

PŮVODNÍ PRÁCE/ORIGINAL PAPER

Perkutánní stabilizace thorakolumbální páteře: indikace, limity a analýza souboru

Percutaneous Stabilization of the Thoracolumbar Spine: Indications, Limitations and Cohort Analysis

JAKUB JEŽEK, JAN ŠVEC, MARTIN KAPOUNEK, JIŘÍ SKÁLA-ROSENBAUM

Ortopedicko-traumatologická klinika 3. lékařské fakulty Univerzity Karlovy a Fakultní nemocnice Královské Vinohrady, Praha

Věnováno k výročí 70. narození prof. MUDr. Martina Krčce, CSc.

Korespondující autor:

MUDr. Jakub Ježek, Ph.D.
Ortopedicko-traumatologická klinika
3. lékařské fakulty Univerzity Karlovy
a Fakultní nemocnice Královské Vinohrady
Šrobárova 50
100 00 Praha 10
jakub.jezek@fnkv.cz

Ježek J, Švec J, Kapounek M, Skála–Rosenbaum J. Perkutánní stabilizace thorakolumbální páteře: indikace, limity a analýza souboru. Acta Chir Orthop Traumatol Cech. 2026;93:156–161.

ABSTRAKT

Purpose of the study

Percutaneous stabilization of the thoracolumbar spine represents a minimally invasive alternative to open posterior fixation. The aim of this study was to evaluate the indications, perioperative parameters, and limitations of this method in a single-center patient cohort.

Material and methods

A retrospective analysis of 65 consecutive patients treated with percutaneous transpedicular stabilization of the thoracolumbar spine between 2021 and 2025 was performed. All procedures were carried out using an intraoperative CT-based navigation system (O-arm). Demographic data, primary diagnosis, extent of instrumentation, additional procedures, operative time, blood loss,

length of hospital stay, and complications were evaluated.

Results

The most common indication was trauma (75.4%), followed by metastatic disease (13.8%), and infection (10.8%). Placement of 8 screws was used most commonly (78.5%). The mean operative time was 104 minutes, and the mean blood loss was 141ml. When patients who underwent decompression were excluded, the mean blood loss decreased to 112ml (14ml per screw). The mean length of hospital stay was 11.4 days and dropped to 6.7 days after excluding patients with concomitant factors. No pedicle screw malposition was observed. Revision surgery was required in 7 patients.

Discussion

Percutaneous stabilization is associated with low blood loss and favourable postoperative outcomes. A more detailed analysis suggests that the

percutaneous instrumentation itself is a low-blood-loss procedure, while overall perioperative parameters are significantly influenced by the scope of combined surgical procedures. Proper patient selection remains crucial.

Conclusions

Percutaneous stabilization is an effective and less invasive method, particularly suitable for patients in whom deformity correction or posterior fusion is not required. The greatest benefit is observed in polymorbid, polytraumatized and oncological patients, where minimizing surgical burden is essential. Appropriate indication and awareness of the method's limitations are key to achieving optimal outcomes.

Key words: percutaneous spine stabilization, thoracolumbar spine, pedicle screw fixation, intraoperative navigation, minimally invasive surgery, spondylodiscitis, metastatic spine disease.

ÚVOD

Poranění a další patologické stavy thorakolumbální páteře představují častou indikaci k chirurgické stabilizaci páteře. Cílem operační léčby je obnovení stability páteře, umožnění časně mobilizace pacienta a prevence neurologických komplikací. Standardním postupem byla dlouhou dobu otevřená zadní

stabilizace pomocí transpedikulárních šroubů. V posledních dvou desetiletích se však stále více prosazují miniinvasivní techniky umožňující perkutánní zavedení pedikulárních šroubů. Tyto postupy byly popsány především v léčbě poranění thorakolumbální páteře a jejich výsledky byly porovnávány s klasickými otevřenými operačními technikami (13, 14, 20).

Perkutánní stabilizace páteře je spojena s řadou potenciálních výhod vyplývajících z miniinvazivního operačního přístupu, zejména nižší krevní ztrátou, menší pooperační bolestí a kratší dobou hospitalizace ve srovnání s otevřenou stabilizací (10, 13, 14). Další výhodou je menší poškození paravertebrálních svalů (16, 17).

