

Analýza chůze u pacientů s adolescentní idiopatickou skoliózou

Gait Analysis in Patients with Adolescent Idiopathic Scoliosis

J. SKLENSKÝ^{1,2}, M. ŠVEHLÍK³, K. URBÁŠEK^{4,5}, P. MACKOVÁ^{4,5}, M. REPKO^{1,2}

¹ Ortopedická klinika Lékařské fakulty Masarykovy univerzity Brno

² Ortopedická klinika Fakultní nemocnice Brno

³ Klinika ortopedie a traumatologie – sekce dětské ortopedie, Lékařská Univerzita Graz, Rakousko

⁴ Klinika dětské chirurgie, ortopedie a traumatologie Lékařské fakulty Masarykovy univerzity Brno

⁵ Klinika dětské chirurgie, ortopedie a traumatologie Fakultní nemocnice Brno

ABSTRAKT

PURPOSE OF THE STUDY

The study describes changes in gait parameters (temporal-spatial parameters, kinematic parameters represented by the global Gait Deviation Index) of individuals with Adolescent Idiopathic Scoliosis (AIS) compared to the healthy population. The hypothesis assumed a difference in the observed parameters between the two mentioned groups.

MATERIAL AND METHODS

In a retrospective study, the temporal-spatial parameters and Gait Deviation Index (GDI) of a cohort of 45 AIS patients (36 girls and 9 boys with the mean age of 15.2 years, the mean Cobb angle of the thoracic curve of 47.3° and the lumbar curve of 51.8°) were compared to a typically developing population of 12 healthy individuals with no musculoskeletal pathology. The difference of followed-up parameters in patients with AIS compared to normal values was assessed by one-sample Student's T-test at the significance level of $p = 0.05$.

RESULTS

The gait analysis shows significant deviations in the gait stereotype of patients with AIS compared to the healthy population. Statistically significant differences within temporal-spatial parameters were confirmed for cadence, walking speed, step time, stride time for left leg, step length, stride length and step width. The mean GDI of the cohort reached the value of 91.07 that indicates a slight alteration of gait, however, even this change is statistically significant.

DISCUSSION

In our cohort of patients with AIS, we identified a significantly reduced walking speed (on average 15.4% compared to normal values. At the same time, a reduction in cadence (by an average of 7.5%) and an increase of the stride time (by an average of 12%) were recorded. Our mean GDI values were 91.07, which is consistent with the results reported in the literature for comparable groups of AIS patients.

CONCLUSIONS

Our study demonstrated that AIS significantly affects gait stereotype. The differences compared to the group of healthy individuals within temporal-spatial parameters were confirmed for cadence, walking speed, duration and length of step and stride, and step width.

The kinematic analysis of gait using the global (GDI) index in patients with AIS demonstrated its slight alteration. A better understanding of the change in movement stereotypes and gait in patients with AIS can bring wider possibilities for individualizing conservative treatment and also can help prevent secondary changes in the locomotor system.

Key words: adolescent idiopathic scoliosis, AIS, gait analysis, Gait Deviation Index, GDI.

Tato studie vznikla za podpory specifického vysokoškolského výzkumu (MUNI/A/1600/2023), kterou poskytlo Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy České Republiky. Dále byla podpořena grantem Ministerstva zdravotnictví České Republiky - DRO (FNBr, 65269705).

