credible as seen in the flexion and of cervical segment as opposed to those seen in the Cobb spinal curette (24). Conventional tomography may be complementary to classic radiological examinations and enable to diagnose false joint in up to 96% of cases (9). Computer tomography-CT is a commonly employed diagnostic tool but has a limited use in the case of patients after surgical insertion of implants caused by artifacts resulting from the presence of metal. A 3-d computer reconstruction may prove a richer source of information on the spondylodesis block. The said technique requires multiple scans but it still involves as much as 38% probability of diagnostic error (1). Examination by means of magnetic resonance imaging – MRI is also incorporated in the diagnostic tools applied to vertebral false joints, although there are artifacts involved on account of implants. The shifts in the intensity of high signal produced by medulla in the subchondral layer of the vertebra of the stabilized segment in T1 sequence coupled with a low intensity signal in T2 indicate a stable synostosis while, conversely, low intensity signal in T1 along with high intensity signal in T2 may suggest a false joint. (1). Bone scintigraphy with the use of technet isotope conducted within 12 months of the surgery may demonstra-

stawianiu diagnozy. Dodatkowym utrudnieniem jest często bezobjawowy przebieg i brak korelacji pomiędzy uzyskaniem usztywnienia i wynikiem klinicznym (1,22). W przypadku chorych z dolegliwościami bólowymi lub objawami neurologicznymi należy wykluczyć inne, niż staw rzekomy przyczyny tych dolegliwości. Najtańsze i najczęściej stosowane klasyczne radiogramy w projekcjach a-p, bocznej i skośnych pozwalają na postawienie rozpoznania jedynie u około 70-80% chorych (8,9,23). Uwidocznienie bloku spondylodezy na radiogramach jest często utrudnione ze względu na złożoną budowę kręgosłupa oraz obecność implantów. O braku zrostu mogą świadczyć: przemieszczenie, złamanie przeszczepu lub złamanie implantów ryc. 1. Stwierdzenie przejaśnień wokół metalowych wszczepów przemawia za ich obluźnianiem ryc. 2. Projekcje skośne dobrze uwidaczniają okolicę stawów międzykręgowych, są zatem pomocne w ocenie bloku spondylodezy tylnej i tylnobocznej. Nieco więcej informacji można uzyskać wykonując radiogramy czynnościowe. Zdaniem Cannada i wsp. stwierdzenie na radiogramach odcinka szyjnego kręgosłupa w zgięciu i przeproście zmian odległości pomiędzy wyrostkami kolczystymi usztywnionego segmentu jest bardziej wiarygodne, niż stwierdzenie zmian w kącie Cobba (24). Konwencjonalna tomografia może stanowić cenne uzupełnienie klasycznych badań radiologicznych pozwalając potwierdzić obecność stawu rzekomego nawet w 96% przypadków (9). Tomografia komputerowa –CT jest często stosowanym narzędziem diagnostycznym, jednak w przypadku chorych operowanych z zastosowaniem implantów ma ograniczone zastosowanie ze względu na związane z obecnością metalu artefakty. Więcej informacji o bloku spondylodezy dostarczyć może kompu-

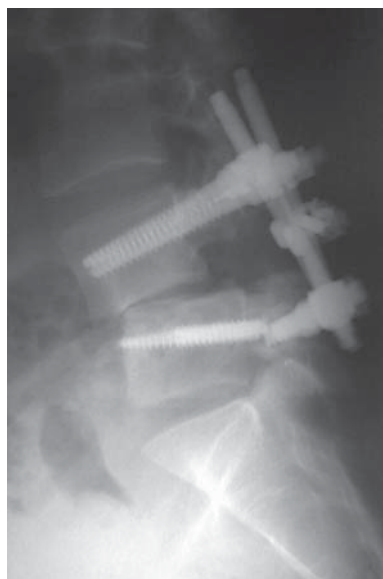


Fig. 1. Implant failure after reposition and stabilisation of spondylolysis due to the lack of anterior instrumentation

Ryc. 1. Destabilizacja instrumentarium po operacji repozycji i stabilizacji kręgosłupa spowodowana brakiem instrumentacji przedniej kolumny kręgosłupa



Fig. 2. CT image. Osteolysis around the transpedicular screws indicating implant destabilisation

Ryc. 2. Obraz TK. Widoczna osteoliza wokół śrub transpedikularnych wskazująca na brak stabilności zespolenia

te an intensified uptake in the fixation area indicative of increased cellular activity and congestion within the area corresponding to the ongoing osseous tissue transformation. However, the low sensitivity and high non-specificity of the said diagnostic method holds little relevance to the diagnostics of nonunion due to vertebral surgery.

