

RENTGENOVÉ ZOBRAZOVACIE VYŠETRENIA U PACIENTOV S PECTUS EXCAVATUM

RADIOLOGICAL EVALUATION IN PATIENTS WITH PECTUS EXCAVATUM

přehledový článek

Martin Lučenič
Miroslav Janík
Peter Juhos
Roman Benej
Svetozár Haruštiak

Klinika hrudníkové chirurgie SZU
a UN, Bratislava, Slovenská republika

Přijato: 15. 9. 2014.

Korespondenční adresa:

MUDr. Martin Lučenič
Klinika hrudníkové chirurgie SZU
a UN
Ružinovská 6, 826 06 Bratislava,
Slovenská republika
e-mail: martinlucenic@gmail.com

Konflikt záujmov: žádný.

SOUHRN

Lučenič M, Janík M, Juhos P, Benej R, Haruštiak S. Rentgenové zobrazovacie vyšetrenia u pacientov s pectus excavatum

Pectus excavatum je najčastejšou vrodenou deformitou hrudníka. Deformitu ťažkého stupňa musíme považovať za absolútnu indikáciu na operačnú korekciu. Závažnosť deformity určená s pomocou rentgenových zobrazovacích vyšetrení je najdôležitejším indikačným kritériom. Štandardné RTG vyšetrenie hrudníka v dvoch projekciách, natívne špirálové MDCT vyšetrenie ponúkajú možnosť zhodnotiť rôzne základné ukazovatele závažnosti deformity, ako sú napríklad Hallerov index, korekčný vertebrálny a fronto-sagitálny index. Rozvoj minimálne invazívnych operačných techník a narastajúci počet pacientov s asymetrickou deformitou liečených touto technikou priniesol potrebu nových indexov, ktoré operatérovi umožnia individuálne predtvarovať dlahu aj v tejto skupine pacientov. Autori práce sa v práci zamerali aj na komplikácie operačnej korekcie a typické nálezy, ktoré umožnia rentgenológovi tieto komplikácie zachytiť.

Kľúčové slová: MDCT, MIRPE, modifikovaná Ravitchova korekcia, pectus excavatum, RTG hrudníka.

SUMMARY

Lučenič M, Janík M, Juhos P, Benej R, Haruštiak S. Radiological evaluation in patients with pectus excavatum

Pectus excavatum is the most common in-born deformity of the chest. Severe deformity is considered to be an absolute indication for surgical correction. Indication criterias are dependent on multiple factors, but the severity of the malformation based on radiologic assessment is the most important. Standard chest X-ray and native MDCT examination offer the evaluation of the severity of the deformity with the use of basic indices like Haller, correctional, vertebral or fronto-sagittal index. The evolution of minimally invasive pectus excavatum repair (MIRPE) and high number of asymmetric deformities treated with this procedure has brought the necessity for the creation of new indices. These indices help surgeons to individually preshape implanted bar in complex cases. Authors concentrate on complications of both procedures and their typical radiological findings.

Key words: chest X-ray, MDCT, MIRPE, pectus excavatum, highly modified Ravitch repair.

ÚVOD

Pectus excavatum (ďalej PE) tvorí skoro 90 % všetkých vrodených vývojových malformácií hrudníka. Postihuje približne 0,1 % novorodencov, pričom sa vyskytuje štyrikrát častejšie u chlapcov (1). Autorom prvej zmienky o ochorení bol Bauhinus v roku 1594. Názov pectus excavatum prvýkrát použil Ebstein v roku 1882. Etiopatogenéza ochorenia je neznáma. Príčinou môže byť prítomnosť porúch kolagénu typu II, ktoré boli detekované v resekovaných chrupavkách niektorých pacientov s PE (2). Na vzniku deformity sa môžu tiež spolupodieľať zvýšená expresia, alebo downregulácia viacerých génov, ktoré hrajú úlohu v metabolizme chrupavky a spojivového tkaniva, ako sú gény pre kolagén, metaloproteinázy, TNF- α a filamin (3). Familiárne zataženie je prítomné v 45 % prípadov. Viac ako 5 % pacientov s PE má vrodené ochorenie spojivového tkaniva, ako sú Marfanov, alebo Ehlersov-Danlosov syndróm (1).

KLINICKÝ NÁLEZ PRI PECTUS EXCAVATUM

V náleze dominuje pokles úrovne sternu a chrupaviek rebier, ktoré môžu sprevádzať protrúzia oblúkov distálnych rebier a rotácia sternu. Typickým znakom u časti pacientov je marfanoidný habitus. Základné morfológické delenie rozčleňuje deformitu na lokalizovanú („cup-like“) a difúznú formu („saucer-like“). Časť pacientov má excentrickú deformitu typu „Grand- Canyon“ a viac ako 5 % pacientov môže mať kombináciu pectus excavatum a pectus carinatum (4). Asymetrická deformita sa vyskytuje približne v 40 % prípadov (5). Základom určenia diagnózy je klinické vyšetrenie. Závažnosť subjektívnych obtiaží závisí od veku pacienta a stupňa deformity. Najčastejšie sa pacienti sťažujú na zníženú výkonnosť, ponáhľavé dýchanie a bolesti na hrudníku v oblasti deformity (1).