ÚVOD

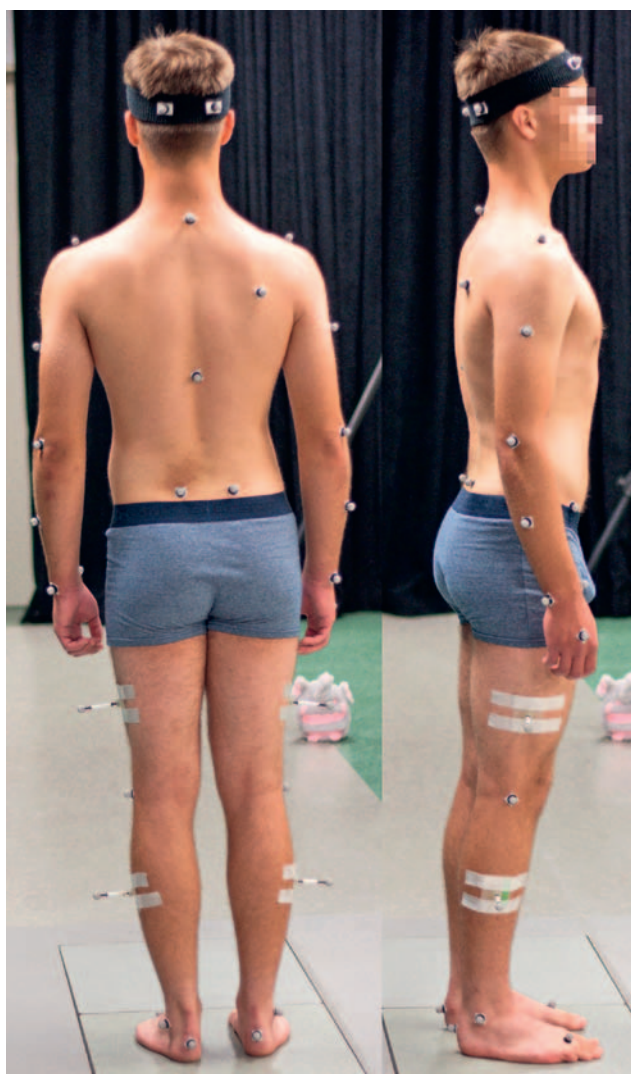
Adolescentní idiopatická skolióza (AIS) je charakterizovaná deformací páteře ve všech třech rovinách těla a je zodpovědná za geometrické a morfologické změny trupu. Zatímco klinické projevy skoliózy jsou jasně definovatelné (1, 9, 21, 24), její vliv dopadající na fungování nejen osového skeletu, ale i celého pohybového aparátu, je stále cílem intenzivního výzkumu (8, 25), stejně jako snahy o odhalení etiologie idiopatického typu skoliózy (2).

Popis vztahů mezi skoliózou a biomechanikou chůze je nejen důležitý pro pochopení toho, jak komplexně ovlivňuje konfigurace osového skeletu pohybové vzorce daného jedince, ale nabízí i jedinečný pohled na širší oblast výzkumu muskuloskeletálního systému. Biomechanika chůze je stále cílem intenzivního výzkumu (8, 25), stejně jako snahy o odhalení etiologie idiopatického typu skoliózy (2).

Popis vztahů mezi skoliózou a biomechanikou chůze je nejen důležitý pro pochopení toho, jak komplexně ovlivňuje konfigurace osového skeletu pohybové vzorce daného jedince, ale nabízí i jedinečný pohled na širší oblast výzkumu muskuloskeletálního systému. Biomechanika chůze je stále cílem intenzivního výzkumu (8, 25), stejně jako snahy o odhalení etiologie idiopatického typu skoliózy (2).

chanika chůze u pacientů se skoliózou přesahuje hranice pouhých anatomických změn. Zahrnuje složitou interakci mezi nervosvalovým systémem a kostrou těla, což vede k celé řadě změn v pohybových vzorcích. Zmíněné biomechanické aspekty zahrnují změny v práci s těžištěm těla (20), změny v aktivaci svalů a jejich vzájemné koordinaci (24) a také kompenzační mechanismy rozvíjející se za účelem snahy o obnovu normální chůze (7, 12, 25).

Pacienti se skoliózou vykazují široké spektrum změn stereotypu chůze, vyplývajících z komplexních adaptací, které vyžaduje deformita páteře. Na tyto adaptační mechanismy jsme poukázali naší předchozí prací, a to prokázanými korelacemi mezi kinetickými parametry váhonosných kloubů a standardními rtg parametry pacientů se skoliózou (22). Mezi nejvýznamnější změny ve stereotypu chůze patří asymetrie délky kroku, čímž nepostižené části těla biomechanicky kompenzují nerovnoměrné rozložení sil působící na dolních končetinách (4).



Obr. 1. Rozložení markerů Plug in Gait modelu na těle probanda z kontrolní skupiny.

Fig. 1. Placement of the Plug-in-Gait markers on the control group proband's body.