Tyto výhody činí perkutánní stabilizaci zvláště vhodnou v situacích, kdy není nutná výraznější repozice deformity ani provedení posterolaterální fúze. Metoda je proto často využívána například jako zadní stabilizační výkon před plánovanou přední rekonstrukcí páteře. V klinické praxi je velmi vhodná u skupiny pacientů, u nichž je žádoucí minimalizace operační zátěže, zejména u polytraumatizovaných nemocných, polymorbidních a starších pacientů, ale také u některých infekčních nebo metastatických postižení páteře, například u spondylodiscitid nebo metastatických lézí.

Přes uvedené výhody má perkutánní stabilizace také svá omezení. Technika je obecně považována za technicky náročnější a její zavedení je spojeno s určitou učební křivkou. V některých situacích může být operační čas delší, zejména v počáteční fázi zavádění metody (20). Dalším diskutovaným aspektem je radiační zátěž při peroperační fluoroskopii a riziko malpozice šroubů při zavádění bez navigace (8, 22). V posledních letech se proto kombinuje miniinvazivní zavádění TP šroubů s peroperačním CT a navigací (2, 22). Indikaci perkutánní stabilizace je proto nutné pečlivě zvažovat podle druhu patologie, očekávaného přínosu operace a celkového stavu pacienta.

MATERIÁL A METODIKA

Do retrospektivní studie bylo zařazeno 65 pacientů, u nichž byla v letech 2021–2025 provedena perkutánní zadní stabilizace thorakolumbální páteře s využitím peroperační CT navigace (O-arm).

Indikací k operaci byly především nestabilní zlomeniny thorakolumbální páteře, dále nádorová (převážně metastatická) postižení páteře a infekční onemocnění páteře. Při indikaci u zlomenin byl kladen důraz na přesnou klasifikaci poranění. Byly indikovány zlomeniny typu A bez nutnosti větší repozice, dále zlomeniny typ B1 a B3 s převážně kostěnou lézí. Zlomeniny typu B2 jen výjimečně (polytrauma, popáleniny a polymorbidní pacienti, kontraindikování k otevřenému výkonu). V případech nejasného charakteru zlomeniny mezi typem A a B jsme prováděli MRI. V osmnácti případech byla perkutánní stabilizace použita jako součást kombinovaného operačního postupu – jako zadní stabilizační výkon před plánovanou přední rekonstrukcí páteře (8 pacientů) nebo v kombinaci s dekompresí páteřního kanálu (10 pacientů). Vyloučeni byli pacienti s patologií primárně nevhodnou k perkutánní stabilizaci.

Všechny operace byly prováděny pomocí perkutánní transpedikulární instrumentace s využitím systému Creo MIS (Globus Medical). Zavádění pedikulárních šroubů bylo ve všech

případech provedeno za použití intraoperačního CT systému O-arm (Medtronic) s 3D navigací. Operace byly prováděny dvěma zkušenými operátory na jednom pracovišti.

U všech pacientů byly hodnoceny základní demografické údaje, charakter základního onemocnění, lokalizace postižení (etáž), u traumat klasifikace podle AO, dále rozsah stabilizace a počet implantovaných šroubů a typ případných doplňujících výkonů. Dále byly analyzovány vybrané perioperační parametry, zejména délka operace, peroperační krevní ztráta (celková i vztažená na jeden stabilizovaný segment), malpozice šroubu (rtg) a pooperační průběh (délka hospitalizace a výskyt komplikací). Doba sledování byla minimálně ½ roku.

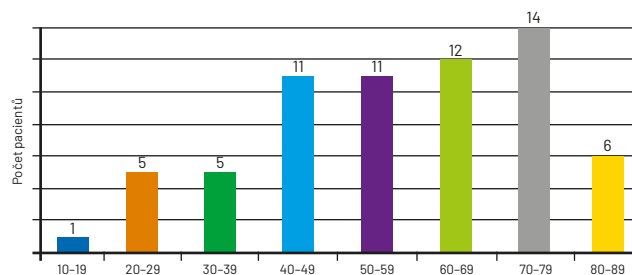
Získaná data byla zpracována deskriptivní statistickou analýzou. Studie byla provedena v souladu s etickými standardy pracoviště a Helsinskou deklarací; vzhledem k retrospektivnímu charakteru studie nebyl vyžadován informovaný souhlas pacientů.