INDIKAČNÉ KRITÉRIA A OPERAČNÉ KOREKČNÉ TECHNIKY

Operačná korekcia deformity je metódou voľby u všetkých pacientov, ktorí spĺňajú indikačné kritéria (tab. 1). V repertoári chirurgov existuje v súčasnosti viacero operačných postupov. Minimálne invazívna korekcia pectus excavatum (ďalej MIRPE) je pojem, ktorý zastrešuje operačné techniky, pri ktorých je princípom korekcie PE retrosternálne zavedenie predtvarovanej hrudníkovej dlahy z krátkych incízií na laterálnom obvode hrudnej steny. Väčšina chirurgov uprednostňuje in-

trapleurálne umiestnenie dlahy za asistencie pravostrannej torakoskopickej kontroly. Technika je metódou voľby u detských pacientov a veľa pracovísk ju ponúka aj dospelým pacientom. Z klasických operačných techník je v súčasnosti najčastejšie používanou technikou modifikovaná korekcia podľa Ravitcha (ďalej HMRR). Jej súčasťou je subperichondrálna resekcia zdeformovaných chrupaviek rebier a priečna osteotómia sternu. Správne postavenie sternu je možné dosiahnuť najčastejšie retrosternálnym umiestnením hrudníkovej dlahy alebo polypropylénovej siete.

RENTGENOVÉ VYŠETROVACIE TECHNIKY U PACIENTA PRED OPERAČNOU KOREKCIOU

Zobrazovacie vyšetrenia sú indikované za účelom zhodnotenia závažnosti PE, určenia typu deformity a jej vzťahu k orgánom mediastína.

RTG vyšetrenie

Štandardné RTG vyšetrenie hrudníka v dvoch projekciách poskytnie u pacienta s PE výhody malej radiačnej záťaže a okamžitého výsledku. Pokles sternu pri ťažkej deformite spôsobí rotáciu srdca a jeho presun do ľavej pleurálnej dutiny. Deformita sa preto na PA (zadoprednej) projekcii prejaví vymiznutím kontúry pravého srdca, ktorá sa pri extrémnych nálezoch môže objaviť paravertebrálne vľavo. Tento nálež zriedkavo sprevádza posun tieňa aortálneho oblúka. Závažnú mitrálnu chybu u pacientov s PE reprezentuje typický mitrálny tvar srdca. Najčastejším RTG nálezom u pacientov s PE je prítomnosť parakardiálneho zatienenia vpravo (tzv. silhouette sign), ktoré imituje patologický nálež kondenzácie alebo atelektázy stredného pľúcneho laloka. Tento jav vzniká na podklade kompresie pľúcneho parenchýmu deformovanými chrupavkami naliehajúcich rebier. Sprievodným nálezom u pacientov s PE je horizontálny priebeh zadných oblúkov rebier a vertikálnejší priebeh predných častí oblúkov, ktoré vytvárajú tzv. príznak „7“ (obr. 1). Bočná projekcia umožňuje orientačne zhodnotiť hĺbku deformity a kontakt srdca s poklesnutým sternom, alebo hrudníkovou chrbticou (obr. 1). U pacientov s torziou sternu je možné v niektorých prípadoch zachytiť aj tzv. „double border sign“, ktorý simuluje patologický mediastinálny útvar.

