proLékaře.cz | 17.11.2026

doi: 10.48095/cccsnn2026S32

Deformity páteře u spinální muskulární atrofie v éře disease-modifying therapy

Spinal deformities in spinal muscular atrophy in the era of disease-modifying therapy

Souhrn

Deformity páteře patří mezi nejčastější muskuloskeletální komplikace spinální muskulární atrofie (SMA), zejména u nechodících pacientů. Disease-modifying therapy zásadně změnila přežívání a motorický fenotyp SMA, riziko skoliózy však neeliminovala. Časná léčba může u části nemocných progresi deformity zpomalit, současně ale vzniká nová populace dlouhodobě přežívajících pacientů s původně těžkým fenotypem, zejména SMA typu 1, u nichž se rozvíjí časná progresivní skolióza. Chirurgické rozhodování se proto posouvá od algoritmů založených především na typu SMA, věku a Cobbově úhlu k individualizovanému hodnocení motorické funkce, rychlosti progrese, růstového potenciálu, pánevní obliquity a úrovně plicních funkcí. U skeletálně nezralých dětí lze využít růst zachovávající instrumentaci, u starších pacientů zůstává standardem definitivní posteriorní instrumentovaná korekce se spondylodézou. Specifickou otázkou u pacientů léčených nusinersenem je zajištění dlouhodobého intratekálního přístupu. Přehled shrnuje aktuální literaturu a doplňuje ji zkušenostmi našeho pracoviště s growth-friendly léčbou, definitivní korekcí skoliózy a chirurgickým vytvořením přístupu pro intratekální terapii.

Abstract

Spinal deformity is one of the most common musculoskeletal complications of spinal muscular atrophy (SMA), particularly in non-ambulant patients. Disease-modifying therapies have profoundly changed survival and motor phenotypes but have not eliminated scoliosis. Early treatment may slow deformity progression in some patients, while improved survival has created a new population with historically severe phenotypes, particularly SMA type 1, who may develop early progressive scoliosis. Surgical decision-making is therefore shifting from algorithms based mainly on SMA type, age and Cobb angle towards individualized assessment of motor function, curve progression, remaining growth, pelvic obliquity and respiratory reserve. Growth-friendly instrumentation can be considered in skeletally immature children, whereas definitive posterior instrumented correction and spinal fusion remain standard in older patients. In patients receiving nusinersen, preservation of long-term intrathecal access is an additional surgical consideration. This review summarizes current evidence and places it in the context of our institutional experience with growth-friendly treatment, definitive scoliosis correction and surgically created access for intrathecal therapy.

Redakční rada potvrzuje, že rukopis práce splnil ICMJE kritéria pro publikace zasílané do biomedicínských časopisů.
The Editorial Board declares that the manuscript met the ICMJE "uniform requirements" for biomedical papers.

M. Barna, J. Štulík

Klinika spondylochirurgie,
1. LF UK a FNMH, Praha

✉
MUDr. Michal Barna
Klinika spondylochirurgie
1. LF UK a FNMH, Praha
V Úvalu 84
150 00 Praha 5
e-mail: barna.michal79@gmail.com

Přijato k recenzi: 26. 8. 2026
Přijato do tisku: 23. 10. 2026

Klíčová slova
spinální muskulární atrofie – skolióza – neuromuskulární skolióza – disease-modifying therapy – spondylodéza – nusinersen

Key words
spinal muscular atrophy – scoliosis – neuromuscular scoliosis – disease-modifying therapy – spinal fusion – nusinersen

Úvod

Spinální muskulární atrofie (SMA) je geneticky heterogenní skupina neuromuskulárních onemocnění charakterizovaných progresivní degenerací alfa-motoneuronů předních rohů míšních a následnou svalovou slabostí a atrofií. Nejčastější formou je autozomálně recesivní 5q-SMA, podmíněná bialelickou ztrátou funkce genu SMN1 (survival motor neuron 1) lokalizovaného na dlouhém raménku 5. chromozomu. Nedostatek funkčního proteinu SMN vede k progresivní ztrátě motoneuronů a rozvoji typického neuromuskulárního fenotypu. Klinická závažnost onemocnění je významně ovlivněna počtem kopií paralogického genu SMN2, který produkuje pouze omezené množství plně funkčního proteinu SMN [1].