VÝSLEDKY

Do souboru bylo zařazeno celkem 65 pacientů, z toho 37 mužů a 28 žen. Věk pacientů se pohyboval v rozmezí 18–88 let, průměrný věk činil 58,9 let, medián věku byl 59 let. Bližší demografické údaje ukazuje tab. 1. Věkové rozložení dle dekád je patrné v grafu 1.

Tab. 1. Základní charakteristika souboru
Table 1. Basic characteristics of the cohort

PARAMETR	HODNOTA
Počet pacientů	65
Muži / ženy	37 / 28
Věk (roky) – průměr	58,9
Věk (roky) – medián	59
Věk (roky) – rozmezí	18–88
Lokalizace – Th	46 (70,8 %)
Lokalizace – ThL	17 (26,2 %)
Lokalizace – LS	2 (3,0 %)



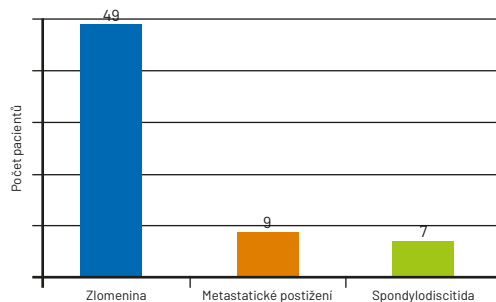
Graf 1. Rozložení pacientů podle věkových dekád.

Chart 1. Age distribution of patients

Tab. 2. Závažné komorbidity

Table 2. Serious comorbidities

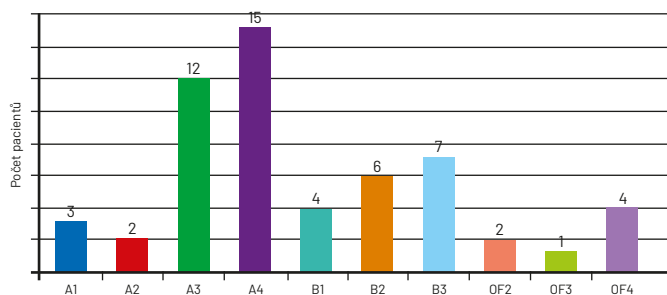
STAV	POČET	%
Polytrauma a sdružená poranění	18	27,7%
Polymorbidita / obezita	9	13,8%
Generalizace tumoru	7	10,8%
Celkem (alespoň jeden faktor)	34	52,3%



Graf 2. Základní diagnózy.

Chart 2. Basic diagnoses.

Z hlediska základní diagnózy převažovala traumatická etiologie u 49 pacientů (75,4 %). Metastatické postižení páteře bylo indikací k operaci u 9 pacientů (13,8 %) a infekční etiologie, zejména spondylodiscitida, byla zastoupena u 7 pacientů (10,8 %)(graf 2).



Graf 3. Klasifikace zlomenin.

Chart 3. Classification of fractures.

Tab. 3. Operační parametry podle rozsahu instrumentace

Table 3. Parameters of surgery by extent of instrumentation

POČET ŠROUBŮ	POČET PACIENTŮ	ČAS (MIN) PRŮMĚR	KREVŇÍ ZTRÁTA (ML) PRŮMĚR	ČAS / ŠROUB (MIN)	ML / ŠROUB
8	51	109	154	13,6	19,2
6	7	104	101	17,3	16,8
4	7	69	79	17,3	19,8

U pacientů s traumatickým postižením byla zlomenina klasifikována podle AO klasifikace. Nejčastěji byly zastoupeny typy A3 a A4, dále typy B1–B3. Osteoporotické zlomeniny byly zastoupeny v menší míře a byly klasifikovány dle OF klasifikace (OF2–OF4)(graf 3).

Celkem u 34 pacientů (52,3 %) byla zaznamenána přítomnost závažného komorbidního stavu. Z toho polytrauma a sdružená poranění byla přítomna u 18 pacientů (27,7 %), polymorbidita či obezita u 9 pacientů (13,8 %) a generalizované nádorové onemocnění u 7 pacientů (10,8 %)(tab. 2).

