

PŮVODNÍ PRÁCE/ORIGINAL PAPER

Onemocnění přilehlého segmentu u stabilizací lumbální páteře a lumbosakrálního přechodu: systematický přehled

Adjacent Segment Disease in Lumbar Spine and Lumbosacral Junction Stabilisation: Systematic Review

JAN ZEMÁNEK, JAN ŠTULÍK, ZDENĚK KLÉZL

Klinika spondylochirurgie 1. lékařské fakulty Univerzity Karlovy a Fakultní nemocnice Motol a Homolka, Praha

Věnováno k výročí 70. narozenin prof. MUDr. Martina Krbce, CSc.

Korespondující autor:

MUDr. Jan Zemánek
Přemyslova 1125
253 03 Chýně

jan.zemaneck96@volny.cz

Zemánek J, Štulík J, Klézl Z. Onemocnění přilehlého segmentu u stabilizací lumbální páteře a lumbosakrálního přechodu: systematický přehled. Acta Chir Orthop Traumatol Cech. 2026;93:149–155.

ABSTRACT

Purpose of the study

This paper aims to analyse available scientific sources related to adjacent segment disease after the surgical stabilisation of lumbar spine. To be specific, to the incidence, risk factors, gender and age of patients, correlation between the length of the instrumentation and ASD development, and the effects of suboptimal sagittal spine stability.

Material and methods

A systematic review was elaborated in line with the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA 2020) guideline. A literature search in PubMed database was conducted in January 2025. The papers included in the systematic review were published between 2004 and 2023.

Results

The search brought about 1,014 results, of which 59 studies were shortlisted based on their title and abstract. Those 59 articles were subsequently thoroughly examined and unsuitable papers were

excluded. Yet another study meeting our criteria was identified through the analysis of cited references. A total of 17 papers that satisfied the predetermined criteria were selected. The number of patients included in the cohorts ranged from 117 to 3,799. The subjects were followed up for the period of at least 12 months up to 10 years postoperatively, the mean follow-up period reached 5.44 years. At the time of initial surgery, the age of the followed-up patients was 18 to 74 years, with a mean age of 56.67 years. The ASD incidence ranged from 0.74% to 30.3%. As concerns surgical therapy, 2.62%–27.4% of patients underwent surgery for adjacent segment disease. The most commonly referred to factor contributing to ASD development was the adjacent segment degeneration visible already preoperatively as well as iatrogenic damage to adjacent facets, high BMI, length of the fixation, sagittal balance, rheumatoid arthritis, or age. Osteoporosis, smoking, or diabetes mellitus, on the other hand, were not confirmed as risk factors.

Discussion

Currently, there is a large body of studies on ASD published over several decades. This fact further reinforces its high clinical significance and long-term interest of academia in spine surgery.

Conclusions

ASD is a common postoperative complication in instrumented lumbar and lumbosacral fusions. The most commonly cited risk factors were preoperative adjacent segment degeneration, followed by iatrogenic alterations on unfixed intervertebral joints, sagittal imbalance, and higher BMI of the patient. Some authors also refer to advanced age as a factor contributing to earlier development of adjacent segment degeneration. Different conclusions are stated with respect to the fixation length, with more frequent reference to higher incidence of ASD in longer-segment fixation. The outcomes of other studies, however, reveal that the frequency of ASD development is independent of the number of fixed segments. Moreover, in one case, protective effects of long-segment fixations were proven by the authors. No correlation between gender, smoking, diabetes mellitus or osteoporosis with adjacent segment disease development was confirmed. Although the incidence of ASD can be reduced by correct indication and surgical technique, we shall continue to encounter this condition in clinical practice.

Key words: lumbar spine, spinal fusion, adjacent segment disease, adjacent segment degeneration, clinical outcomes, systematic review, ASD.