Tyto variace jsou často důsledkem náklonů pánve a nesouměrností trupu a odrážejí složité mechanismy modifikace chůze (15, 18, 25).

Předkládaná studie popisuje změny v parametrech chůze (časově-prostorové parametry, kinematické parametry reprezentovány GDI) jedinců s AIS vůči běžné populaci bez skoliózy. Pracovní hypotéza předpokládala diferenci ve sledovaných parametrech chůze mezi oběma skupinami. Pochopení biomechanických adaptací procesu chůze je klíčové pro komplexní péči o pacienty se skoliózou i pro rozvoj obecných poznatků o lidském pohybu. Poznatky o biomechanice chůze u AIS mohou v budoucnu hrát roli v rozhodování o dalším průběhu léčby, od konzervativních postupů, jako je fyzioterapie (24), až po invazivní zákroky, jako je chirurgická korekce deformit páteře (5, 6, 13, 16).

MATERIÁL A METODIKA

Tato retrospektivní studie systematicky analyzuje chůzi kohorty subjektů s pokročilou AIS před plánovanou chirurgickou korekcí deformity. Srovnání chůze dané kohorty bylo provedeno vůči kontrolní skupině zdravých jedinců. Probandi s AIS byli v rámci deskriptivní statistiky rozřazeni do skupin dle Lenkeho klasifikace (11), nicméně toto dělení při následném statistickém zpracování již zohledňováno nebylo. Studie byla schválena etickou komisí. Probandi nebo jejich zákonní zástupci vyjádřili souhlas se zapojením do studie podpisem informovaného souhlasu. Vstupní kritéria zahrnovala diagnózu idiopatické skoliózy s indikací chirurgické léčby (tíže hlavní strukturální T či L křivky nad 35° dle Cobba), rostoucí páteř (Risserovo znamení 0–4) a kompletní soubor kinematických a kinetických dat z 3D pohybové analýzy. Vylučovací kritéria zahrnovala předchozí chirurgické zákroky v oblasti muskuloskeletálního systému a ortopedické či neurologické poruchy ovlivňující osové postavení těla nebo chůzi.

Metodika analýzy chůze

Chůze byla analyzována v Laboratoři chůze Kliniky dětské chirurgie, ortopedie a traumatologie Fakultní nemocnice Brno v období let 2015–2020. Pro analýzu chůze byl využit kalibrovaný prostor laboratoře, snímání osmi infračervenými kamerami (VICON MX; Oxford Metrics, Oxford, UK) se dvěma silovými deskami v podlaze (AMTI; Advanced Mechanical Technology, Watertown, MA, USA). 3D markery byly na tělo probanda umístěny dle protokolu „Plug-in Gait“ (obr. 1) a data byla zpracována softwarovým nástrojem Polygon (VICON, Oxford Metrics, Oxford, UK). Sledovanými parametry byly časově-prostorové údaje a kinematická data pánve a kloubů dolních končetin.

Časově-prostorové parametry (TSP z angl. Temporo-Spatial Parameters) představují základní veličiny v analýze chůze, poskytující komplexní pohled na dynamiku chůze jako pohybu.

Mezi základní parametry patří:

Tab. 1. Deskriptivní statistika parametrů sledované a kontrolní skupiny

Table 1. Descriptive statistics of parameters of the studied and control groups

	AIS	Kontroly
n	45	12
ženy	36	9
muži	9	3
věk (roky) (min.–max.)	15,2 (12–22)	14,2 (13–15)
BMI (kg/m ²)	20,1	21,04

Tab. 2. Zastoupení jednotlivých typů AIS dle Lenkeho klasifikace ve sledované skupině

Table 2. Representation of individual types of AIS according to the Lenke Classification in the studied group

typ	n	průměrný věk	průměrná tíže hlavní strukturální křivky
Lenke 1	23	15,9	Th křivka 47,6°
Lenke 2	12	14,2	kraniální Th křivka 38°, kaudální Th křivka 54°
Lenke 5	6	16,4	L křivka 47°
Lenke 6	4	14,6	L křivka 56,7°