Tradiční klasifikace SMA typu 1–3 vycházela z věku manifestace a maximálně dosažené motorické funkce v přirozeném prů-

proLékaře.cz | 17.11.2026

běhu [1]. Zavedení chorobu modifikující léčby (disease-modifying therapy; DMT), zahrnující nusinersen (Spinraza®, Biogen Cambridge, MA, USA) a risdiplam (Evrysdi®, Roche, Basilej, Švýcarsko), které zvyšují produkci funkčního proteinu SMN ovlivněním sestřihu pre-mRNA genu SMN2, a genovou substituční terapii onasemnogen abeparvovec (Zolgensma®, Novartis, Basilej, Švýcarsko), která dodává funkční kopii genu SMN1, spolu s rozšířením novorozeneckého screeningu zásadně změnilo přirozený průběh SMA [1,2]. Časné, často presymptomatické zahájení DMT vede k přežívání a dosažení motorických funkcí, které u neléčených pacientů s těžšími fenotypy nebyly očekávány [2], a tím mění také přirozený vývoj deformit páteře [3–5]. Pro prognózu současného pacienta je vedle genotypu stále významnější věk při zahájení léčby, aktuální funkční stav a jeho longitudinální vývoj [1,2].

Tato změna má bezprostřední dopad na spondylochirurgickou péči. Skolióza zůstává jednou z nejčastějších dlouhodobých komplikací SMA, ale populace pacientů indikovaných k operaci se mění. Recentní práce ukazují, že DMT může přirozený průběh deformity modifikovat, nikoli však její vznik spolehlivě eliminovat [3–5].

Skolióza v éře DMT

Patofyziologickým podkladem deformity je především slabost axiálního svalstva a ztráta aktivní kontroly trupu. Typická je dlouhá neuromuskulární křivka, často s pánevní obliquitou a poruchou sagitálního profilu. Progrese může vést ke ztrátě stabilního sedu, bolesti, dekubitům a obtížnější každodenní péči; deformita hrudníku současně komplikuje již přítomné restrikční respirační postižení.

Historická data ukazovala vysoké celoživotní riziko skoliózy a její chirurgické léčby, zejména u SMA typu 1c a 2 [6]. Současná data potvrzují, že riziko zůstává významné. Ciftci et al. hodnotili 165 pacientů se SMA typu 1–3; klinicky relevantní skolióza byla přítomna u 79 % a její riziko souviselo především s funkční závažností onemocnění. Vyšší motorické skóre a léčba DMT byly v multivariační analýze spojeny s nižším rizikem rozvoje skoliózy [4].

Vu-Han et al. popsali 75 pacientů s 5q-SMA v současném léčebném prostředí a potvrdili velmi časný vznik deformity zejména u SMA typu 1 a negativní vztah mezi závažností skoliózy a motorickou funkcí [5]. Scoping review Gnazzo et al. shrnuje situaci jako vznik nové heterogenní populace: časná DMT může u části pacientů, zejména se SMA typu 2, progresi deformity zpomalovat, zatímco prodloužené přežívání pacientů se SMA typu 1 vytváří novou skupinu dětí s early-onset scoliosis [3]. DMT tedy skoliózu neodstraňuje; mění její fenotyp, načasování a populaci, u níž ji léčíme.

Indikace a volba chirurgické strategie

Historické algoritmy pracovaly především s věkem, typem SMA a hodnotou Cobbova úhlu. V současnosti je vhodnější individualizovaný přístup. Jednorázová velikost křivky nevystihuje rychlost progrese, flexibilitu deformity, funkční dopad ani očekávanou trajektorii pacienta při DMT. Francouzsko-belgický Delphi konsenzus z roku 2025, vytvořený 31 experty, dosáhl shody ve 47 položkách zahrnujících monitoraci plicních funkcí, konzervativní léčbu skoliózy pomocí trupových ortéz (korzetů), indikaci a volbu chirurgické strategie a perioperační péči [7].

Cílem operace není pouze maximalizace korekce Cobbova úhlu, ale dosažení dlouhodobě stabilního a vyváženého trupu, korekce klinicky významné pánevní obliquity, zachování komfortního sedu a prevence další progrese. Načasování představuje kompromis mezi rizikem vzniku těžké rigidní deformity a snahou zachovat růst páteře a hrudníku.