ÚVOD

Onemocnění přilehlého segmentu (Adjacent Segment Disease – ASD) představuje závažnou diagnózu, pooperační komplikaci u velkého počtu instrumentovaných výkonů na páteři a může vést k opakovaným reoperacím nejčastěji v krční, nebo lumbální oblasti (21). Podstata ASD tkví ve fixaci a fúzi jednoho a více pohybových segmentů páteřním implantátem, instrumentací která vede ke zvýšení tlaku v přilehlých meziobratlových ploténkách a tím urychluje jejich degeneraci (24). Bylo prokázáno, že instrumentované lumbosakrální fúze zvyšují pohyblivost v nestabilizovaných přilehlých páteřních segmentech a tím urychlují vznik degenerace (12). Indikací k fúzi může být běžná degenerace páteře, spondylolistéza (27), zlomenina, spondylodiscitida, vrozená vada (skolióza, hemivertebra, kyfóza), nebo postižení nádorovým procesem. Změny v sousedním segmentu zahrnují výhřezy a snížení výšky meziobratlových plotének, artrózu meziobratlových kloubů, hypertrofii vazivových struktur a tvorbu osteofytů. Tyto patologické procesy, jednotlivě nebo v kombinaci, mohou vést ke zúžení (stenóze) páteřního kanálu nebo neuroforamin s následnou kompresí nervových kořenů, či samotné míchy. Roční incidence ASD se pohybuje v rozmezí 2–4 % (21) a velkou mírou přispívá k reoperacím páteře, většinou se jedná o dekompresní výkon s prodloužením již zavedené instrumentace o příslušný počet postižených segmentů.

Klinická manifestace onemocnění zahrnuje vertebrogenní algický syndrom (VAS), senzitivní poruchy typu parestezií, hypestezií a radikulárních iritací propagujícími se do dolních končetin až po rozvoj paraparézy nebo paraplegie s poruchami sfinkterů (3).

Důležité je upřesnění rozdílu mezi pojmy degenerace přilehlého segmentu (*dále jen rASD = radiographic adjacent segment degeneration*) a onemocnění přilehlého segmentu (*dále jen ASD = adjacent segment disease*). Když mluvíme o degeneraci, jedná se o nález čistě radiologický – tedy viditelný na zobrazovacích metodách, ale bez přítomnosti klinického nálezu. V případě onemocnění přilehlého segmentu je přítomný i odpovídající klinický nález často vedoucí k nutné reoperaci (8).

Cílem této práce je analyzovat dostupné odborné zdroje týkající se onemocnění přilehlého segmentu po chirurgické stabilizaci bederní páteře. Přesněji incidenci, rizikové faktory, pohlaví a věk pacientů, vztah délky fixace na vznik ASD a vliv suboptimální sagitální rovnováhy páteře.

MATERIÁL A METODIKA

Zpracovali jsme systematický přehled v souladu s metodickými doporučeními iniciativy Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA 2020). Vyhledávání článků probíhalo přes internetový portál PubMed.

Strategie vyhledávání

Pro vyhledání jednotlivých článků týkajících se tématu bylo použito následujícího algoritmu:

```
((adjacent segment disease[tiab]) OR adjacent segment degeneration[tiab]) AND ((lumbar[tiab]) OR lumbosacral[tiab]) AND (((fusion[tiab]) OR stabilization[tiab]) OR reposition[tiab]) OR PLIF[tiab]) OR posterior lumbar interbody fusion[tiab]
```

Selekční kritéria

Vyhledávání se účastnily tři nezávislé osoby (JZ, JŠ, ZK) v lednu 2025. Našimi hlavními požadavky bylo nejméně 100 vyšetřovaných subjektů v rámci jedné studie, užití transpedikulární fixace a kalkulace incidence vzniku ASD. Vyřazeny byly studie neobsahující námi sledovaná data, duplikáty, studie cizojazyčné bez originálního překladu, jiné systematické přehledy, či užití jiné operační techniky. Při selekci studií nedošlo mezi autory k žádným neshodám.

Extrakce dat a analýza

Pomocí aplikace Notebook LM byly vytvořeny anotace vybraných studií, které obsahovaly základní informace o autorech, studovaných pacientech (počet, věk, pohlaví), rizikových faktorech (BMI, délka fixace, osteoporóza, porucha sagitální rovnováhy), incidenci vzniku ASD, či době pooperačního sledování. Získaná data byla rozříděna a evidována v tabulkové aplikaci Microsoft Excel.

Minimalizace rizika bias

Dle výše uvedených kritérií jsme z vybraných studií extrahovali relevantní data. K minimalizaci rizika bias byly použity nástroje Cochrane Risk of Bias. Mezi autory nedošlo k žádným neshodám.