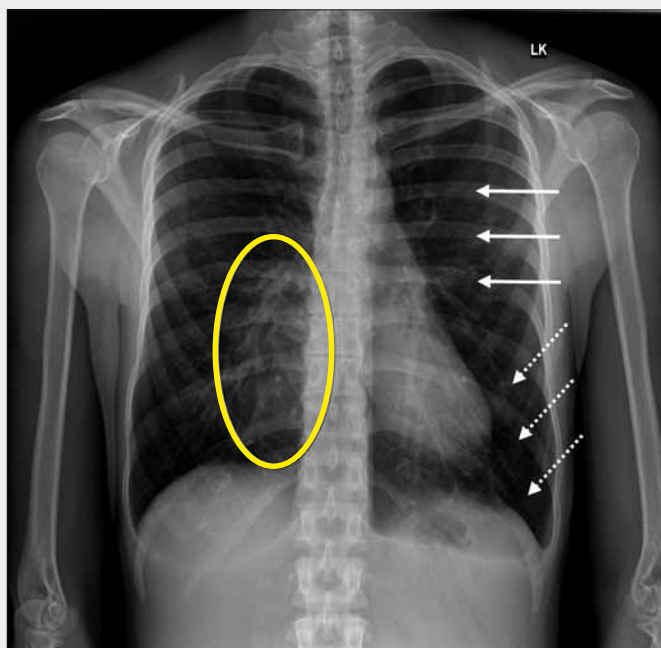
CT vyšetrenie

Natívne vyšetrenie špirálovým multidetektorovým CT (ďalej CT) ponúka možnosť presného určenia parametrov potrebných pre vyhodnotenie závažnosti PE. Presne zhodnotí celkový tvar hrudníka a prítomnosť asymetrickej deformity (obr. 2). Nevýhodou vyšetrenia je vysoká radiačná záťaž a potreba sedácie časti detských pacientov. Haller so spolupracovníkmi preto považujú u detských pacientov za indikované vyhotovenie len jedného skenu v rovine najhlbšej deformity (6). Kilda s kolektívom odporúčajú vyhotovenie dvoch skenov v rovine najhlbšej deformity, a to počas maximálneho inšpiria a expíria pacienta (7). Vyšetrenie ponúka výhody multiplanárnej rekonštrukcie (ďalej MPR) a 3D zobrazenia najčastejšie pomocou volume-rendering techniky (ďalej VRT) (obr. 2, 3).

Tab. 1. Indikačné kritéria pectus excavatum

Table 1. Indication criteria for the pectus excavatum correction

- Hallerov index > 3,25
- progresia deformity so symptómami
- patológia srdca priamo súvisiaca s kompresiou srdca (poruchy rytmu, prolaps mitrálnnej chlopne...)
- abnormality pri kludovom funkčnom vyšetrení pľúc
- patologický nálež pri zťažových kardiopulmonálnych testoch
- psychické zmeny súvisiace s prítomnosťou deformity
- predchádzajúca neúspešná korekcia PE



▲ Obr. 1A



▲ Obr. 1B

Obr. 1. RTG hrudníka u pacienta s pectus excavatum. A – posun srdcového tieňa doľava s vymiznutím kontúry pravého srdca, horizontálnejší priebeh zadných oblúkov rebier (biele plné šípky) s výraznejším vertikálnym priebehom ventrálnych oblúkov rebier (biele prerušované šípky), patologický parakardiálny tieň (silhouette sign) v oblasti pravého pľúcneho hilu (žltá elipsa); B – nález pri bočnej projekcii u pacienta s pectus excavatum s prítomnosťou depresie sternu
Fig. 1. CXR in patient with funnel chest. A – displacement of the right cardiac margin, horizontal course of the posterior ribs (full white arrows) with more vertical course of the anterior ribs (dotted white arrows), increased density of the right paracardial parenchyma – „silhouette sign“ (yellow ellipse); B – lateral CXR in patient with pectus excavatum shows sternal depression

Tieto zobrazovacie techniky môžu priniesť závažné informácie u tretiny vyšetrených pacientov. Rozhodnutie o zmene operačnej techniky však prinesú len v 2,5 % prípadov (8).

Parametre hodnotené pri rentgenových zobrazovacích vyšetreniach

Rentgenové zobrazovacie vyšetrenia ponúkajú niekoľko parametrov na zhodnotenie závažnosti a typu PE. Najčastejšie používaným parametrom je tzv. **Hallerov index** (Pectus Severity Index). Hallerov index (ďalej HI) hodnotíme pomocou CT na reze reprezentujúcom najvýraznejšiu deformitu. Vzniká ako podiel transverzálnej vzdialenosti medzi vnútornými plochami kontralaterálnych rebrových oblúkov a vzdialenosti medzi dorzálnou plochou deformity (sterna, alebo rebier) a predného oblúka tela stavca (obr. 4). Priemerná hodnota HI u zdravého dospelého človeka je 2,56 (6). Pectus excavatum ťažkého stupňa je definovaný HI, ktorého hodnota je rovná, alebo preyšuje 3,25. Je jedným z indikačných kritérií operačnej korekcie (tab. 2). Hodnota HI je závislá od fázy respiračného cyklu, veku, pohlavia a celkového tvaru hrudníka. CT pracoviská pravidelne vyhotovia CT vyšetrenie PE vo fáze maximálneho inšpiria. V protiklade s tým viacero prác potvrdilo u pacientov s PE nárast HI v expíriu počas NMR vyšetrenia (8, 9). HI bol výraznejší u viac ako 72 % pacientov. Približne u 17 % pacientov bola korekcia indikovaná až po vyhodnotení HI v expíriu (10). Následne publikovaná práca s využitím CT potvrdila nárast hodnoty HI na konci expíria o skoro 30 %. To rezultovalo do nárastu počtu pacientov indikovaných na operačnú korekciu o 20 % (11). Napriek týmto

údajom je otázka indikácie chirurgickej korekcie na základe takto získaného HI stále otvorená.

Daunt so spolupracovníkmi potvrdili závislosť HI od veku a pohlavia dieťaťa. Priemerná hodnota HI v ich súbore bola 2,7. Fyziologická hodnota HI sa u detí vo veku do 6 rokov pohybovala medzi 1,9–2,2. V skupine detí od 6 do 14 rokov bola 2,3–2,7. Dievčatá v skupine od 0 do 6 rokov a od 12 do 18 rokov mali HI vyšší ako ich vrstovníci mužského pohlavia. V skupine vo veku od 7 do 12 rokov sa vyššou hodnotou HI vyznačovali chlapci (12).