U skeletálně nezralých dětí s časně vzniklou progresivní skoliózou lze indikovat růst zachovávající operační techniky, zejména systémy typu rostoucích tyčí (growing rods), které umožňují postupné prodlužování instrumentace, a tím korekci a kontrolu deformity při pokračujícím růstu páteře. Magneticky ovládané růstové tyče (magnetically controlled growing rods; MCGR) navíc umožňují neinvazivní prodlužování instrumentace [8,9].

Cetik et al. analyzovali 28 pacientů se SMA typu 1 léčených DMT; průměrná korekce skoliózy činila 57 % a pánevní obliquity 83 %, avšak závažná komplikace vyžadující neplánovaný výkon se objevila u přibližně pětiny souboru [8]. Novější data u homogenní kohorty pacientů se SMA typu 1 léčených MCGR potvrzují možnost účinné kontroly deformity při zachování dalšího růstu páteře, současně však upozorňují na nutnost dlouhodobého sledování zejména s ohledem na mechanické komplikace implantátu a případné reoperace [9]. U starších dětí a adolescentů zůstává standardní chirurgickou metodou definitivní posteriorní korekce deformity s instrumentovanou spondylodézou (posterior spinal fusion; PSF), využívající segmentální fixaci ve více etážích páteře. Rozsah distální fixace, vč. případného zahrnutí pánve, musí vycházet z pánevní obliquity, funkčního stavu a potřeb pacienta. Çiftci et al. v roce 2026 analyzovali 87 operovaných pacientů; 62 podstoupilo PSF a 23 léčbu growing rods. Pacienti léčení DMT před operací měli méně závažné pooperační komplikace, kratší dobu intubace a kratší pobyt na JIP i v nemocnici [10]. Výsledek je klinicky významný, ale nelze jej oddělit od současného vývoje chirurgické, anesteziologické a intenzivní péče.

Respirační a jiné klinické aspekty

Úroveň plicních funkcí je zásadní součástí indikace i perioperačního plánování. Operaci nelze indikovat s očekáváním významného zlepšení plicních funkcí. Metaanalýza Angeli et al. neprokázala významný rozdíl plicních funkcí před výkonem a při posledním sledování; příznivým výsledkem může být její stabilizace nebo zpomalení přirozeného poklesu [11]. Brusa et al. u DMT-naivních pacientů popsali po operaci zpomalení ročního poklesu usilovné vitální plicní kapacity (FVC) u SMA typu 2, ale také přechodný funkční pokles, problémy s hmotností a pooperační bolest [12]. Výsledek chirurgické léčby je proto nutné hodnotit komplexně, nejen podle míry korekce deformity, jejího dlouhodobého udržení a výskytu komplikací či reoperací, ale také podle vývoje plicních a motorických funkcí, nutričního stavu, bolesti, kvality života a spokojenosti pacienta. Retrospektivní studie Hu et al. z roku 2026 zdůrazňuje komplexnost perioperační péče při PSF u pacientů se SMA a význam standardizované multidisciplinární přípravy zahrnující zhodnocení plicních funkcí a peroperační zajištění dýchacích cest, management krevních ztrát a vnitřního prostředí a plánování pooperační ventilační podpory [13].

Intratekální přístup pro nusinersen

Nusinersen vyžaduje opakované intratekální podávání. Výrazná rotace páteře, posteriorní instrumentace a solidní spondylodéza mohou standardní lumbální punkci zásadně ztížit. Strategie budoucího intratekálního přístupu proto musí být součástí plánování operace páteře.

Možnosti zahrnují zachovaný interlaminární přístup, obrazově navigovanou trans-

proLékaře.cz | 17.11.2026

foraminální punkci, ultrazvukem navigované techniky nebo chirurgicky vytvořené kostní okno. CT navigovaný transforaminální přístup je účinný, ale není bez rizika a přináší kumulativní radiační zátěž [14]. Ultrazvukem navigované postupy mohou u vybraných pacientů tuto zátěž eliminovat [15].

Chirurgicky vytvořený přístup zůstává relevantní zejména po rozsáhlé fúzi. Potaczek et al. v roce 2025 publikovali dlouhodobou zkušenost s 11 pacienty po PSF a následné lumbální laminektomii. Devět pacientů následně zahájilo terapii přes vytvořené okno a obdrželo v průměru 11,7 aplikací; během průměrného sledování 48,8 měsíce nebyla nutná revize instrumentace [16]. Popsáno bylo rovněž označení okrajů laminektomického okna rentgenkontrastními titanovými lokalizačními značkami (fiducial markers) pro snadnější následnou radiologickou lokalizaci [17]. Optimální technika musí být volena individuálně podle anatomie, instrumentace, zkušenosti centra a předpokládané dlouhodobé léčebné strategie.