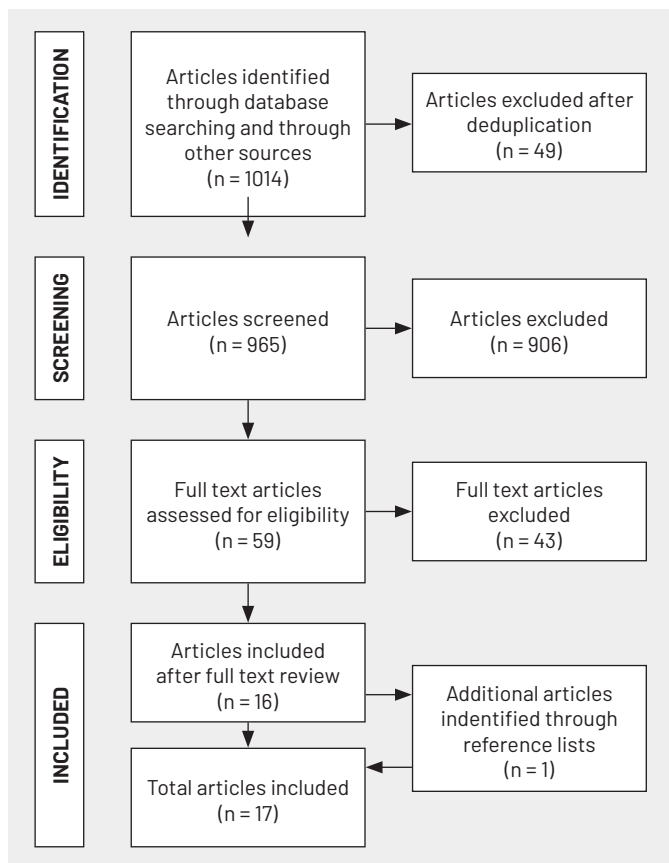
Etické schválení

Tato studie nevyžadovala schválení etické komise, neboť se jedná o analýzu již publikovaných článků.

VÝSLEDKY

Výsledky vyhledávání

Pomocí výše uvedeného algoritmu bylo nalezeno 1014 prací, ze kterých jsme vybrali 59 studií podle názvu a abstraktu. Vyřazeny byly duplikáty, či cizojazyčné články bez originálního překladu. Těchto 59 článků bylo poté podrobena detailnímu čtení s následným vyřazením nevyhovujících textů pro nedostatek testovaných subjektů, rozdílnou operační techniku



Obr. 1. Schéma PRISMA

Fig. 1. PRISMA scheme.

a nedostatek pro nás relevantních dat. Celkem jsme vybrali 16 prací, které odpovídaly námi předem stanoveným kritériím.

Po analýze citované literatury obsažené v těchto pracích byla nalezena jedna další studie vyhovující našim parametrům (obr. 1).

Charakteristika studií

V námi vybraných pracích byli sledováni pacienti v počtu od 117 do 3799 s délkou sledování od 1 do 10 let. Publikace vyšly v letech 2004–2023.

Výsledky studií

Mezi námi sledovaná kritéria patřila incidence, rizikové faktory, pohlaví a věk pacientů, vztah délky fixace na vznik ASD, a porušení fyziologické sagitální rovnováhy.

Incidence. Důležité je rozdělit incidenci vzniku ASD a procento pacientů indikovaných k operaci pro ASD. Incidence se pohybovala v rozmezí od 0,74 % (13) do 30,3 % (9) V případě operační terapie pro nemoc přilehlého segmentu podstoupilo zákrok 2,62 % (10) až 27,4 % (6) pacientů.