Časť populácie sa vyznačuje plochým tvarom hrudníka. U pacientov s PE a s týmto tvarom hrudníka je možné aj pri minimálnej deformite namerať HI väčší ako 3,25. V protiklade s tým u časti pacientov s normálne vyvinutým hrudníkom nemusí ani deformita, ktorá dosahuje hĺbku 30 mm, spĺňať kritéria ťažkej deformity. Zavedenie **korekčného indexu**, ktorý by umožnil vyhodnotiť závažnosť deformity nezávisle od vonkajšieho tvaru hrudníka, je možnou alternatívou, ktorá by štandardizovala meranie závažnosti PE (obr. 5) (13). Korekčný index s hodnotou presahujúcou 28 % je indikačným kritériom na operačnú korekciu a je výpovedný u pacientov s celým spektrom tvarov hrudníka (14).

Meranie HI je založené na využití CT vyšetrenia. Niektoré pracoviská však uprednostňujú vyhodnotenie HI pomocou štandardného RTG vyšetrenia v dvoch projekciách na základe potvrdenia dobrej korelácie hodnôt HI získaného u detských pacientov pomocou oboch vyšetrení. CT vyšetrenie neposkytuje žiadnu pridanú informáciu, ktoré by pri porovnaní s RTG vyšetrením, ovplyvnilo indikáciu operačného výkonu u detských pacientov (15, 16). Podobné závery boli uverejnené aj vo vzorke dospelých pacientov (17).



▲ Obr. 2A



▲ Obr. 2B



▲ Obr. 2C



◀ Obr. 2D

Obr. 2. **CT nálezy pri pectus excavatum.** A – symetrická deformita s presunom srdca do ľavej pleurálnej dutiny; B – asymetria deformity s presunom srdca do ľavej pleurálnej dutiny a s ťažkou torziou sternu ($> 30^\circ$); C – difúzna forma pectus excavatum; D – multiplanárna rekonštrukcia v sagitálnej rovine

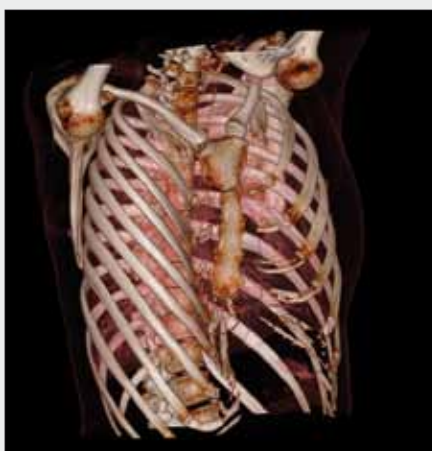
Fig. 2. **CT findings in patients with pectus excavatum.** A – symmetric pectus excavatum with cardiac displacement; B – asymmetric pectus excavatum with cardiac displacement and severe sternal torsion ($> 30^\circ$); C – saucer-like pectus excavatum; D – sagittal reformation

Detskí chirurgovia často využívajú na zhodnotenie závažnosti deformity **vertebrálny a fronto-sagitálny index**. Vertebrálny index (ďalej VI) sa určí z laterogramu v rovine najvýraznejšej deformity (obr. 6). Fronto-sagitálny index (ďalej FSI) je možné vyhodnotiť z CT skenu v rovine najvýraznejšej deformity, alebo konvenčným RTG vyšetrením hrudníka v dvoch projekciách (obr. 6). Hodnota oboch indexov je závislá od veku dieťaťa. Počas prvých 6 rokov života hodnota

VI narastá a FSI klesá. Po dosiahnutí 6. roku života zostávajú obidva parametre v populácii bez deformity konštantné (18). Simultánne meranie a používanie oboch indexov nie je vzhľadom na ich úzku koreláciu v zdravej populácii ako aj u pacientov s PE potrebné (19). Ťažká deformita je absolútnym indikačným kritériom na operačnú korekciu. Stredne závažná deformita je relatívnou indikáciou operačnej korekcie (tab. 2).



▲ Obr. 3A



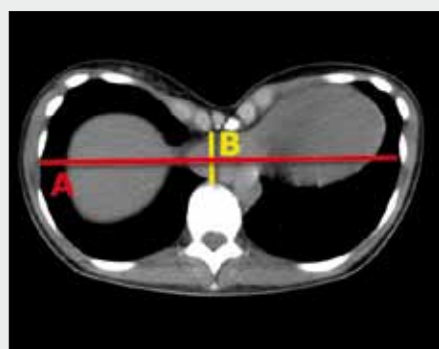
▲ Obr. 3B



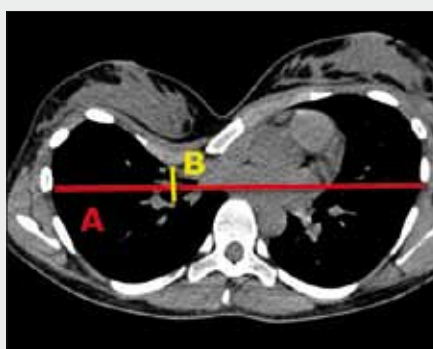
▲ Obr. 3C

Obr. 3. **Rôzne CT nálezy v 3D zobrazení**

Fig. 3. **Different findings in 3D-CT reformation**



▲ Obr. 4A



▲ Obr. 4B

Obr. 4. **Hodnotenie Hallerovho indexu ($HI = A/B$).**
A – Hallerov index pri symetrickej deformite; B – Hallerov index pri asymetrickej deformite