Zkušenosti našeho pracoviště

Soubor našeho pracoviště zahrnuje celkem devět chirurgicky léčených pacientů se SMA. U osmi pacientů se SMA typu 1–2 byla pro progresivní skoliotickou deformitu provedena definitivní posteriorní korekce s instrumentovanou spondylodézou (PSF). U jedné další pacientky se SMA typu 1 a časně vzniklou progresivní skoliózou byla s ohledem na skeletální nezralost zvolena růst zachovávající chirurgická strategie s implantací dvoutyčového systému growing rods. Všechny výkony provedl jeden operatér.

Charakteristiku PSF skupiny shrnuje tab. 1. Jednalo se o šest chlapců a dvě dívky. Průměrný věk při operaci byl 14 let a 1 měsíc a průměrná velikost křivky 90,4° dle Cobba, tedy již pokročilá deformita. Průměrná délka výkonu činila 217 minut, krevní ztráta 567 ml a skiaskopický čas 113 sekund. Instrumentace byla vedena od T3/T5 kaudálně k L5/S1, os ilium nebo S2AI; použity byly alogenní či arteficiální kostní štěpy, intraoperační monitoring a O-arm kontrola. Pooperačně byli pacienti standardně sledováni na JIP 24–48 h s respirační podporou podle potřeby a časnou dechovou a svalovou rehabilitací. Průměrná délka hospitalizace činila 12,7 dne. V perioperačním období byla u části pacientů nutná transfuzní léčba. Z chirurgických komplikací se vyskytla jedna povrchová dehiscence operační rány bez známek infekce, která si vyžádala operační revizi. Průměrný Cobbův úhel se snížil z 90,4° předoperačně na 59,0° pooperačně, tedy v průměru o 31,4°. Průměrná procentuální korekce deformity, vypočtená individuálně u jednotlivých pacientů, činila 35,1 %. Cobbův úhel se pooperačně statisticky významně zmenšil ($p = 0{,}008$; Wilcoxonův párový test), přičemž ke zmenšení došlo u všech osmi pacientů.

Tab. 1. Charakteristika pacientů léčených definitivní PSF (n = 8).

Parametr	Hodnota
pohlaví	6 chlapců (75 %) / 2 dívky (25 %)
typ SMA	SMA typ 1–2
věk při operaci	14 let 1 měsíc (10 let 7 měsíců – 17 let)
předoperační Cobbův úhel	90,4° (44–139°)
pooperační Cobbův úhel	59,0° (29–95°)
absolutní korekce Cobbova úhlu	31,4° (14–50°)
korekce deformity	35,1 % (15,6–54,3 %); p = 0,008*
rozsah instrumentace	T3/T5–L5/S1/os ilium/S2AI
operační čas	217 min
krevní ztráta	567 ml
skiaskopický čas	113 s
pooperační pobyt na JIP	24–48 h
délka hospitalizace	12,7 dne
reoperace pro komplikaci	1/8 (12,5 %)
infekční komplikace	0/8 (0 %)

Číselné údaje jsou u vybraných spojitých parametrů uvedeny jako aritmetický průměr (minimum–maximum), u ostatních jako aritmetický průměr.

*Hodnota p se vztahuje k porovnání předoperačního a pooperačního Cobbova úhlu (Wilcoxonův párový test).

JIP – jednotka intenzivní péče; n – počet; PSF – posterior spinal fusion; SMA – spinální svalová atrofie

U jednoho pacienta z naší skupiny byla extrémně pokročilá deformita 139° při závažné plicní restrikci korigována na 95° (obr. 1); tento případ nadále dobře ilustruje technickou náročnost a omezenou korigovatelnost pozdě řešené rigidní deformity.