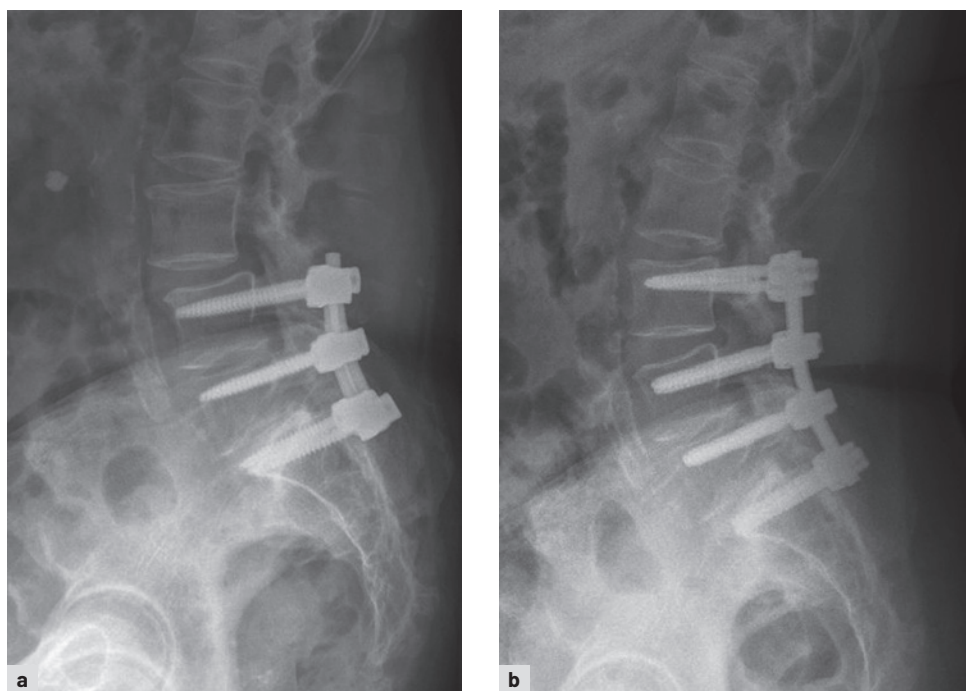
Rizikové faktory. Nejčastěji zmiňovaný faktor ovlivňující vznik ASD byla již předoperačně viditelná degenerace přilehlého segmentu na zobrazovacích metodách manifestovaná jako artróza meziobratlových kloubů, či vyklenutí meziobratlové ploténky (bulging) (2, 7, 10, 13, 14, 23, 26) Dalším, často zmiňovaným faktorem, bylo iatrogenní perioperační poranění přilehlých meziobratlových kloubů (2, 23) Důležitá je compliance pacienta, adekvátní BMI (Body Mass Index) patří také k důležitým faktorům při prevenci ASD (2, 13, 23, 26). Naopak vlivy osteoporózy, arteriální hypertenze, kouření či diabetu nebyly prokázány jako rizikové (2).

Pohlaví a věk. Pohlaví dle studovaných článků nehraje v roli onemocnění přilehlého segmentu žádnou roli (2, 4, 11, 15). Věk



Obr. 2a. Předoperační magnetická rezonance – sagitální řez.
Fig. 2a. Preoperative MRI scan – sagittal view.

Obr. 2b. Předoperační magnetická rezonance – axiální řez.
Fig. 2b. Preoperative MRI scan – axial view.



Obr. 3a. Předoperační rentgenový snímek.

Fig. 3a. Preoperative X-ray.

Obr. 3b. Pooperační rentgenový snímek.

Fig. 3b. Postoperative X-ray.

byl také zmíněn jako faktor neovlivňující rozvoj ASD (2, 4, 10, 15), v tomto názoru se však autoři rozcházejí.

Délka instrumentace. Existují různé názory v oblasti závislosti množství fúzovaných obratlů na vznik ASD. Většina autorů se shoduje v názoru, že delší fixace znamená rychlejší vznik degenerace v přilehlém segmentu. Výsledky poukazují na přenos mechanické zátěže z fixovaných segmentů na segmenty pohyblivé, tedy čím více stabilizovaných obratlů, tím větší koncentrace zátěže v sousedních mobilních segmentech. Nalézáme však i názor o nevýznamnosti délky fixace na vznik degenerativních změn. Ghiselli a kolektiv dokonce popisují protektivní efekt víceúrovňových fúzí, který je odůvodňován snížením počtu segmentů ohrožených degenerativními změnami (6).

Sagitální rovnováha. I když někteří autoři neshledali korelaci mezi porušenou sagitální rovnováhou a vznikem ASD (16, 23), v dalších studiích byl kladen důraz na zachování nebo zlepšení bederní lordózy, neboť její porušení vedlo k rychlejšímu rozvoji degenerace nad instrumentovaným páteřním segmentem (2, 5, 7). Kromě sagitální rovnováhy je třeba zmínit i frontální rovnováhu – skoliotické deformity, u kterých je riziko ASD vyšší (1).

DISKUSE

V současné době máme k dispozici velké množství studií publikovaných v průběhu několika desetiletí na téma ASD. Toto podtrhuje její vysokou klinickou závažnost a dlouhodobý zájem akademické obce v oblasti páteřní chirurgie.