- Kadence (cadence): frekvence krokového cyklu, vyjádřená počtem kroků za minutu.
- Rychlost chůze (walking speed): lineární rychlost postupu při chůzi.
- Doba trvání kroku (step time): časový interval mezi začátkem a koncem jednoho krokového cyklu.
- Doba trvání dvojkroku (stride time): celkový čas, který zabere jeden dvojkrokový cyklus.
- Poměr doby trvání opory o sledovanou končetinu vůči celému krokovému cyklu (% of single stance): procentuální podíl doby, kdy je váha těla nesená jednou končetinou, vzhledem k celkovému krokovému cyklu.
- Poměr doby trvání dvojího kontaktu končetin vůči celému krokovému cyklu (% of double stance): procentuální podíl doby, kdy jsou obě končetiny v kontaktu se zemí, vzhledem k celkovému krokovému cyklu.
- Délka kroku (step length): vzdálenost mezi bodem počátečního kontaktu jedné nohy a bodem počátečního kontaktu nohy druhé během krokového cyklu.
- Délka dvojkroku (stride length): vzdálenost mezi dvěma po sobě jdoucími body kontaktu jedné končetiny s podložkou během krokového cyklu.
- Šířka kroku (step width): horizontální vzdálenost mezi stopami při chůzi.

Kinematické parametry byly reprezentovány GDI (z angl. Gait Deviation Index), numerického ukazatele vyjadřujícího odchylku chůze sledovaných subjektů od normativní databáze. Tento index je vypočítáván na základě devíti vybraných kinematických proměnných, systematicky studovaných během celého krokového cyklu. GDI funguje jako škálované srovnání mezi

kinematickými parametry potenciálně patologické chůze a průměrem stejných parametrů normální komparační skupiny. Hodnota GDI rovna nebo vyšší než 100 indikuje chůzi považovanou za normální, zatímco každý pokles o 10 bodů odpovídá jedné standardní odchylce od normálního chůzového vzoru (19).

Statistická analýza

Hodnocené parametry u pacientů s AIS byly srovnány s hodnotami kontrolní skupiny zdravých jedinců (bez onemocnění pohybového aparátu nebo jiného onemocnění s možným ovlivněním chůze v době záznamu i v anamnéze), a to prostřednictvím statistického hodnocení metodou Studentova jednovýběrového t-testu na hladině významnosti $p = 0,05$.

VÝSLEDKY

Kritéria pro zařazení do souboru splnilo celkem 45 pacientů s AIS a hodnoty sledovaných parametrů byly srovnány vůči kontrolní skupině 12 zdravých jedinců. Porovnání popisných statistik sledované a kontrolní skupiny uvádí tabulka 1.

Průměrná tíže deformity ve sledované skupině byla u hlavní hrudní křivky 47,3° dle Cobba (SD $\pm 9,2$; rozsah 37° až 79°) a průměrná hodnota hlavní bederní křivky byla 51,8° dle Cobba (SD $\pm 9,7$; rozsah 38° až 66°). Zastoupení jednotlivých skupin dle Lenkeho klasifikace znázorňuje tabulka 2.

Statisticky významné odlišnosti v rámci časově prostorových parametrů byly prokázány u kadence, rychlosti chůze, doby trvání kroku i dvojkroku pro LDK, délky kroku i dvojkroku a šířky kroku. GDI průměrovaný pro celou kohortu skoliotických pacientů pro obě dolní končetiny dosáhl hodnoty 91,07, což odpovídá mírné alteraci chůze, nicméně i tato změna je statisticky významná. Výsledky statistického srovnání hodnot sledovaných parametrů obou skupin ukazuje tabulka 3.

DISKUSE

Předložené výsledky poukázaly na rozdílnost sledovaných parametrů analýzy chůze jedinců s AIS vůči zdravé populaci a potvrdily tak pracovní hypotézu. V našem souboru pacientů s AIS jsme identifikovali významně sníženou rychlost chůze (průměrně o 15,4 % ve srovnání s normálními hodnotami). Současně jsme zaznamenali redukci kadence (průměrně o 7,5 %) a prodloužení trvání dvojkroku (průměrně o 12 %), které bylo způsobeno především prodloužením fáze dvojí opory. Tento výsledek by mohl naznačovat narušenou posturální stabilitu u pacientů s AIS. Další změnu jsme pozorovali díky zkrácení délky dvojkroku (průměrně o 8,4 %). V neposlední řadě byl signifikantně snížen i GDI ve skupině pacientů s AIS.