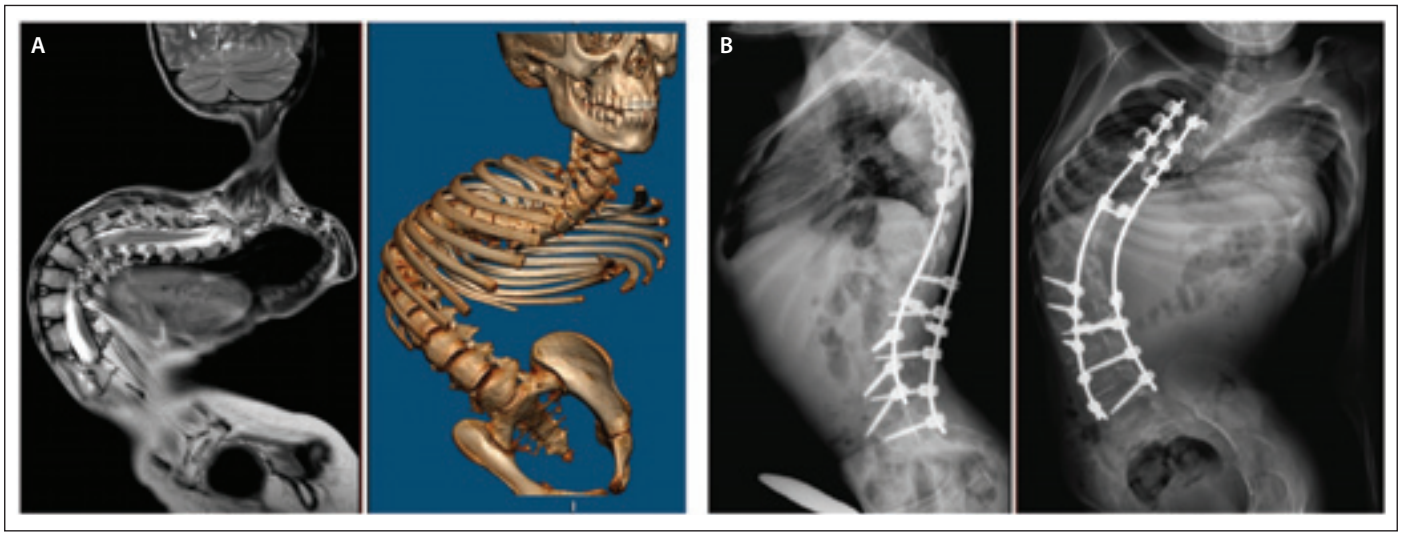
Samostatnou zkušenost představuje chirurgické vytvoření přístupu pro intratekální aplikaci po předchozí PSF. Na našem pracovišti podstoupili tento výkon čtyři pacienti; průměrný věk při výkonu byl 12,4 roku a délka operace byla do 30 minut. Dorzálním přístupem mezi tyčemi fixátoru bylo pod úrovní L2 vyfrézováno přibližně 1 × 2 cm kostní okno, které bylo kryto tukovým polštářem jako prevence kostního přerůstání (obr. 2). Všechny čtyři výkony proběhly bez komplikací a intratekální podávání nusinersenu bylo možné zahájit bezprostředně; v jednom případě byla aplikace provedena již peroperačně. Tato zkušenost podporuje praktickou použitelnost chirurgicky vytvořeného okna u pacientů, u nichž je standardní lumbální punkce po rozsáhlé instrumentaci obtížná nebo nemožná.

Diskuze a závěr

DMT zásadně změnila prognózu SMA, ale neodstranila deformity páteře. Chirurgické zkušenosti z pre-DMT období proto nelze mechanicky přenášet na současnou populaci. Recentní kohorty i francouzsko-belgický Delphi konsenzus ukazují, že pro spondylochirurgické rozhodování je vedle tradičního typu SMA stále významnější aktuální funkční fenotyp, schopnost sedu či chůze, rychlost progrese a flexibilita deformity, růstový potenciál, pánevní obliquita, úroveň plicních funkcí a věk při zahájení DMT [3–5,7,10]. Důkazy pro optimální načasování a volbu konkrétní techniky však zůstávají převážně observační; rozhodování proto musí být individualizované a multidisciplinární.