Systematický přehled byl sepsán celkem z 16 článků vybraných z 1051 výsledků nalezených podle námi sepsaného algoritmu. Po analýze citované literatury obsažené v těchto pracích byla nalezena jedna další studie vyhovující našim parametrům. Studie musely obsahovat alespoň 100 sledovaných pacientů, procentuální výpočet incidence ASD a při operačním výkonu bylo nutností použití transpedikulární fixace.

Soubory pacientů čítaly 117 do 3799 záznamů. Subjekty byly sledovány minimálně 12 měsíců až 10 let po operaci, průměrná délka sledování byla 5,44 roku. Věk sledovaných pacientů při iniciační operaci se pohyboval mezi 18 až 74 roky a průměrně čítal 56,67 let.

Diagnóza je standardně stanovena kombinací zobrazovacích metod a klinického nálezu. Základní zobrazovací metodou je rtg daného úseku páteře vstoje a snímky dynamické, na kterých již můžeme rozeznat první známky ASD. Mezi nejčastější další vyšetření patří počítačová tomografie (CT), magnetická rezonance (MRI) či jednofotonová emisní tomografie (SPECT/CT)(22).

Literatura se neshoduje na závislosti věku a vzniku ASD. Část autorů nebere věk jako rizikový faktor (2, 4, 10, 15), naopak například Cheh a kolektiv udávají riziko ASD vyšší u pacientů starších 50 let ($p = 0,013$) – přesněji 35,6 %, oproti 17 % pacientů mladších 50 let (9). Tezi o korelaci vyššího věku a častějšího výskytu onemocnění přilehlého segmentu sdílí i Okuda a kolektiv, Heo a kolektiv a Lee a kolektiv (7, 11, 14).

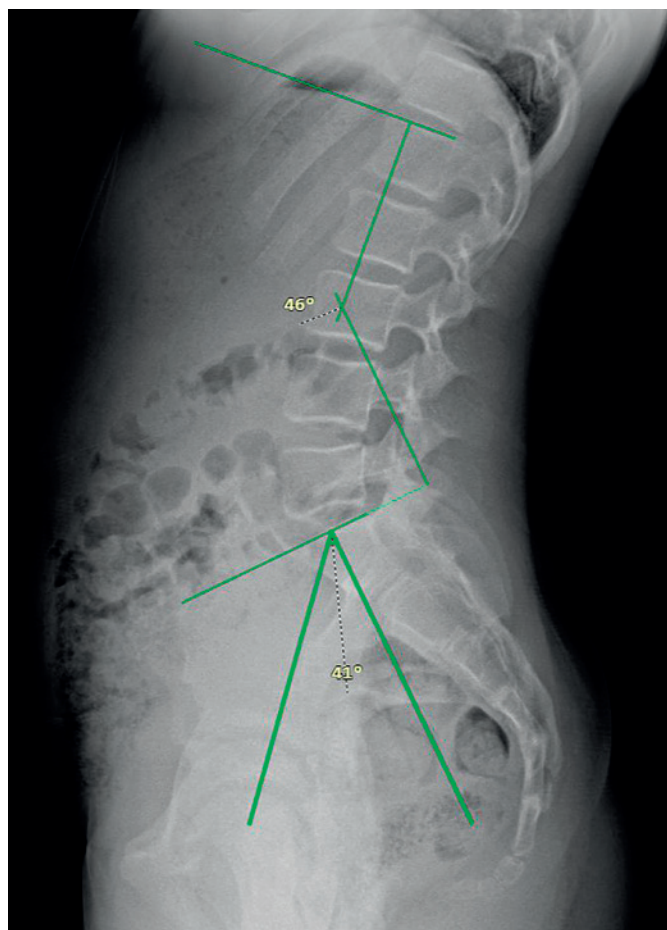
V otázce incidence jsme sledovali dvě různé hodnoty. První bylo procento vzniku ASD, které se pohybovalo v rozmezí

od 0,74 % (13) do 30,3 % (9), průměrně 10,37%. Důležitější údaj však představuje procento pacientů, u kterých byla nutná reoperace pro přítomnost konzervativně nezvladatelných klinických obtíží. Hodnota 2,62 % (10) až 27,4 % (6) prezentuje podíl nemocných reoperovaných pro ASD, v průměru 9,12%. Okuda a kolektiv se zabývají i problematikou sekundárního Adjacent Segment Disease v zastoupení 1,1% z celkového počtu operovaných pacientů. Terciální ASD představoval incidenci 0,4 % (14). Skokové až třicetiprocentní rozdíly mohou být odůvodněny jinou operační technikou, různou délkou sledování po operaci, či variabilitou indikačních kritérií k reoperaci. Klíčové výsledky podávají data o časovém odstupu mezi primární operací a následnou operační revizí, kdy první zmínky jsou už ve třetím měsíci po primárním výkonu. Průměrně pak čítá tento časový údaj 56,08 měsíce (4,37 roku).