TREATMENT OF VERTEBRAL NONUNION

There is no fixed protocol concerning the treatment of vertebral nonunion after spinal surgery. The asymptomatic course of development of the condition as found in probably half the patients justifies the statement to the effect that not all patients with diagnosed false joints within the spondylodesis block require therapeutic means. Such cases call only for interim check-up and monitoring centered upon non-stability features or signs of implant destabilization, possibly consideration of external immobilization. In case of patients with symptoms present the treatment should be oriented towards the reasons behind nonunion, if established. Pre- and postoperative elimination of risk factors such as systemic disorders or those with a local scope including smoking tobacco, non-steroid anti-inflammatory medicines, corticosteroids and cytostatic drugs or radiotherapy facilitates prophylactic means serving to increase the odds of synostosis. One of the little invasive strategies employed recently in the vertebral nonunion therapy features biophysical internal stimulation with direct current, pulsating electromagnetic field, combined magnetic fields or electrostimulation with alternating current (25,26,27,28). Following the insertion of direct electrical stimulator a 91,5% synostosis increase was reached in patients with false joints due to vertebral fixation without stabilization (25). The decision to perform secondary surgery in order to bring about vertebral fixation is predetermined by the type of prior surgery and the surgical access route used. To obtain synostosis upon the failure of previous surgery without internal stabilization mostly implants are chosen for the sake of the fixation of the segment reoperated on. As regards lumbar segment synostosis was achieved in 65-100% patients who underwent surgery with internal stabilization and implants as opposed to 25-58% in patients without stabilization (29,30,31). Upon nonunion following surgery with internal stabilization through the use of implants, should there be no indications for their removal, the method of choice features another surgical access route than in the first surgery. A different access route enables to operate on an area that shows higher blood concentration levels and is free from cicatrix overgrowth thereby contributing to greater odds of obtaining synostosis. In regard to the cervical segment upon nonunion after anterior spondylodesis without the symptoms of spinal cord compression and without the necessity to remove implants, there are grounds to perform posterior spondylodesis with posterior stabilization (32). Should there be indications for anterior decompression of vertebral channel or the removal of implants is required,

terowa rekonstrukcja 3-D. Technika ta wymaga wykonania licznych skanów, ale i w tym przypadku błędy diagnostyczne mogą sięgać 38% (1). Badanie techniką rezonansu magnetycznego – MRI, pomimo artefaktów powstających w przypadku obecności implantów, również znajduje zastosowanie w diagnostyce stawów rzekomych kręgosłupa. Zmiany intensywności wysokiego sygnału w szpiku warstwy podchrzęstnej kręgów usztywnianego segmentu w sekwencji T1 oraz niskiej intensywności sygnału w T2 wskazują na obecność solidnego zrostu. I odwrotnie sygnał o niskiej intensywności w T1 oraz o wysokiej intensywności w T2 mogą wskazywać na obecność stawu rzekomego (1). Scyntygrafia kostna izotopem technetu wykonana w okresie 12 miesięcy po operacji może wykazać wzmożony wychwyt w obszarze usztywnienia, co przemawia za wzmożoną aktywnością komórkową i przekrwieniem tej okolicy odpowiadającym trwającej nadal przebudowie tkanki kostnej. Jednak ze względu na niską czułość i wysoką niespecyficzność tej techniki diagnostycznej znajduje ona małe zastosowanie w rozpoznawaniu zaburzeń zrostu po operacjach kręgosłupa.