Součástí operačního výkonu byla ve vybraných případech kombinace s dalšími chirurgickými postupy. Přední výkon byl proveden u 8 pacientů (12,3 %), nejčastěji v indikaci spondylodiscitidy (n = 6) a dále u stavů po zlomenině (n = 2). Dekomprese páteřního kanálu byla provedena u 10 pacientů (15,4 %), nejčastěji pro metastatické postižení páteře (n = 7), dále u stavů po zlomenině (n = 1) a u spondylodiscitidy (n = 2).

Celkový průměrný operační čas v souboru činil 104 minut (medián 100 minut). Průměrná peroperační krevní ztráta byla 141 ml (medián 100 ml).

Po přepočtu na jeden implantovaný šroub činil průměrný operační čas přibližně 13,6 minuty na šroub a průměrná krevní ztráta 17,8 ml na šroub. Po vyloučení pacientů, u nichž byla součástí výkonu dekomprese páteřního kanálu, klesla průměrná peroperační krevní ztráta na 112 ml, resp. 14 ml na jeden implantovaný šroub.

Při rozdělení podle rozsahu instrumentace bylo nejčastěji použito zavedení 8 šroubů (n = 51; 78,5 %), u menší části pacientů 6 šroubů (n = 7; 10,8 %) a 4 šroubů (n = 7; 10,8 %). Absolutní délka operace se s rostoucím rozsahem stabilizace přiměřeně zvyšovala, nicméně při přepočtu na jeden implantovaný šroub byl operační čas u výkonů s 8 šrouby (13,6 min/šroub) nižší než u výkonů s menším počtem šroubů (cca 17 min/šroub)(tab. 3).

S rostoucím počtem implantovaných šroubů narůstala absolutní krevní ztráta, avšak po přepočtu na jeden šroub zůstávaly hodnoty relativně konstantní.

V souboru nebyla zaznamenána žádná malpozice pedikulárních šroubů.

Z celkového souboru bylo 7 pacientů hospitalizováno pouze za účelem provedení operačního výkonu, typicky v rámci překlady z jiných pracovišť (KAR, popáleninové centrum). Během hospitalizace došlo ke 2 úmrtím, obě u pacientů s metastatickým onemocněním. Zbývajících 56 pacientů bylo propuštěno, z toho 31 do domácí péče a 25 k další hospitalizaci nebo následné rehabilitační péči.

Délka hospitalizace byla hodnocena u těchto 56 pacientů, u nichž proběhla kompletní pooperační péče na našem pracovišti. Průměrná délka hospitalizace činila 11,4 dne.

Po vyloučení pacientů s polytraumatem, dalšími operačními výkony (včetně předních výkonů po perkutánní stabilizaci) a pacientů, u nichž byla délka hospitalizace prodloužena z důvodů nesouvisejících s provedenou perkutánní stabilizací páteře, byla analyzována podskupina 40 pacientů. V této skupině činila průměrná délka hospitalizace 6,7 dne.

Komplikace související s výkonem vyžadující operační revizi se vyskytly celkem u sedmi pacientů (10,8 %). U pěti pacientů (7,7 %) byla pro dehiscenci jedné z ran indikována revize a resutura, ve všech případech s následným zhojením.

U dvou pacientů (3,1 %) došlo s odstupem ke vzniku proximální junkční kyfózy (PJK), která si vyžádala reoperaci otevřeným přístupem, v jednom případě opakovaně. Druhý z těchto pacientů, polymorbidní, byl dále komplikován infekcí a následně zemřel.

U dvou mladých pacientů (3,1 %) byly pozorovány nepřiměřené pooperační bolesti s nutností podávání opioidů, manifestující se 3–4 dny po operaci.

U jednoho pacienta došlo k rozvoji pleurálního empyému v rámci spondylodiscitidy, který si vyžádal přeložení na plicní chirurgii a drenáž; tento stav nebyl hodnocen jako komplikace vlastní perkutánní stabilizace.

DISKUSE

Perkutánní stabilizace thorakolumbální páteře představuje v současnosti etablovanou miniinvazivní metodu, jejíž indikace se postupně rozšiřují. Původně byla metoda využívána především u traumatických lézí, kde byla opakovaně prokázána srovnatelná stabilita při nižší operační zátěži ve srovnání s otevřenými technikami (13, 14, 20).