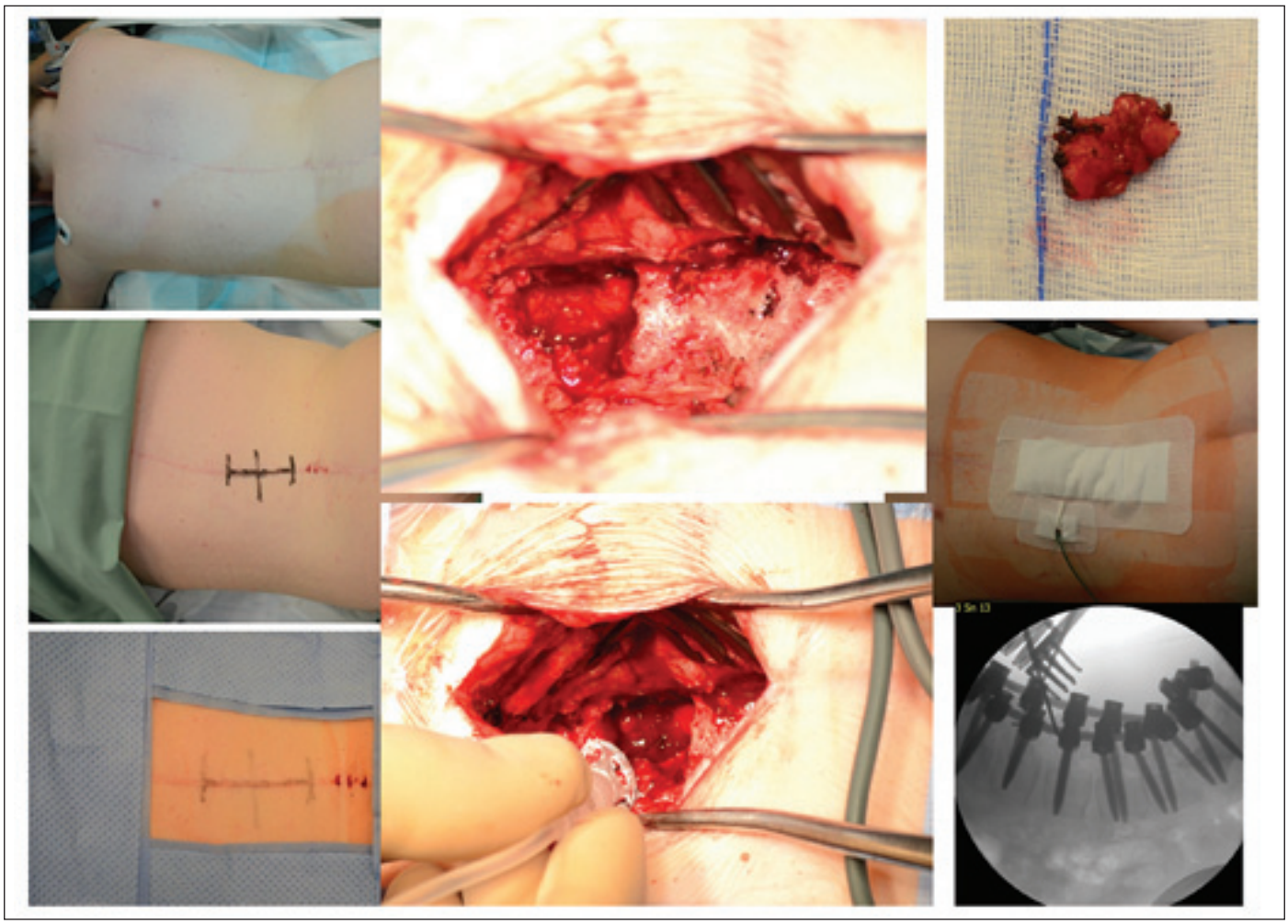
Náš soubor osmi pacientů léčených definitivní PSF s průměrným předoperačním Cobbovým úhlem 90,4° ukazuje, že pacienti

proLékaře.cz | 17.11.2026



Obr. 1. Těžká skoliotická deformita páteře u pacienta se spinální muskulární atrofií před a po chirurgické korekci. Předoperační Cobbův úhel 139°, pooperačně 95°. Případ ilustruje omezenou korigovatelnost pokročilé rigidní deformity. Zdroj: archiv autorů.

Fig. 1. Severe scoliotic deformity of the spine in a patient with spinal muscular atrophy before and after surgical correction. Preoperative Cobb angle: 139°; postoperative Cobb angle: 95°. This case illustrates the limited correctability of advanced rigid deformities. Source: authors' archives.



Obr. 2. Chirurgické vytvoření lumbálního přístupového okna po předchozí posteriorní spondylodéze pro opakované intratekální podávání nusinersenu. Zdroj: archiv autorů.