LECZENIE ZABURZEŃ ZROSTU W OBRĘBIE KRĘGOSŁUPA

Jak dotychczas w leczeniu zaburzeń zrostu po operacjach kręgosłupa brak jest powszechnie przyjętego algorytmu postępowania. Bezobjawowy przebieg występujący prawdopodobnie u około połowy chorych uzasadnia stwierdzenie, że nie wszyscy pacjenci u których rozpoznano staw rzekomy w obrębie bloku spondylodezy wymagają leczenia. W tych przypadkach wystarczająca jest okresowa kontrola i obserwacja w kierunku pojawienia się cech niestabilności lub oznak destabilizacji implantów ewentualnie rozważenie zastosowania zewnętrznego unieruchomienia. W przypadku chorych z objawami racjonalne wydaje się postępowanie ukierunkowane na przyczynę braku zrostu, pod warunkiem, że uda się ją ustalić. Wyeliminowanie w okresie przed i pooperacyjnym czynników ryzyka takich jak zaburzenia ogólnoustrojowe lub miejscowych jak palenie tytoniu, niesterydowe leki przeciwzapalne, kortykosteroidy, cytostatyki, czy radioterapia pozwala na wprowadzenie profilaktyki mającej na celu zwiększenie szans na uzyskanie zrostu. Jedną z małoinwazyjnych strategii stosowanych od pewnego czasu w leczeniu braku zrostu w obrębie kręgosłupa jest biofizyczna stymulacja przy użyciu elektrostymulacji wewnętrznej prądem stałym, pulsacyjnego pola elektromagnetycznego, skojarzonych pól magnetycznych lub elektrostymulacji prądem zmiennym (25,26,27,28). Po wszczępieniu bezpośredniego stymulatora prądowego uzyskano zrost u 91,5% chorych ze stawami rzekomymi po operacji usztywnienia kręgosłupa bez stabilizacji (25). Przy podejmowaniu decyzji o ponownym leczeniu operacyjnym mającym na celu usztywnienie kręgosłupa należy uwzględnić rodzaj poprzednio wykonanej operacji i zastosowany dostęp operacyjny. W celu uzyskania zrostu kręgosłupa w przypadkach, gdy w czasie pierwszej operacji nie zastosowano wewnętrznej stabilizacji

anterior access route revision surgery is recommended along with complementary posterior surgery. Likewise in the lumbar segment posterior access route with posterior stabilization and spondylodesis is recommended upon the failure of anterior surgery. In response to nonunion due to posterior surgery either anterior interbody fusion (ALIF) or consecutive surgery using posterior access route incorporating posterior interbody fusion (PLIF) may be performed. Both methods aim at a final 360° fixation.

The material that serves as the graft is of uttermost significance and is a key element in the successful postoperative synostosis.

Following the surgical wound closure the graft material is subject to identical anatomical, biomechanical, histological, biochemical and molecular determinants as the surrounding bone tissue. The material's osteogenic, osteoinductive and osteoconductive properties play a role in its integration. (11). The characteristics of chosen bone graft materials employed in vertebral surgery have been detailed in Table 1. So for the only to manifest all three desirable properties each graft material should possess is autogenous bone graft. However, it is likely, especially in the case of revision surgery, that the bone material is too scarce for the surgical means. Nevertheless, the progress within the fields of material engineering, molecular biology and biotechnology has led in recent years to the introduction in clinical treatment of novel biomaterials that evince osteoinductive and osteoconductive properties. The outcome achieved by means of recombinant morphogenetic proteins rBMP-2 and rBMP-7 with potent osteoinductive properties is especially promising. (33,34,35,36)

najczęściej podejmuje się decyzję o usztywnieniu reoperowanego segmentu przy użyciu implantów. W odcinku lędźwiowym kręgosłupa stwierdzono zrost kostny u 65-100% operowanych z zastosowaniem wewnętrznej stabilizacji implantami, natomiast jedynie u 25-58% chorych operowanych bez stabilizacji (29,30,31). W obliczu braku zrostu po operacjach ze stabilizacją wewnętrzną implantami, jeżeli nie ma konieczności ich usuwania, postępowaniem z wyboru wydaje się być zastosowanie innej drogi dostępu, niż w czasie pierwszej interwencji. Odrębne dojście operacyjne pozwala operować w środowisku lepiej ukrwionym i nieprzerośniętym blizną, co zwiększa szanse na uzyskanie zrostu kostnego. W szyjnym odcinku kręgosłupa przy braku zrostu po spondylodezie przedniej bez objawów kompresji rdzenia kręgowego, bez konieczności usuwania implantów, zasadne jest wykonanie tylnej spondylodezy z tylną stabilizacją (32). Jeżeli istnieją wskazania do przedniego odbarczenia kanału kręgowego lub istnieje konieczność usunięcia implantów wskazane jest wykonanie rewizji od przodu uzupełnionej operacją z dostępu tylnego. Podobnie w odcinku lędźwiowym kręgosłupa po nieudanej interwencji z dostępu przedniego zaleca się dojście tylne z tylną stabilizacją i spondylodezą. Przy braku zrostu po operacji z dostępu tylnego można wykonać przednie usztywnienie międzytrzonowe (ALIF) lub ponowną operację z tylnego dostępu poszerzoną o usztywnienie międzytrzonowe tylne (PLIF). W obu przypadkach planowanym efektem końcowym ma być uzyskanie usztywnienia 360°.