V našem souboru byla perkutánní stabilizace indikována nejen u traumat, ale také u metastatických a infekčních onemocnění páteře. Tento trend odpovídá současné literatuře, která popisuje využití miniinvazivní stabilizace zejména u spondylodiscitidy a metastatického postižení páteře, kde je prioritou rychlá stabilizace při minimální chirurgické zátěži (6, 10). V těchto indikacích může perkutánní stabilizace sloužit jako součást kombinovaného léčebného postupu, často s návazností předního rekonstrukčního výkonu nebo systémové léčby.

Zásadním limitem perkutánní stabilizace zůstává nemožnost přímé reposition deformity a provedení posterolaterální fúze. Z tohoto důvodu je metoda vhodná především v situacích, kdy je cílem jen stabilizace páteře a časná mobilizace pacienta bez rekonstrukce deformity či provedení zadní fúze. V našem souboru byla metoda často využita u polymorbidních a polytraumatizovaných pacientů, kde minimalizace operační zátěže představuje zásadní benefit. Naopak u pacientů

s výraznou deformitou, nutností rozsáhlé dekomprese nebo potřebou rekonstrukčního výkonu zůstává metodou volby otevřený přístup.

Z hlediska perioperačních parametrů odpovídají naše výsledky údajům publikovaným v literatuře. Průměrná krevní ztráta v našem souboru byla nízká, což je v souladu s metaanalýzami, které opakovaně prokazují nižší krevní ztráty u perkutánních technik ve srovnání s otevřenými výkony (13, 14, 20). Při detailnější analýze jsme však zjistili, že hodnoty krevní ztráty jsou významně ovlivněny přítomností dekomprese páteřního kanálu. Po vyloučení těchto pacientů činila průměrná krevní ztráta pouze 112 ml, resp. 14 ml na jeden implantovaný šroub, což lépe odráží skutečnou ztrátu spojenou s perkutánní instrumentací a potvrzuje její miniinvazivní charakter (9, 18).

Podobně i operační čas byl srovnatelný s publikovanými daty. Zajímavým nálezem v našem souboru bylo, že při přepočtu na jeden implantovaný šroub byl operační čas nižší u výkonů s vyšším počtem šroubů. Tento náleznaznačuje, že vlastní zavádění pedikulárního šroubu představuje pouze menší část celkového operačního času a že časová efektivita výkonu roste s počtem implantovaných šroubů zavedených v rámci jednoho peroperačního CT skenu.

Délka hospitalizace představuje důležitý ukazatel klinického přínosu miniinvazivních technik. V našem souboru činila průměrná délka hospitalizace 11,4 dne, avšak po vyloučení pacientů s polytraumatem, kombinovanými výkony a přidruženými stavy nesouvisejícími s vlastním výkonem klesla na 6,7 dne. Tento rozdíl ukazuje významný vliv celkového stavu pacienta na délku hospitalizace a zároveň odráží reálný přínos miniinvazivní stabilizace. Podobné trendy jsou popisovány i v literatuře, kde je miniinvazivní přístup spojován s kratší dobou hospitalizace a rychlejší mobilizací pacientů (13, 18).

Významným zjištěním našeho souboru je absence malpozice pedikulárních šroubů. Tento výsledek lze přičíst použití peroperační navigace na základě intraoperačního CT, která dle literatury významně zvyšuje přesnost zavedení implantátů (1, 2, 8, 15, 19, 21, 22). Využití navigace zároveň může přispět ke snížení radiační zátěže pro operátora (7), i když celková radiační zátěž zůstává diskutovaným tématem (3). V posledních letech se rozvíjí také roboticky asistovaná navigace, která může dále zvýšit přesnost zavedení implantátů a snížit peroperační zátěž (11, 12).

Výskyt komplikací v našem souboru byl nízký a odpovídá údajům publikovaným v literatuře (5, 20). Miniinvazivní přístupy jsou obecně spojovány s nižším výskytem komplikací měkkých tkání a infekcí ve srovnání s otevřenými výkony (4, 20). Nejčastější komplikací v našem souboru byla dehiscence rány vyžadující resuturu, zatímco závažnější komplikace byly vzácné. Zaznamenané případy proximální junkční kyfózy (PJK) poukazují na známé riziko této komplikace, zejména u polymorbidních pacientů nebo u dlouhých instrumentací (23). U pacientů s metastatickým postižením páteře je navíc nutné

zohlednit celkový stav nemocného, který významně ovlivňuje riziko komplikací i celkový výsledek léčby.