Jedním z klíčových parametrů je rychlost chůze. I její drobné odchylky od normy mohou signalizovat patologické stavy. Naše výsledky jsou v souladu s výzkumem provedeným Haberem a kolegy, kteří potvrdi-

Tab. 3. Statistické hodnocení pomocí Studentova t-testu ve sledované a kontrolní skupině
Table 3. Statistical evaluation using the Student's T-test in the studied and control groups

		AIS	SD u AIS	kontroly	SD kontrol	p
kadence (kroky/min)	LDK	104,94	± 11,25	± 113,45	± 5,15	0,01
	PDK	105,63	± 10,66	± 113,45	± 5,15	0,02
rychlost chůze (m/s)	LDK	1,05	± 0,13	1,24	± 0,15	p < 0,01
	PDK	1,06	± 0,13	1,24	± 0,15	p < 0,01
trvání dvojkroku (s)	LDK	1,16	± 0,11	1,06	± 0,05	p < 0,01
	PDK	1,22	± 0,51	1,06	± 0,05	0,29
trvání kroku (s)	LDK	0,57	± 0,06	0,53	± 0,02	0,01
	PDK	0,57	± 0,05	0,53	± 0,03	0,01
SS* (%)	LDK	0,45	± 0,04	0,43	± 0,01	0,06
	PDK	0,45	± 0,04	0,43	± 0,01	0,05
DS** (%)	LDK	0,25	± 0,05	0,20	± 0,03	p < 0,01
	PDK	0,25	± 0,05	0,21	± 0,03	0,01
délka dvojkroku (m)	LDK	1,19	± 0,1	1,30	± 0,12	p < 0,01
	PDK	1,20	± 0,09	1,31	± 0,13	p < 0,01
délka kroku (m)	LDK	0,60	± 0,05	0,65	± 0,05	0,01
	PDK	0,60	± 0,05	0,65	± 0,07	0,01
šířka kroku (m)	LDK	0,11	± 0,03	0,08	± 0,02	p < 0,01
	PDK	0,11	± 0,02	0,08	± 0,02	p < 0,01
GDI	LDK + PDK	91,07	± 7,72	101,40	± 0	p < 0,01

*z angl. Single Support (poměr doby trvání opory o sledovanou končetinu vůči celému krokovému cyklu)

**z angl. Double Support (poměr doby trvání dvojího kontaktu končetin vůči celému krokovému cyklu)

*based on the English term „Single support“: percentage of the gait cycle when the studied foot is in contact with the ground

**based on the English term „Double support“: percentage of the gait cycle when both feet are in contact with the ground

li, že identifikované změny v chůzi naznačují patologické procesy v koordinaci chůzového cyklu vedoucí k jeho celkovému zpomalení (4). Podobné zjištění potvrzují i Garg a kol., kteří dokumentují redukci rychlosti chůze a délky kroku i dvojkroku u pacientů s AIS ve srovnání s normálními hodnotami (14). Naše průměrné hodnoty GDI činily 91,07, což je velmi podobné výsledkům uváděných Gargem a kol. s průměrnou hodnotou GDI 87,99 u skupiny pacientů s AIS (14).

Výzkum posturální stability u pacientů s AIS naznačuje, že jedinci s touto deformitou páteře vykazují narušenou kontrolu držení těla během statických i dynamických aktivit v porovnání se zdravými jedinci (3) a že stupeň zakřivení páteře může korelovat s obtížemi udržování rovnováhy. Tato dynamická nestabilita s sebou nese vyšší koordinační náročnost, kterou pacienti s AIS mohou snižovat stojem a chůzí o širší bázi. Dynamickou nestabilitu během chůze se nám podařilo prokázat díky zvýšené šířce kroku u subjektů s AIS ve srovnání s kontrolní skupinou.