Niezwykle istotnym, kluczowym elementem mającym wpływ na uzyskanie pooperacyjnego zrostu w obrębie kręgosłupa jest materiał użyty do przeszczepu.

Po zamknięciu rany operacyjnej podlega tym samym uwarunkowaniom anatomicznym, biomechanicznym, histologicznym, biochemicznym i molekularnym, co

Table 1. The characteristic of chosen materials applied as grafts in spinal surgery

Material	osteogenocity	osteoinductiveness	osteoconductiveness
Autogenous bone	+	+	+
Allogeneous bone	-	-/+	+
Deproteinized xenograft	-	-	+
Medulla	+	-/+	+
Demineralized bone matrix	-	+	+
Collagen	-	-	+
Ceramic grafts	-	-	+
cBMP-2	-	++	-
cBMP-7	-	++	-

Tabela 1. Charakterystyka niektórych materiałów wykorzystywanych jako przeszczepy w chirurgii kręgosłupa

Material	osteogenność	osteoindukcyjność	osteokondukcyjność
Kość autogenna	+	+	+
Kość allogenna	-	-/+	+
Odbiałczony xenograft	-	-	+
Szpik kostny	+	-/+	+
Zdemineralizowana macierz kostna	-	+	+
Kolagen	-	-	+
Przeszczepy ceramiczne	-	-	+
cBMP-2	-	++	-
cBMP-7	-	++	-

It should be borne in mind upon planning a vertebral revision surgery that any further surgical treatment will prove more difficult and bearing ever greater risk of complications. It is for this reason that, whenever necessary, the objective of the surgery should include decompression the structures of the nervous system and the recovery of compensated spine in the frontal and sagittal planes apart from synostosis alone.

SUMMARY

The incidence of vertebral nonunion after spinal fixation surgeries remains unknown owing to the frequent asymptomatic development of the condition and diagnostic difficulties. Among risk factors aggravating nonunion due to surgical treatment of the spine the most significant feature inappropriate surgical technique, smoking and the effect of some medicines (NSAIDs, corticosteroids, cytostatic drugs).

The diagnostic tools available to date fail to merit a definite diagnosis in 100% of cases.

The decision to apply surgical treatment of nonunion should be made according to the individual conditions pertinent to each patient and surgery method adjusted to the localization and etiology of the false joint.

Further progress in the understanding of biological and biomechanical mechanism behind the healing of the bone tissue along with novel biomaterials and the possibility to intervene in the course of synostosis development at the molecular level will warrant a decrease in the number of patients who require secondary surgery as a result of vertebral nonunion.

otaczająca go tkanka kostna. Na integrację materiału użytego do przeszczepu mają wpływ jego właściwości osteogenne, osteoindukcyjne i osteokondukcyjne (11). Charakterystykę wybranych materiałów stosowanych jako przeszczepy kostne w chirurgii kręgosłupa przedstawiono w tabeli 1. Jak dotychczas jedynie przeszczepy kostne autogenne wykazują wszystkie trzy z tak pożądanych dla każdego przeszczepu właściwości. Często zdarza się jednak, zwłaszcza przy operacjach rewizyjnych, że ilość materiału kostnego do przeszczepu jest niewystarczająca. W ostatnich latach dzięki postępom inżynierii materiałowej, biologii molekularnej i biotechnologii zaczęto wprowadzać do użytku klinicznego nowe biomateriały o właściwościach osteoindukcyjnych i osteokondukcyjnych. Szczególnie obiecujące są wyniki uzyskiwane przy zastosowaniu rekombinowanych białek morfogenetycznych rBMP-2 i rBMP-7 o silnych właściwościach osteoindukcyjnych (33,34,35,36)

Planując operację rewizyjną kręgosłupa należy pamiętać, że każda następna interwencja będzie trudniejsza i związana z większym ryzykiem powikłań. Dlatego w przypadkach, gdy jest to konieczne, oprócz uzyskania zrostu kostnego plan operacyjny powinien uwzględniać odbarczenie struktur nerwowych i odzyskanie skompensowanego kręgosłupa w płaszczyźnie czołowej i strzałkowej.