Fig. 4. **Haller index evaluation ($HI = A/B$).**
A – evaluation in patient with symmetric deformity;
B – evaluation in patient with asymmetric deformity



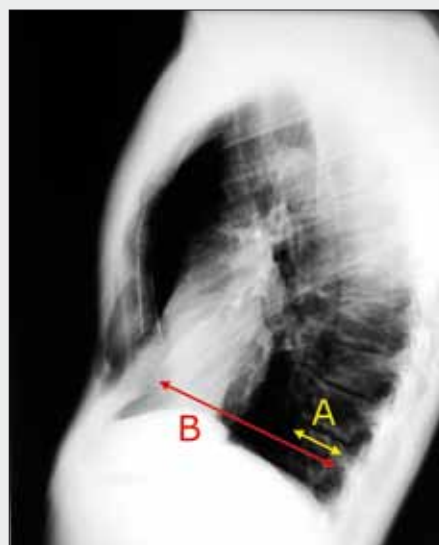
▲ Obr. 5A



▲ Obr. 5B

Obr. 5. **Hodnotenie korekčného indexu (CI).**
A – pacient s minimálnou deformitou (HI: 5,5, CI: 16,7%); B – pacient s hĺbkou deformity 31 mm (HI: 3,1, CI: 34,9%)

Fig. 5. **Correctional index evaluation (CI).** A – patient with minimal deformity (HI: 5,5, CI: 16,7%); B – patient with 31 mm deep deformity (HI: 3,1, CI: 34,9%)



▲ Obr. 6B

◀ Obr. 6A

Obr. 6. **Vertebrálny a fronto-sagitálny index.**
A – vertebrálny index: $VI = (A \times 100)/(A + B)$; B – fronto-sagitálny index: $FSI = (A/B) \times 100$

Fig. 6. **Vertebral and Fronto-sagittal index.**
A – vertebral index: $VI = (A \times 100)/(A + B)$; B – fronto-sagittal index: $FSI = (A/B) \times 100$

Tab. 2. **Hodnotenie stupňa závažnosti deformity v závislosti od hodnoty meraných indexov**

Table 2. **Prediction of the pectus excavatum severity based on Haller, vertebral and fronto-sagittal index**

	Hallerov index	Vertebrálny index	Fronto-sagitálny index
fyziológické hodnoty	2,56	15- 25	36- 56
ľahký stupeň	2,7–2,89	25–29	30–35
stredne ťažký stupeň	2,9–3,25	30–36	20–30
ťažký stupeň	> 3,25	> 36	< 20

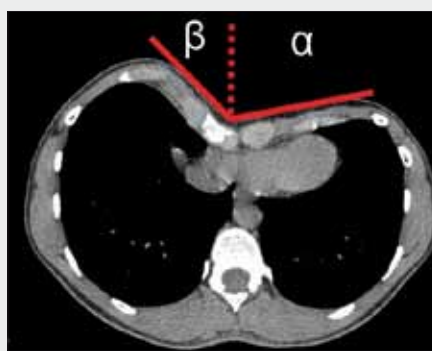
Vysoký počet asymetrických deformít viedli chirurgov k vytvoreniu novej skupiny parametrov. Kórejské pracoviská

používajú niekoľko indexov, ktoré je možné hodnotiť pri CT vyšetrení. Index asymetrie je daný podielom bilaterálne meraných vzdialeností rebrových oblúkov. Veľkosť podielu nad 0,05 poukazuje na asymetrickú deformitu. Ďalšie hodnotené parametre sú index excentricity (EI), index depresie (DI) a index nerovnomernosti (UI) (obr. 7) (5). Tieto umožňujú použiť pri korekcii asymetrického PE technikou MIRPE individuálne tvarované dlahy. Pri komplexných deformitách hodnotíme závažnosť sternálnej torzie. Rotácia menšia ako 30° je charakterizovaná ako mierna (obr. 7D). Hodnota nad 30° je známkom ťažkej rotácie (obr. 3B).