Fig. 2. Surgical creation of a lumbar access window following prior posterior spondylodesis for repeated intrathecal administration of nusinersen. Source: authors' archives.

proLékaře.cz | 17.11.2026

se SMA mohou v době definitivního chirurgického řešení dosahovat již značně pokročilého stupně deformity. Tato hodnota je vyšší než průměrné Cobbovy úhly přibližně 55–70° popisované v době chirurgického výkonu v recentní kohortě pacientů se SMA v éře DMT [5]. Současná doporučení přitom zdůrazňují potřebu včasného multidisciplinárního sledování progrese deformity a individuálního načasování chirurgické léčby s ohledem na věk, růstový potenciál, funkční a respirační stav pacienta [7]. Tyto skutečnosti podtrhují význam pravidelného multidisciplinárního sledování deformity páteře a individuálního načasování chirurgické intervence s ohledem na progresi křivky, skeletální zralost, funkční a respirační stav pacienta a celkovou léčebnou strategii. Dokumentovaný pacient operovaný při Cobbově úhlu 139° zároveň ilustruje technické limity korekce velmi pokročilé rigidní deformity: navzdory absolutní korekci o 44° přetrvávala pooperačně reziduální křivka 95°.

Opačným rizikem je příliš časná definitivní fúze u dítěte s významným zbývajícím růstem. U skeletálně nezralých dětí s časně vzniklou progresivní skoliózou jsou proto podle současných kohort a expertního konsenzu relevantní růst zachovávající chirurgické strategie; jejich přínos je nutné vyvažovat rizikem mechanických komplikací, neplánovaných reoperací a potřebou následné definitivní chirurgie [7–9]. Vlastní zkušenost s jednou pacientkou léčenou dvoutyčovým systémem growing rods tento princip ilustruje, nemůže však sama sloužit k hodnocení účinnosti metody.

Specifickým aspektem současné chirurgie SMA je dlouhodobý intratekální přístup. Radiologicky navigované interlaminární či transforaminální techniky mohou u vybraných pacientů umožnit opakované podání nusinersenu bez další operace. Transforaminální přístup však může být spojen se závažnými komplikacemi [14,15]. Po rozsáhlé fúzi zůstává chirurgicky vytvořené lumbální okno validní možností; recentní dlouhodobá série 11 pacientů potvrzuje jeho technickou použitelnost bez nutnosti revize instrumentace [16]. Vlastní zkušenost se čtyřmi výkony bez komplikací je s těmito údaji konzistentní, vzhledem k malému souboru ji však interpretujeme pouze jako zkušenost pracoviště. Strategii budoucího intratekálního přístupu je vhodné řešit již při plánování primární operace společně s neurologem a radiologem.

Optimální načasování ani typ operace nelze určit jediným radiologickým parametrem a současná evidence nepodporuje operaci s cílem očekávat zlepšení plicních funkcí; realistickým výsledkem může být jejich stabilizace nebo zpomalení poklesu [11,12]. Novější data současně naznačují příznivější časné perioperační výsledky u pacientů léčených DMT, tento vztah však může být ovlivněn výběrem pacientů a současným vývojem chirurgické, anesteziologické a intenzivní péče [10,13]. Péče proto vyžaduje dlouhodobou spolupráci neurologa, spondylochirurga, pneumologa, rehabilitačního lékaře a anesteziologa.

Další longitudinální data z pacientů léčených DMT od časného věku jsou nezbytná pro vytvoření robustnějších algoritmů chirurgické léčby deformit páteře odpovídajících novému fenotypu SMA.

Finanční podpora

Práce byla podpořena interním grantem FN Motol – 6026, závažné nestability a jejich komplexní spondylochirurgické řešení

Konflikt zájmů

Autoři deklarují, že v souvislosti s předmětem práce nemají konflikt zájmů.