Důsledky narušené posturální stability mohou ovlivnit každodenní aktivity, jak statické (sed a stoj), tak dynamické (jako je chůze) a navazující komplexní pohybové vzorce. Deformita páteře může ovlivňovat rozsah pohybu a pružnost páteře s navazující dysfunkcí paravertebrálního svalstva, což další měrou může negativně ovlivňovat správné fungování posturálního aparátu

a mnohé z těchto změn se stávají v čase ireverzibilními. Proto správně indikovaná a načasovaná operační léčba může předcházet rozvoji těchto sekundárních funkčních či strukturálních změn a napomáhá udržet či zlepšit posturální stabilitu (16).

Naopak dysbalance a dysfunkce související s neléčenou skoliózou pokročilého stupně (22) mohou vést v dospělosti k rozvoji bolestí a diskomfortu. Tyto potíže bývají spojeny jak s degenerací meziobratlových kloubů a disků v rámci samotné deformity, tak s nerovnováhou svalových skupin, která se rozvíjí jako adaptace na deformitu páteře. Na úrovni svalové aktivity dochází k asymetriím a dysbalancím mezi svaly na straně konvexity a konkavity skoliotických křivek (10, 23). Tyto stavy ovlivňují dynamiku páteře a trupu a navazující kompenzační strategie vedou k fixaci funkčních i strukturálních změn paravertebrálních svalových skupin a ostatních měkkých tkání. Tyto adaptace jsou pravděpodobně odpovědí na snahu o kompenzaci nerovnováhy způsobené skoliózou.

Pozorované abnormality kinematických či kinetických parametrů chůze u jedinců s AIS jsou spojovány s biomechanickými změnami kontroly držení těla při deformitě páteře. Z hlediska kinetických parametrů byla prokázána asymetrie zatížení váhonosných kloubů ve vztahu k povaze deformity a jejím radiologickým parametrům (22). V naší dřívější studii se nám podařilo

prokázat, že pro zvýšené zatížení kyčelních kloubů není důležitá tíže skoliotické křivky, ale její posun k okraji opěrné báze, tedy stranové vychýlení. Z hlediska zátěže tedy můžeme na skoliózu v některých případech pohlížet jako na preartrotický stav pro kyčelní klouby. Dále naznačuje, jakým způsobem mohou být rozvíjeny kompenzační mechanismy bránící asymetrickému zatížení dolních končetin u nejčastějšího typu AIS (Lenke I). Hovoří též o faktorech ovlivňujících tyto kompenzace (míra vychýlení vrcholového obratle hlavní strukturální křivky, výška jeho umístění apod.) a nastiňuje interindividuální variabilitu v daných faktorech. Bližší poznání těchto nuancí v kompenzačních stereotypech může pomoci individualizovat komplexní léčbu pacientů s AIS.

Vliv AIS na stereotypy stoje a chůze byl již opakovaně dokumentován (4, 18). Negativní dopady funkčních a posléze často i strukturálních změn na pohybovém aparátu (přetížení paravertebrálních svalových skupin, asymetrie plynoucí nevýhodného postavení trupu či pánve, či relativní diskrepance délek dolních končetin apod.) mohou postupně snižovat kvalitu života postižených jedinců. Fyzické nepohodlí a bolesti následně mohou negativně ovlivňovat sociální fungování stigmatizovaných jedinců. Vliv mají jak viditelnost deformity páteře, tak obecně snížení tolerance k pohybovým a sportovním aktivitám, což může vést k obavám z přijetí okolím a k tendenci snižovat účast na sociálních aktivitách. Psychologický dopad AIS může přispívat k emočním obtížím a v některých případech i k projevům sociální deprivace či úzkosti adolescentních pacientů (23). I proto je třeba v rámci komplexní péče brát v úvahu nejen fyzické, ale i psychosociální aspekty této spinální deformity.

Samozřejmě ani prezentovaná studie není bez limitací. Hlavním nedostatkem této retrospektivní studie je selekční bias při výběru subjektů, protože kohortu účastníků tvořili pacienti již indikovaní k chirurgické léčbě AIS. Lze však předpokládat, že u pacienta s pokročilou skoliózou budou změny v biomechanice trupu i stereotypu chůze nejprokazatelnější. Nelze tedy námi zjištěné odchylky chůze aplikovat na celou populaci pacientů s AIS. Na druhou stranu literatura uvádí prokazatelné změny v kinematických parametrech i u pacientů s nižšími stupni deformity (17).