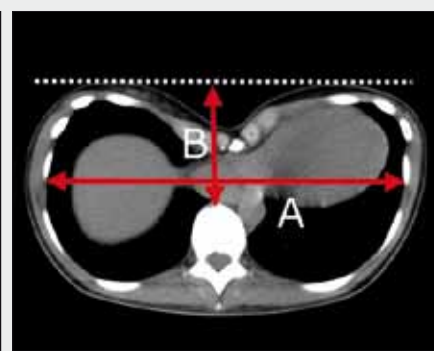
Problematickou otázkou zostáva potreba kompletného CT vyšetrenia hrudníka. Pracoviská ho indikujú za účelom



▲ Obr. 7A



▲ Obr. 7B

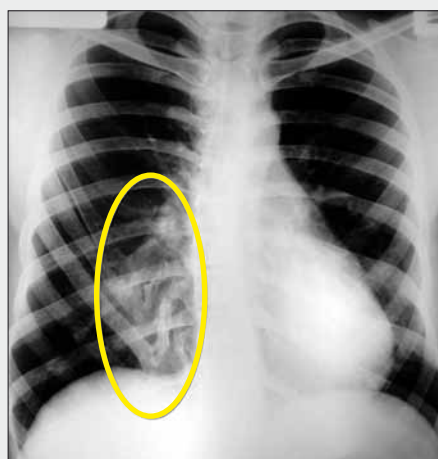


▲ Obr. 7C



◀ Obr. 7D

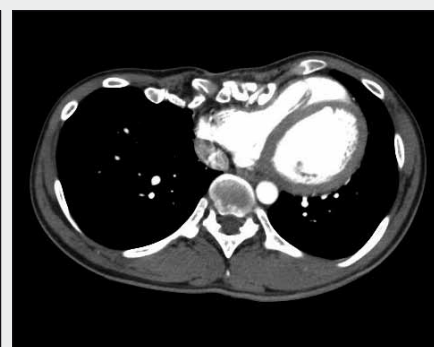
Obr. 7. Indexy pri asymetrických deformitách (upravené podľa Parka). A – index asymetrie: $AI = b/a$; B – index nerovnomernosti: $UI = a/b$; C – index depresie: $DI = b/a$; D – index excentricity: $EI = b/a$
 Fig. 7. Different indices evaluated by Park in patients with asymmetric deformities. A – asymmetric index: $AI = b/a$; B – unbalanced index: $UI = a/b$; C – depression index: $DI = b/a$; D – excentricity index: $EI = b/a$



▲ Obr. 8A



▲ Obr. 8B



▲ Obr. 8C

Obr. 8. Zmeny u pacientov s recidívou pectus excavatum po modifikovanej Ravitchovej korekcii. A – RTG hrudníka u pacientky; B – koronárna rekonštrukcia u rovnakej pacientky; C – CT pacienta po modifikovanej Ravitchovej korekcii

Fig. 8. Different changes in patients with pectus excavatum recurrence after highly modified Ravitch repair. A – chest X-ray; B – coronal reformation in same patient; C – axial CT in patient after highly modified Ravitch repair

získania ďalších informácií o stave orgánov hrudníka. Ratan so spolupracovníkmi vyhodnotili kompletné CT vyšetrenie hrudníka v skupine 209 detských pacientov. Prídružený abnormálny nález zachytili pri 76 vyšetreniach. Len dve z týchto vyšetrení (< 1 %) zachytili patológiu, ktorá znamenala kontraindikáciu operačnej korekcie PE. Autori štúdie dospeli k záveru, že u detských pacientov je možné konvenčné RTG vyšetrenie v dvoch projekciách považovať za dostatočnú vyšetrovaciu modalitu. CT vyšetrenie je možné indikovať v zriedkavých prípadoch u pacientov so závažnou asymetrickou deformitou alebo u pacientov s hraničným nálezom, u ktorých je potrebné určiť HI. V týchto prípadoch je podľa autorov indikované „low-dose CT“ s re-

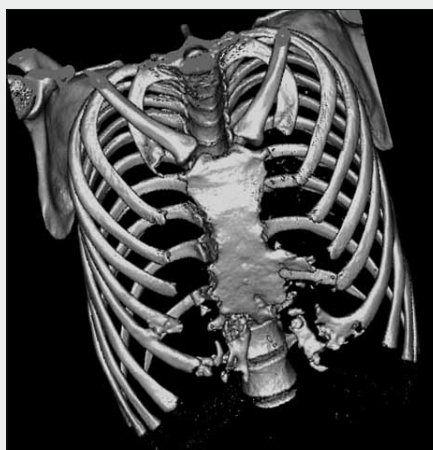
dukovaným protokolom, ktorý obsahuje 5–7 rezov v rovine maxima deformity (20).

Parametre hodnotené pri rentgenových zobrazovacích vyšetreniach u pacientov s recidívou PE

Recidívu definujeme ako znovuobjavenie sa nálezu PE u pacientov po extrakcii podpornej hrudníkovej dlahy. Počet recidív po operačnej korekcii PE technikou HMRR sa pohybuje v rozmedzí od 2 % do 27 %. U pacientov s Marfanovým syndrómom bola prítomná recidíva po HMRR až v 39 % prípa-