PODSUMOWANIE

Częstość występowania zaburzeń zrostu po operacjach usztywnienia kręgosłupa nie jest dokładnie znana ze względu na często bezobjawowy przebieg i trudności diagnostyczne.

Wśród wielu czynników ryzyka zaburzeń zrostu po leczeniu operacyjnym kręgosłupa najistotniejsze są błędy techniki operacyjnej, palenie papierosów i niektóre leki (NSAID, kortykosteroidy, cytostatyki).

Dostępne narzędzia diagnostyczne nie pozwalają na postawienie pewnego rozpoznania w 100% przypadków.

Decyzja o leczeniu operacyjnym w przypadku braku zrostu po operacji kręgosłupa powinna być indywidualizowana, a typ operacji dostosowany do lokalizacji i przyczyny stawu rzekomego.

Dalsze postępy w zrozumieniu biologii i biomechaniki gojenia się tkanki kostnej w połączeniu z nowymi biomateriałami i możliwością ingerencji w przebieg zrostu na poziomie molekularnym pozwolą w przyszłości zmniejszyć liczbę chorych wymagających reoperacji kręgosłupa z powodu braku zrostu.

References/Piśmiennictwo:

1. Lee C, Dorcil J, Radomisli TE. Nonunion of the spine: A review. *Clin Orthop* 2004; 419: 71-75
2. Raiszadeh R, Heggeness M, Esses SI. Thoracolumbar pseudoarthrosis. *Am J Orthop* 2000; 29: 513-520
3. Steinmann JC, Herkowitz HN. Pseudoarthrosis of the spine. *Clin Orthop* 1992; 284: 80-90
4. Conolloy ES, Seymour RJ, Adams JE. Clinical evaluation of anterior cervical fusion for degenerative cervical disc disease. *J Neurosurg* 1965; 23: 431-437
5. Emery SE, Bolesta MJ, Banks MA i wsp. Robinson anterior cervical fusion: Comparison of standard and modified techniques. *Spine* 1994; 19: 660-663
6. Emery SE, Fisher JR, Bohlman HH. Three level anterior cervical discectomy and fusion: Radiographic and clinical results. *Spine* 1997; 22: 2622-2624
7. Kowalski R.J, Ferrara L.A., Benzel E.C. *Neurosurg Focus* [periodyk online] 2001;10(4).URL:<http://www.aans.org/education/journal/neurosurgical/apr01/10-4-2.pdf>
8. Brodsky AE, Kovalsky ES, Khahil MA. Correlation of radiologic assesment of lumbar spine fusion with surgical exploration. *Spine* 1991; 16(suppl6): S261-S265
9. Dawson EG, Clader TJ, Basset LW. A comparison of different methods used to diagnose pseudoarthrosis following posterior spinal fusion for scoliosis. *J Bone Joint Surg* 1985; 67A: 1153-1159
10. Kim YJ, Bridwell KH, Lenke L, Rinella AS, Edward II Ch. Pseudoarthrosis in primary fusions for adult idiopathic scoliosis: Incidence, risk factors and outcome analysis. *Spine* 2005; 30(4): 468-474
11. Boden S.D. Overview of the biology of lumbar spine fusion and principles for selecting a bone graft substitute. *Spine* 2002; 27(165): S26-S31
12. Hadley MN, Reddy SR. Smoking and the human vertebral column: A review of the impact of cigarette use on vertebral bone metabolism and spinal fusion. *Neurosurgery* 1997; 116-124
13. Hadley MN, Reddy SR. Smoking, the spine and spinal fusion. W: Benzel EC, editor. *Spine surgery. Techniques complication avoidance and management*. I wyd. Filadelfia: Churchill Livingstone; 1999. str.917-926
14. Silcox H, Daftari T, Boden SD i wsp. The effect of nicotine on spinal fusion. *Spine* 1995; 20: 1549- 1553
15. Glassman SD, Anagnost SC, Parker A i wsp. The effect of cigarette smoking and smoking cessation on spinal fusion. *Spine* 2000; 25: 2608-2615
16. Brown CW, Orme TJ, Richardson HD. The rate of pseudoarthrosis (surgical nonunion) in patients who are smokers and patients who are nonsmokers: A comparison study. *Spine* 1986; 11: 942-943.
17. Long J, Lewis S, Kuklo T i wsp. The role of cyclooxygenase-2 inhibitors on spinal fusion. *J Bone Joint Surg* 2002; 84-A: 1763-1768