ZÁVĚR

Naše studie prokázala, že AIS významně ovlivňuje chůzový stereotyp. Odlišnosti oproti skupině zdravých jedinců v rámci časové prostorových parametrů byly prokázány u kadence, rychlosti chůze, doby trvání, délky kroku i dvojkroku a šířky kroku. Kinematická analýza chůze prokázala pomocí globálního indexu (GDI) u pacientů s AIS její mírnou alteraci. Lepší porozumění změně pohybových stereotypů a chůze u pacientů s AIS může přinést nejen širší možnosti individualizace konzervativní léčby, ale i pomoci předcházet sekundárním změnám na pohybovém aparátu.

Literatura

1. G Bisson D, Lama P, Abduljabbar F, Rosenzweig DH, Saran N, Ouellet JA, Haglund L. Facet joint degeneration in adolescent idiopathic scoliosis. *JOR Spine*. 2018;1:e1016. Published 2018 May 24. doi:10.1002/jsp2.1016.
2. de Sèze M, Cugy E. Pathogenesis of idiopathic scoliosis: a review. *Ann Phys Rehabil Med*. 2012;55:128–138. doi:10.1016/j.rehab.2012.01.003.
3. Dufvenberg M, Adeyemi F, Rajendran I, Öberg B, Abbott A. Does postural stability differ between adolescents with idiopathic scoliosis and typically developed? A systematic literature review and meta-analysis. *Scoliosis Spinal Disord*. 2018;13:19. Published 2018 Sep 3. doi:10.1186/s13013-018-0163-1.
4. Haber CK, Sacco M. Scoliosis: lower limb asymmetries during the gait cycle. *Arch Physiother*. 2015;5:4. Published 2015 Jul 8. doi:10.1186/s40945-015-0001-1.
5. Holeywijn RM, Kingma I, de Kleuver M, Keijsers NLW. Posterior spinal surgery for adolescent idiopathic scoliosis does not induce compensatory increases in distal adjacent segment motion: a prospective gait analysis study. *Spine J*. 2018;18:2213–2219. doi:10.1016/j.spinee.2018.05.010.
6. Holeywijn RM, Kingma I, de Kleuver M, Schimmel JJP, Keijsers NLW. Spinal fusion limits upper body range of motion during gait without inducing compensatory mechanisms in adolescent idiopathic scoliosis patients [Erratum in: *Gait Posture*. 2017 Dec 20;]. *Gait Posture*. 2017;57:1–6. doi:10.1016/j.gaitpost.2017.05.017.
7. Chen PQ, Wang JL, Tsuang YH, Liao TL, Huang PI, Hang YS. The postural stability control and gait pattern of idiopathic scoliosis adolescents. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 1998;13(1 Suppl 1):S52–S58. doi:10.1016/s0268-0033(97)00075-2.
8. Kim DS, Park SH, Goh TS, Son SM, Lee JS. A meta-analysis of gait in adolescent idiopathic scoliosis. *J Clin Neurosci*. 2020;81:196–200. doi:10.1016/j.jocn.2020.09.035.
9. Konieczny MR, Senyurt H, Krauspe R. Epidemiology of adolescent idiopathic scoliosis. *J Child Orthop*. 2013;7:3–9. doi:10.1007/s11832-012-0457-4.
10. Kuo FC, Hong CZ, Lai CL, Tan SH. Postural control strategies related to anticipatory perturbation and quick perturbation in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011;36:810–816. doi:10.1097/BRS.0b013e3181d0f80c.
11. Lenke LG, Betz RR, Harms J, et al. Adolescent idiopathic scoliosis: a new classification to determine extent of spinal arthrodesis. *J Bone Joint Surg Am*. 2001;83(8):1169–1181.
12. Ma Q, Lin H, Wang L, Zhao L, Chen M, Wang S, Rao Z, Luo Y. Correlation between spinal coronal balance and static baropodometry in children with adolescent idiopathic scoliosis. *Gait Posture*. 2020;75:93–97. doi:10.1016/j.gaitpost.2019.10.003.
13. Nishida M, Nagura T, Fujita N, Nakamura M, Matsumoto M, Watanabe K. Spinal correction surgery improves asymmetrical trunk kinematics during gait in adolescent idiopathic scoliosis with thoracic major curve. *Eur Spine J*. 2019;28:619–626. doi:10.1007/s00586-018-5741-7.
14. Garg B, Gupta M, Mehta N, Malhotra R. Influence of etiology and onset of deformity on spatiotemporal, kinematic, kinetic, and electromyography gait variables in patients with scoliosis - a prospective, comparative study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2021;46:374–382. doi:10.1097/BRS.0000000000003796.
15. Park YS, Lim YT, Koh K, Kim JM, Kwon HJ, Yang JS, Shim JK. Association of spinal deformity and pelvic tilt with gait asymmetry in adolescent idiopathic scoliosis patients: Investigation of ground reaction force. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2016;36:52–57. doi:10.1016/j.clinbiomech.2016.05.005.
16. Osuka S, Sudo H, Yamada K, achi H, Watanabe K, Sentoku F, Chiba T, Iwasaki N, Mukaino M, Tohyama H. Effects of posterior spinal correction and fusion on postural stability in patients with adolescent idiopathic scoliosis. *J Clin Med*. 2022;12:270. Published 2022 Dec 29. doi:10.3390/jcm12010270.
17. Polyzos Christos, Thanasis Christos. Behaviour of the knee and ankle joint during gait cycle of young adults with moderate idiopathic scoliosis. A controlled study. *Acta Universitatis Carolinae: Kinesiology*. 2012;48:5–26.