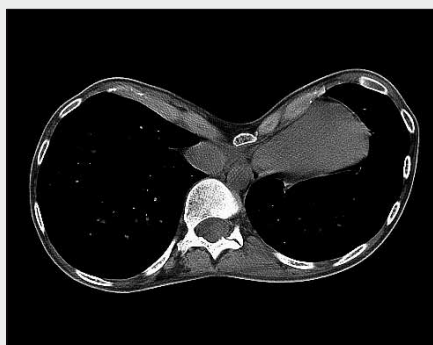
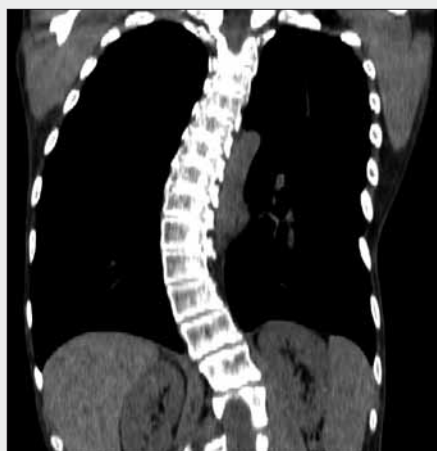
▲ Obr. 9A



▲ Obr. 9B

Obr. 9. Rozsah pooperačných zmien po modifikovanej Ravitchovej korekcii (3D-CT rekonštrukcia)

Fig. 9. Different postoperative changes after highly modified Ravitch correction (3D-CT reformation)



▲ Obr. 10B

◀ Obr. 10A

Obr. 10. Pectus excavatum a idiopatická skolióza. A – idiopatická skolióza v koronárnej rekonštrukcii; B – pectus excavatum ťažkého stupňa u toho istého pacienta

Fig. 10. Pectus excavatum and idiopathic scoliosis. A – severe idiopathic scoliosis in coronal reformation; B – severe pectus excavatum in same patient



▲ Obr. 11



◀ Obr. 12

Obr. 11. Pacientka s ťažkou asymetrickou formou PE s prsníkovým implantátom v retromamárnom priestore

Fig. 11. Patient with severe asymmetric pectus excavatum treated by breast implant

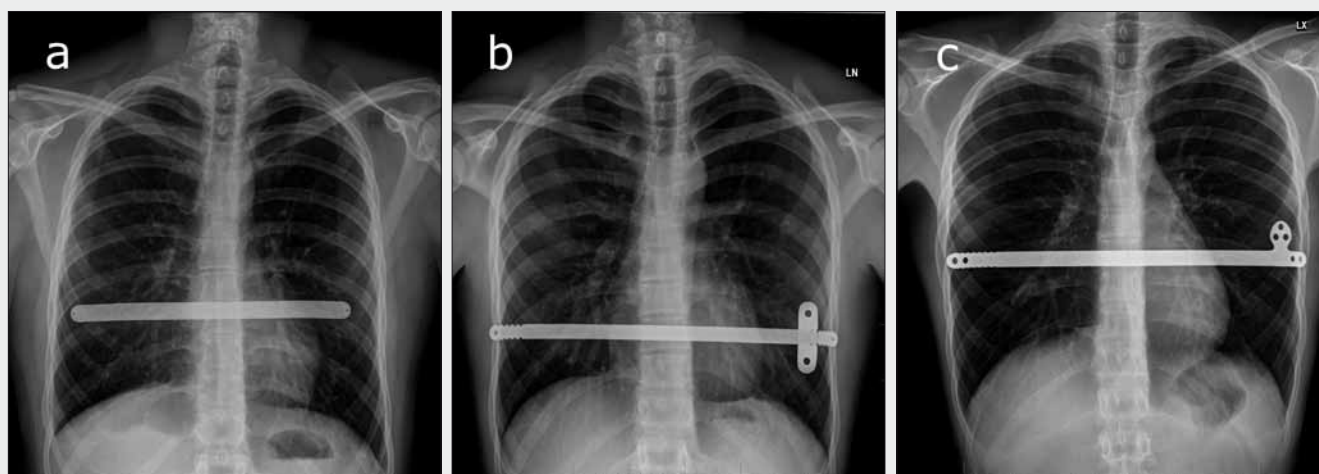
Obr. 12. Vrodená deformita rebier
Fig. 12. Inborn rib deformity

dov (21). Prítomnosť recidívy po MIRPE sa pohybuje v rozmedzí od 0 % do 33 % pacientov (22).

Natívne CT vyšetrenie hrudníka je indikované u všetkých pacientov s recidívou PE. Lepšiu priestorovú orientáciu a zhodnotenie lokálneho nálezu poskytne MPR a 3D zobrazenie. Okrem zhodnotenia závažnosti deformity CT verifikuje prítomnosť pooperačných zmien po predchádzajúcej korekcii. Výskyt patologicky osifikovaných chrupaviek a heterotopických kalcifikátov zvyšuje rigiditu hrudníka a použitie MIRPE môže byť technicky obtiažné až nemožné (obr. 8, 9).