18. Glassman SD, Rose SM, Dimar JR i wsp. The effect of postoperative nonsteroidal anti-inflammatory drug administration on spinal fusion. *Spine* 1998; 23: 834-838
19. O'Keefe RJ, Tiyyatanaputi P, Xie C i wsp. COX-2 has a critical role during incorporation of structural bone allografts. *Ann NY Acad Sci* 2006; 1068(1): 532-542
20. Sawin PG, Dickman CA, Crawford NR i wsp. The effects of dexamethasone on bone fusion in an experimental model of posterolateral lumbar spinal arthrodesis. *J Neurosurg* 2001; 94: 76-81
21. Pilitis J.G, Lucas DR, Rengachary SR. Bone healing and spinal fusion. *Neurosurg Focus* [periodyk online] 2002;13(6). URL:<http://www.aans.org/education/journal/neurosurgical/dec02/13-6-1.pdf>
22. Pai VS, Hodgson B. Assessment of bony union following surgical stabilisation for lumbar spondylolysis: a comparative study between radiography and computed tomography. *J Orthop Surg* 2006; 14(1): 17-20
23. Blumenthal SL, Gill K. Can lumbar spine radiographs accurately determine fusion in postoperative patients? Correlation of routine radiographs with a second surgical look at lumbar fusions. *Spine* 1993; 18: 1186-1189
24. Cannada LK, Shering SC, Yoo JU i wsp. Pseudoarthrosis of the cervical spine: A comparison of radiographic diagnostic measures. *Spine* 2003; 28: 46-51
25. Tejano NA, Puno R, Ignacio JM. The use of implantable direct current stimulation in multilevel spinal fusion without instrumentation: A prospective clinical and radiographic evaluation with long-term follow-up. *Spine* 1996; 21:1904-1908
26. Mooney V. A randomized double-blind prospective study of the efficacy of pulsed electromagnetic fields for interbody lumbar fusions. *Spine* 1990; 15: 708-712
27. Linovitz RJ, Pathria M, Bernhardt M i wsp. Combined magnetic fields accelerate and increase spine fusion: A double blind, randomized, placebo controlled study. *Spine* 2002; 27: 13831389
28. Goodwin CB, Brighton CT, Guyer RD i wsp. A double blind study of capacitively coupled electrical stimulation as an adjunct to lumbar spinal fusions. *Spine* 1999; 24: 1349-1357
29. Lauerma WC, Bradford DS, Transfeldt EE i wsp. Management of pseudoarthrosis of the spine for idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg* 1991; 73-A: 222-236
30. Lorenz M, Zindrick M, Schwaegler P i wsp. A comparison of single-level fusions with and without hardware. *Spine* 1991; 16(s8): S455-S458
31. West JL III, Bradford DS, Ogilvie JW. Results of spinal arthrodesis with pedicle screw-plate fixation. *J Bone Joint Surg* 1991; 73-A: 1179-1184
32. Brodsky AE, Khalil MA, Sassard WR. Repair of symptomatic pseudoarthrosis of anterior cervical fusion: Posterior versus anterior repair. *Spine* 1992; 10: 1137-1143
33. Boden Sd, Zdeblick TA, Sandhu HS, Heim SE. The use of rhBMP-2 in interbody fusion cages: Definitive evidence of osteoconduction in humans: A preliminary report. *Spine* 2000; 25: 376-381
34. Boden SD, Kang J, Sandhu H, Heller JG. Use of recombinant human bone morphogenetic protein-2 to achieve posterolateral lumbar spine fusion in humans: A prospective, randomized clinical pilot trial. 2002 Volvo Award in clinical studies. *Spine* 2002; 27: 2662-2673
35. Vaccaro AR, Anderson DG, Toth CA. Recombinant human osteogenic protein-1 (bone morphogenetic protein-7) as an osteoinductive agent in spinal fusion. *Spine* 2002; 27: S59-S65
36. Sandhu HS, Khan SN. Recombinant human bone morphogenetic protein-2: Use in spinal fusion applications. *J Bone Joint Surg* 2003; 85-A(suppl3): 89-95