Limitací naší studie je její retrospektivní charakter a heterogenita sledovaného souboru, který zahrnuje pacienty s různými diagnózami. Na druhou stranu tato heterogenita odráží reálnou klinickou praxi a umožňuje posoudit využitelnost perkutánní stabilizace v širším spektru indikací.

Naše výsledky potvrzují, že perkutánní stabilizace thorakolumbální páteře je bezpečná a efektivní metoda s příznivými perioperačními parametry. Klíčovým faktorem jejího úspěšného využití zůstává správná indikace, zejména s ohledem na charakter patologie a terapeutický cíl. Největší přínos této metody se ukazuje u pacientů, u nichž je prioritou stabilizace páteře při minimalizaci operační zátěže, zatímco u výkonů vyžadujících rekonstrukci deformity, zadní fúzi či rozsáhlejší dekompresi zůstává otevřený přístup nadále metodou volby. Metoda má významný přínos také u geriatrických pacientů s ankylozující spondylitidou nebo DISH, u nichž není nutná repozice deformity, ale je indikována dlouhá stabilizace a otevřený výkon představuje příliš vysokou zátěž. Tyto poznatky podporují individuální přístup k volbě operační strategie u pacientů s postižením thorakolumbální páteře.

Literatura

1. Barsa P, Frohlich R, Beneš V, Suchomel P. Intraoperative portable CT-scanner based spinal navigation—a feasibility and safety study. *Acta Neurochir (Wien)*. 2014;156:1807–1812.
2. Barsa P, Suchomel P. Portable CT scanner-based navigation in lumbar pedicle screw insertion. *Eur Spine J*. 2013;22:1446–1450.
3. Bindal RK, Glaze S, Ognoskie M, Tunner V, Malone R, Ghosh S. Surgeon and patient radiation exposure in minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion. *J Neurosurg Spine*. 2008;9:570–573.
4. Dahdaleh NS, Smith ZA, Hitchon PW. Percutaneous pedicle screw fixation for thoracolumbar fractures. *Neurosurg Clin North Am*. 2014;25:337–346.
5. Ermawan R, Sena MSWAW, Azhar F, Firjatullah MF, Dani ARK, Nuhriawangsa MHP. Minimally invasive or open surgery? Decoding the safer path in thoracolumbar burst fractures through systematic review and meta-analysis. *Journal of Orthopaedic Reports*. 2025;29:100786.
6. Furtado MVDR, Braga GS, Rossanez R, Herrero CFPDS. Percutaneous Pedicle Screw for Thoracolumbar Fractures: A Long-term Follow-up. *Rev Bras Ortop (Sao Paulo)*. 2024;59:E101–106.
7. Gebhard FT, Kraus MD, Schneider E, Liener UC, Kinzl L, Arand M. Does computer-assisted spine surgery reduce intraoperative radiation doses? *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31:2024–2027.
8. Gelalis ID, Paschos NK, Pakos EE, Politis AN, Arnaoutoglou CM, Karageorgos AC, et al. Accuracy of pedicle screw placement: a systematic review of prospective in vivo studies comparing free hand, fluoroscopy guidance and navigation techniques. *Eur Spine J*. 2012;21:247–255.
9. Huang B, Niu K, Cheng L, Wei Z, Wang X, Tao Z, et al. Clinical efficacy and radiological outcomes of a novel screw placement technique for the treatment of traumatic thoracolumbar vertebral fractures under navigation guidance. *BMC Musculoskelet Disord*. 2025;26:896.
10. Kocis J, Kelbl M, Kocis T, Návrat T. Percutaneous versus open pedicle screw fixation for treatment of type A thoracolumbar fractures. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2020;46:147–152.
11. Łajczak P, Sahin OK, Sharma E, Ayesha A, Łajczak A. Precision versus tradition: a meta-analysis comparing robotic and conventional minimally invasive pedicle screw instrumentation in thoracolumbar fractures. *World Neurosurg*. 2025;199:124109.
12. Liu P, Hu J, Zhang W, Lin S, Yu Y, Tang L, Wang F. Robot-assisted percutaneous pedicle screw fixation in thoracolumbar burst fractures: a comparative study. *Sci Rep*. 2025;15:23175.
13. Lu J, Chen Y, Hu M, Sun C. Systematic review and meta-analysis of the effect of using percutaneous pedicle screw internal fixation for thoracolumbar fractures. *Ann Palliat Med*. 2022;11:250–259.
14. Luo M, Yang Y, Liu Z, Tan J, Luo J, Long Z, Chen M, Liang C, Xiao Z. Percutaneous versus traditional open approaches for the treatment of thoracolumbar