18. Severijns P, Moke L, Overbergh T, Austein F, Braunschweig L, Lüders S, Tsaknakis K, Lorenz HM, Hell AK. Dynamic sagittal alignment and compensation strategies in adult spinal deformity during walking. *Spine J.* 2021;21:1059–1071. doi:10.1016/j.spinee.2021.02.017.
19. Schwartz MH, Rozumalski A. The Gait Deviation Index: a new comprehensive index of gait pathology. *Gait Posture.* 2008;28(3):351–357. doi:10.1016/j.gaitpost.2008.05.001.
20. Simon AL, Ilharreborde B, Souchet P, Kaufman KR. Dynamic balance assessment during gait in spinal pathologies - a literature review. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2015;101(2):235–246. doi:10.1016/j.otsr.2014.11.021.
21. Sitte I, Kathrein A, Pfaller K, Pedross F, Klosterhuber M, Lindtner RA, Zenner J, Ferraris L, Meier O, Koller H. Morphological differences in adolescent idiopathic scoliosis: a histological and ultrastructural investigation. *Spine (Phila Pa 1976).* 2013;38:1672–1680. doi:10.1097/BRS.0b013e31829e0956.
22. Sklensky J, Urbasek K, Svehlik M, Svozilova V, Kocanda J, Prymek M, Vyskocil R, Repko M. The relationship of hip loading asymmetry and radiological parameters of the spine in Lenke type 1 idiopathic scoliosis. *Gait Posture.* 2022;94:160–165. doi:10.1016/j.gaitpost.2022.03.005.
23. Wang H, Li T, Yuan W, Zhang Z, Wei J, Qiu G, Shen J. Mental health of patients with adolescent idiopathic scoliosis and their parents in China: a cross-sectional survey. *BMC Psychiatry.* 2019;19:147. Published 2019 May 14. doi:10.1186/s12888-019-2128-1.
24. Wilczyński J. Relationship between muscle tone of the erector spinae and the concave and convex sides of spinal curvature in low-grade scoliosis among children. *Children (Basel).* 2021;8(12):1168. Published 2021 Dec 10. doi:10.3390/children8121168.
25. Wu KW, Wang TM, Hu CC, Hong SW, Lee PA, Lu TW. Postural adjustments in adolescent idiopathic thoracic scoliosis during walking. *Gait Posture.* 2019;68:423–429. doi:10.1016/j.gaitpost.2018.12.024.

Korespondující autor:

MUDr. Jan Sklenský
Ortopedická klinika LF MU a FN Brno
Jihlavská 20
625 00 Brno
E-mail: sklensky.jan@fnbrno.cz