Významným prediktorem vzniku ASD jsou různé rizikové faktory. Pravidelně zmiňovaná je hlavně předoperační degenerace ve smyslu snížené či vyhrželé meziobratlové ploténky, spondylartrózy (2, 7, 10, 13, 14, 23, 26), degenerativní spondylolistézy (4, 14, 18) a degenerativní skoliózy, u které je dokonce uvedena 100% míra reoperace (1). Tento údaj ovšem musíme interpretovat s opatrností, neboť ze souboru 117 pacientů se daná diagnóza vyskytovala pouze u dvou jedinců.

Zvýšit riziko může i sám operátor – narušením horních meziobratlových kloubů, které mohou být perioperačně poškozeny elektrokoagulací – protnutím kloubního pouzdra, či nešetřeným zaváděním transpedikulárních šroubů příliš mediálně. Dalším operátorem ovlivnitelným rizikovým faktorem je dodržení fyziologické sagitální rovnováhy páteře. Pro Bagheri a kolektiv a Heo a kolektiv je pooperačně zmenšená bederní lordóza negativně ovlivňující faktor pro přilehlé segmenty, vedoucí k brzkému nástupu degenerace nefixovaných obratlů a meziobratlových disků (2, 7). Flores-Milan a kolektiv porovnali pooperační lordózy u skupiny postižených ASD – 36,9° a skupiny bez ASD – 46,4° ($p < 0,001$). Další zkoumaný parametr představuje *pelvic tilt*, který byl vyšší u skupiny s rozvinutým ASD – 20,3° oproti skupině bez ASD – 16° ($p = 0,002$). Nakonec porovnal *PI-LL mismatch* (Pelvic Incidence – Lumbar Lordosis) u skupiny s ASD – 17,1° a skupiny bez ASD 5,28° ($p < 0,001$). Obecně tedy vypočítal vyšší riziko vzniku onemocnění přilehlého segmentu u pacientů s nižším stupněm lordózy a nesouladem lumbální lordózy s pánevní incidencí. *PI-LL mismatch* je v posledních letech stále častěji zmiňovaným rizikovým faktorem degenerativních změn na bederní páteři. Jedná se o rozdíl mezi pánevní incidencí a lumbální lordózou měřený ve stupních (obr. 4). Dle práce Schwab a kolektiv byl dán za uspokojivý pooperační nálezní $LL = PI \pm 9^\circ$ (19). Radiologická kohortová studie Teraguchi a kolektivu potvrzuje signifikantní korelaci mezi *PI-LL mismatch* a výskytem Modicových změn společně s degenerací meziobratlových plotének (20).

Délku fixace autoři označují jak za rizikovou, tak za bezvýznamnou, dokonce i s protektivním účinkem. Okuda a kolektiv



Obr. 4. Lumbální lordóza (LL = 46°), pánevní incidence (PI = 41°).

Fig. 4. Lumbar lordosis (LL = 46°), pelvic incidence (PI = 41°).

vyzkoumali zvýšenou incidenci ASD – 8,6 % u jednosegmentové fúze vs. 16,4 % u dvousegmentové fúze ($p = 0,049$) (14). Yang a kolektiv dospěli k výsledkům výskytu ASD 11,6 % u 1 fixovaného segmentu, 14,5 % u 2 segmentů a 16,3 % u ≥ 3 segmentů (25). Ramirez-Villaescu a kolektiv zjistili třikrát vyšší riziko onemocnění přilehlého segmentu vyžadující operační revizi u fúze tří nebo více segmentů ($p \leq 0,037$) (17). Dantas a kolektiv i Lee a kolektiv považovali délku fixace za nevýznamnou v této problematice (4, 11). Nakonec zmiňují výsledky Ghiselli a kolektivu, kteří popisují protektivní efekt víceúrovňových fúzí, který je odůvodněn snížením počtu segmentů ohrožených degenerativními změnami (6).