Literatura

1. Schroth M, Deans J, Arya K et al. Spinal muscular atrophy update in best practices: recommendations for diagnosis considerations. Neurol Clin Pract 2024; 14(4): e200310. doi: 10.1212/CPJ.0000000000200310.
2. Schroth MK, Deans J, Bharucha Goebel DX et al. Spinal muscular atrophy update in best practices: recommendations for treatment considerations. Neurol Clin Pract 2025; 15(1): e200374. doi: 10.1212/CPJ.0000000000200374.
3. Gnazzo M, Pisanò G, Piccolo B et al. Scoliosis in spinal muscular atrophy in the era of disease-modifying therapy: a scoping review. Neurol Sci 2025; 46(8): 3431–3442. doi: 10.1007/s10072-025-08155-1.
4. Ciftci S, Ulusaloglu AC, Shrader MW et al. Scoliosis development in spinal muscular atrophy: the influences of genetic severity, functional level, and disease-modifying treatments. J Pediatr Orthop 2024; 44(9): e789–e794. doi: 10.1097/BPO.0000000000002759.
5. Vu-Han TL, Weiß C, Köhli P et al. Scoliosis development in 5q-spinal muscular atrophy under disease modifying therapies. Eur Spine J 2025; 34(2): 546–555. doi: 10.1007/s00586-024-08586-y.
6. Wijngaarde CA, Brink RC, de Kort FAS et al. Natural course of scoliosis and lifetime risk of scoliosis surgery in spinal muscular atrophy. Neurology 2019; 93(2): e149–e158. doi: 10.1212/WNL.0000000000007742.
7. Gaume M, Viallard L, Rippert P et al. French-Belgian consensus statement to managing spinal deformities in children with spinal muscular atrophy treated with SMN restoring therapies. Arch Pediatr 2025; 32(8): 538–546. doi: 10.1016/j.arcped.2025.09.004.
8. Cetik RM, Ovadia D, Mladenov K et al. Safety and efficacy of growth-friendly instrumentation for early-onset scoliosis in patients with spinal muscular atrophy type 1 in the disease-modifying treatment era. J Child Orthop 2023; 18(1): 26–32. doi: 10.1177/18632521231214780.
9. Labianca L, Calderaro C, Manca MB et al. Safety and efficacy of magnetically controlled growing rods for early onset scoliosis in the era of disease-modifying therapies: mid-term results in a homogeneous cohort of spinal muscular atrophy type 1 patients. J Pediatr Soc North Am 2026; 15: 100368. doi: 10.1016/j.jposna.2026.100368.
10. Çiftci S, Shrader MW, Hori Y et al. Scoliosis correction in spinal muscular atrophy: the influence of genetic severity, functional level, and disease-modifying agents on postoperative outcomes. Bone Jt Open 2026; 7(1): 73–79. doi: 10.1302/2633-1462.71.BJO-2025-0158.R1.
11. Angeli M, Alpantaki K, Pandis N et al. The effect of scoliosis surgery on pulmonary function in spinal muscular atrophy patients: review of the literature and a meta-analysis. Eur Spine J 2022; 31(9): 2279–2286. doi: 10.1007/s00586-022-07182-2.
12. Brusa C, Baranello G, Ridout D et al. Secondary outcomes of scoliosis surgery in disease-modifying treatment-naïve patients with spinal muscular atrophy type 2 and nonambulant type 3. Muscle Nerve 2024; 70(5): 1000–1009. doi: 10.1002/mus.28238.
13. Hu A, Zhang X, Ma L et al. Perioperative management for patients with spinal muscular atrophy undergoing scoliosis surgery: a single-center retrospective study. Orthop Surg 2026; 18(7): 1328–1341. doi: 10.1111/os.70341.
14. Bortolani S, Stura G, Ventilii G et al. Intrathecal administration of nusinersen in adult and adolescent patients with spinal muscular atrophy and scoliosis: transforaminal versus conventional approach. Neuromuscul Disord 2019; 29(10): 742–746. doi: 10.1016/j.nmd.2019.08.007.
15. Veiga-Canuto D, Cifrián-Pérez M, Pitarch-Castellano I et al. Ultrasound-guided lumbar puncture for nusinersen administration in spinal muscular atrophy patients. Eur J Neurol. 2020 Nov 6;28(2):676-680. doi: 10.1111/ene.14586.
16. Potaczek T, Duda S, Adamczyk J. Surgical access for intrathecal therapy in spinal muscular atrophy with spinal fusion: long-term outcomes of lumbar laminectomy. J Clin Med 2025; 14(12): 4280. doi: 10.3390/jcm14124280.
17. Still MEH, Blatt JE. Fiducial-marked laminectomy window for intrathecal medication administration after spinal fusion: illustrative case. J Neurosurg Case Lessons 2024; 8(24): CASE24411. doi: 10.3171/CASE24411.