ZÁVĚR

Perkutánní stabilizace thorakolumbální páteře představuje bezpečnou a efektivní miniinvazivní metodu, která umožňuje stabilizaci páteře při nízké peroperační zátěži a s příznivým pooperačním průběhem.

Na základě našich zkušeností je metoda nejvhodnější v indikacích, kde není nutná rozsáhlá repozice deformity ani provedení posterolaterální fúze, a to zejména u polytraumatizovaných, polymorbidních a starších pacientů, stejně jako u pacientů se spondylodiscitidou nebo metastatickým postižením páteře.

Výhodou metody je nižší krevní ztráta, kratší doba hospitalizace a možnost kombinace s dalšími výkony, včetně dekomprese či následné přední rekonstrukce. Při použití peroperační navigace lze dosáhnout vysoké přesnosti zavedení implantátů.

Naopak limitací metody zůstává její technická náročnost, ekonomická náročnost a omezené možnosti korekce deformity, což je nutné zohlednit při indikaci.

Perkutánní stabilizace tak představuje vhodnou součást moderního terapeutického algoritmu u vybraných pacientů s postižením thorakolumbální páteře. ■

- fractures in patients without neurologic deficits: a meta-analysis of 35 cohort studies. *Neurosurg Rev.* 2024;47:62.
15. Mason A, Paulsen R, Babuska JM, Rajpal S, Burneikiene S, Nelson EL, Villavicencio AT. The accuracy of pedicle screw placement using intraoperative image guidance systems. *J Neurosurg Spine.* 2014;20:196-203.
 16. Matejka J, Zeman J, Belatka J, Zeman P, Matejka T. Histochemical and histological changes of paraspinal muscles in patients with thoracic and lumbar spine fractures treated with open and minimally invasive stabilisation. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 2019;32:803-810.
 17. Matějka T, Zeman J, Belatka J, Klézl Z, Racek J, Matějka J. Creatine kinase and myoglobin levels as indicators of perioperative muscle damage during open-and mini-invasive stabilization of thoracic and lumbar spine fracture – a prospective randomized study. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2020;87:9-16.
 18. Noushad N, Seenappa H. Minimally invasive percutaneous pedicle screw fixation in thoracolumbar spine fractures: a clinical evaluation study and computed tomography scan analysis of screw tracts. *Cureus.* 2025;17:e92065.
 19. Papalia GF, Vadalà G, Russo F, Marcello G, Nardi N, Papalia R, Denaro V. Higher accuracy and better clinical outcomes in navigated thoraco-lumbar pedicle screw fixation versus conventional techniques: a systematic review and meta-analysis. *Spine (Phila Pa 1976).* 2024;49:1370-1380.
 20. Phan K, Rao PJ, Mobbs RJ. Percutaneous versus open pedicle screw fixation for treatment of thoracolumbar fractures: Systematic review and meta-analysis of comparative studies. *Clin Neurol Neurosurg.* 2015;135:85-92.
 21. Shin BJ, James AR, Njoku IU, Härtl R. Pedicle screw navigation: a systematic review and meta-analysis of perforation risk for computer-navigated versus freehand insertion. *J Neurosurg Spine.* 2012;17:113-122.
 22. Tian NF, Huang QS, Zhou P, Zhou Y, Wu RK, Lou Y, Xu HZ. Pedicle screw insertion accuracy with different assisted methods: a systematic review and meta-analysis of comparative studies. *Eur Spine J.* 2011;20:846-859.
 23. Yagi M, King AB, Boachie-Adjei O. Incidence, risk factors, and natural course of proximal junctional kyphosis: surgical outcomes review of adult idiopathic scoliosis. Minimum 5 years of follow-up. *Spine(Phila Pa 1976).* 2012;37:1479-1489.