Bagheri a kolektiv přisuzují dřívější a častější rozvoj onemocnění přilehlého segmentu vyšší hmotnosti pacienta. Skupina s manifestovaným ASD měla BMI v průměru 27,86 kg/m², oproti skupině bez klinických příznaků s BMI 23,15 kg/m² (2). S touto teorií souhlasí i další autoři (13, 23, 26), naopak jiné studie neudávají souvislost BMI s výskytem ASD (15).

Revmatoidní artritida zmíněná v práci Parka a kolektivu představuje 4,5krát vyšší riziko ASD než pacienti bez RA

($p < 0,001$). Predikované riziko bylo vypočteno jako 34,3% po 7 letech (15).

ZÁVĚR

ASD je častou pooperační komplikací u instrumentovaných spondylodéz bederní páteře a lumbosakrálního přechodu. Jako nejčastější rizikový faktor je zmiňována předoperační degenerace přilehlého segmentu, následována iatrogenním porušením nefixovaných meziobratlových kloubů, nedodržením sagitální

rovnováhy a vyšším BMI pacienta. Někteří autoři zmiňují i závislost vyššího věku na dřívější vznik přilehlé degenerace. V případech délky fixace jsou uváděny různé závěry, více je skloňován častější výskyt ASD u delších fixací. Výsledky jiných studií však ukazují na nezávislost frekvence vzniku ASD na počtu fixovaných segmentů, dokonce v jednom případě autoři prokázali protektivní účinek dlouhé fixace. U pohlaví, kouření, diabetu mellitu nebo osteoporózy nebyla prokázána spojitost se vznikem nemoci přilehlého segmentu. Správnou indikací a operační technikou lze výskyt ASD omezit, i tak se ale v klinické praxi budeme s touto nosologickou jednotkou dále setkávat. ■

Literatura

- Aiki H, Ohwada O, Kobayashi H, Hayakawa M, Kawaguchi S, Takebayashi T, Yamashita T. Adjacent segment stenosis after lumbar fusion requiring second operation. *J Orthop Sci.* 2005;10:490-495.
- Bagheri SR, Alimohammadi E, Zamani Froushani A, Abdi A. Adjacent segment disease after posterior lumbar instrumentation surgery for degenerative disease: Incidence and risk factors. *J Orthop Surg (Hong Kong).* 2019;27:2309499019842378.
- Bredow J, Lohrer L, Oppermann J, Scheyerer MJ, Sobottke R, Eysel P, Siewe J. Pathoanatomic risk factors for instability and adjacent segment disease in lumbar spine: how to use topping off? *Biomed Res Int.* 2017;2017:2964529.
- Dantas FL, Dantas F, Caires AC, Cariri GA, Fonseca Filho GA, Botelho RV. Adjacent segment degeneration after posterolateral lumbar fusion: results and complications of posterior revision surgery. *J Neurosurg Sci.* 2023;67:446-453.
- Flores-Milan G, Cuello CC, Pressman E, Marek J, Krafft PR, McBride P, Gassie K, Hayman E, Alikhani P. Risk factors for adjacent segment disease in short segment lumbar interbody fusion—a case series. *Oper Neurosurg.* 2023;25:136-141.
- Ghiselli G, Wang JC, Bhatia NN, Hsu WK, Dawson EG. Adjacent segment degeneration in the lumbar spine. *J Bone Joint Surg Am.* 2004;86:1497-1503.
- Heo Y, Park JH, Seong HY, Lee YS, Jeon SR, Rhim SC, Roh SW. Symptomatic adjacent segment degeneration at the L3-4 level after fusion surgery at the L4-5 level: evaluation of the risk factors and 10-year incidence. *Eur Spine J.* 2015;24:2474-2480.
- Hilibrand AS, Robbins M. Adjacent segment degeneration and adjacent segment disease: the consequences of spinal fusion? *Spine J.* 2004;4(6 Suppl):190S-194S.
- Cheh G, Bridwell KH, Lenke LG, Buchowski JM, Daubs MD, Kim Y, Baldus C. Adjacent segment disease following lumbar/thoracolumbar fusion with pedicle screw instrumentation: a minimum 5-year follow-up. *Spine (Phila Pa 1976).* 2007;32:2253-2257.
- Lee CK, Langrana NA. Lumbosacral spinal fusion. A biomechanical study. *Spine (Phila Pa 1976).* 1984;9:574-581.
- Lee CS, Hwang CJ, Lee SW, Ahn YJ, Kim YT, Lee DH, Lee MY. Risk factors for adjacent segment disease after lumbar fusion. *Eur Spine J.* 2009;18:1637-1643.
- Lee JC, Kim Y, Soh JW, Shin BJ. Risk factors of adjacent segment disease requiring surgery after lumbar spinal fusion: comparison of posterior lumbar interbody fusion and posterolateral fusion. *Spine (Phila Pa 1976).* 2014;39:E339-345.
- Liang J, Dong Y, Zhao H. Risk factors for predicting symptomatic adjacent segment degeneration requiring surgery in patients after posterior lumbar fusion. *J Orthop Surg Res.* 2014;9:97.
- Okuda S, Yamashita T, Matsumoto T, Nagamoto Y, Sugiura T, Takahashi Y, Maeno T, Iwasaki M. Adjacent segment disease after posterior lumbar interbody fusion: a case series of 1000 patients. *Global Spine J.* 2018;8:722-727.
- Park JS, Shim KD, Song YS, Park YS. Risk factor analysis of adjacent segment disease requiring surgery after short lumbar fusion: the influence of rheumatoid arthritis. *Spine J.* 2018;18:1578-1583.
- Pellise F, Hernandez A, Vidal X, Minguell J, Martinez C, Villanueva C. Radiologic assessment of all unfused lumbar segments 7.5 years after instrumented posterior spinal fusion. *Spine (Phila Pa 1976).* 2007;32:574-579.
- Ramirez-Villaescusa J, Lopez-Torres Hidalgo J, Martin-Benlloch A, Ruiz-Picazo D, Gomar-Sancho F. Risk factors related to adjacent segment degeneration: retrospective observational cohort study and survivorship analysis of adjacent unfused segments. *Br J Neurosurg.* 2019;33:17-24.
- Scemama C, Magrino B, Gillet P, Guigui P. Risk of adjacent-segment disease requiring surgery after short lumbar fusion: results of the French Spine Surgery Society Series. *J Neurosurg Spine.* 2016;25:46-51.
- Schwab F, Patel A, Ungar B, Farcy JP, Lafage V. Adult spinal deformity-postoperative standing imbalance: how much can you tolerate? An overview of key parameters in assessing alignment and planning corrective surgery. *Spine (Phila Pa 1976).* 2010;35:2224-2231.

20. Teraguchi M, Hashizume H, Asai Y, Oka H, Nagata K, Ishimoto Y, Iwasaki H, Tsutsui S, Takami M, Tanaka S, Yoshida M, Yoshimura N, Yamada H. Association between modic changes, disc degeneration, and pelvic incidence-lumbar lordosis mismatch in a large population based cohort: the Wakayama spine study. *Eur Spine J.* 2023. doi: 10.1007/s00586-023-07702-8. Epub ahead of print.
21. Tobert DG, Antoci V, Patel SP, Saadat E, Bono CM. Adjacent segment disease in the cervical and lumbar spine. *Clin Spine Surg.* 2017;30:94-101.
22. Varga M, Kantorova L, Langafova A, Stulik J, Lancova L, Srikandara-jah N, Kaiser R. Role of single-photon emission computed tomography imaging in the diagnosis and treatment of chronic neck or back pain caused by spinal degeneration: a systematic review. *World Neurosurg.* 2023;173:65-78.
23. Wang H, Ma L, Yang D, Wang T, Liu S, Yang S, Ding W. Incidence and risk factors of adjacent segment disease following posterior decompression and instrumented fusion for degenerative lumbar disorders. *Medicine (Baltimore).* 2017;96:e6032.
24. Weinhoffer SL, Guyer RD, Herbert M, Griffith SL. Intradiscal pressure measurements above an instrumented fusion. A cadaveric study. *Spine (Phila Pa 1976).* 1995;20:526-531.
25. Yang JY, Lee JK, Song HS. The impact of adjacent segment degeneration on the clinical outcome after lumbar spinal fusion. *Spine (Phila Pa 1976).* 2008;33:503-507.
26. Yuan C, Zhou J, Wang L, Deng Z. Adjacent segment disease after minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion for degenerative lumbar diseases: incidence and risk factors. *BMC Musculoskelet Disord.* 2022;23:982.
27. Zencica P, Chaloupka R, Hladikova J, Krbec M. [Adjacent segment degeneration after lumbosacral fusion in spondylolisthesis: a retrospective radiological and clinical analysis]. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2010;77:124-130.