Pridružené abnormality a vedľajšie nálezy

Klinicky závažná idiopatická skolióza (Cobbov uhol $> 10^\circ$) sa môže vyskytnúť u 17,5–22,5 % pacientov s PE (obr. 10). Priemerná hodnota Cobbovho uhla u týchto pacientov dosahuje $15\text{--}16^\circ$ (23, 24). Približne 4 % pacientov s PE absolvoval niektorú z korekčných ortopedických techník (korzet, operácia). Závažnosť idiopatickej skoliózy priamo ovplyvňuje operačnú stratégiu. V indikovaných prípadoch by operačná korekcia PE (MIRPE) mala nasledovať až po terapeutickom ovplyvnení idiopatickej skoliózy. Samotná MIRPE



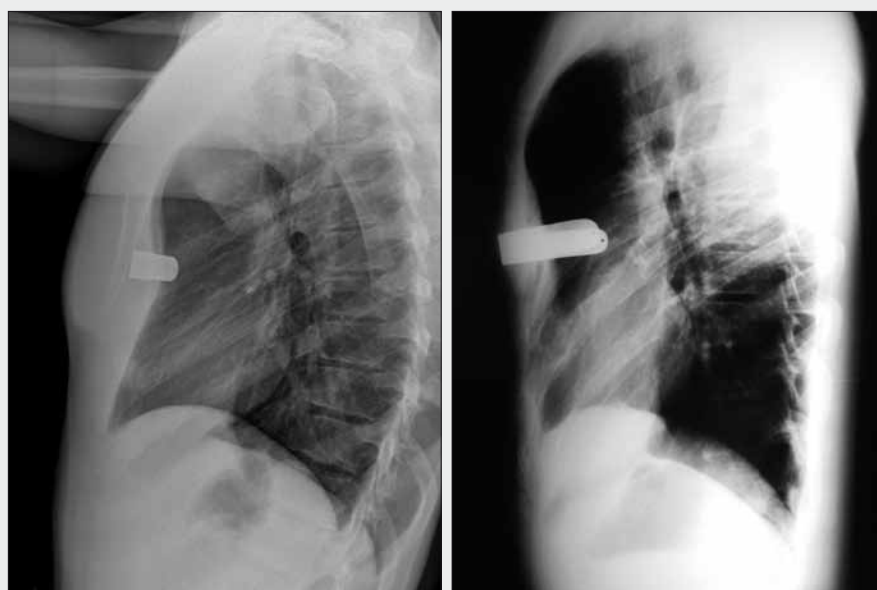
▲ Obr. 13A

▲ Obr. 13B

▲ Obr. 13C

Obr. 13. **RTG obraz rôznych typov dláh pri korekcii pectus excavatum.** A – Jensenova dlaha pre modifikovanú Ravitchovu korekciu (Medin, Česká republika); B – Pectus Bar® s laterálnym stabilizátorom (Biomet Microfixation, USA) pre MIRPE; C – Pectus Security Implant® so zabudovaným laterálnym stabilizátorom (Hofer GmbH & Co KG, Rakúsko) pre MIRPE

Fig. 13. **Different types of pectus bars.** A – Jensen bar for highly modified Ravitch repair (Medin, Czech Republic); B – Pectus Bar® with lateral stabiliser (Biomet Microfixation, USA) for MIRPE; C – Pectus Security Implant® with built-in stabiliser (Hofer GmbH & Co KG, Austria) for MIRPE



▲ Obr. 14A

▲ Obr. 14B

Obr. 14. **Umiestnenie Jensenovej dlahy pri modifikovanej Ravitchovej korekcii.** A – retrosternálne umiestnenie; B – presternálne umiestnenie

Fig. 14. **Different Jensen bar position in patients after highly modified Ravitch repair.** A – retrosternal bar placement; B – presternal bar placement



▲ Obr. 15A

▲ Obr. 15B

Obr. 15. **RTG obraz po MIRPE.** A – technika podľa Nussa; B – technika „short-bar“ podľa Pilegaarda

Fig. 15. **CXR in patients after MIRPE.** A – Nuss technique; B – „short-bar“ technique by Pilegaard



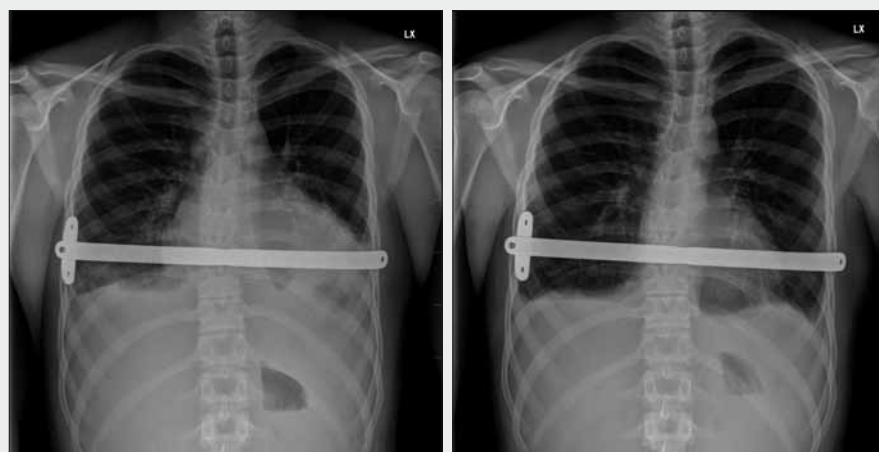
▲ Obr. 16A

▲ Obr. 16B

▲ Obr. 16C

Obr. 16. **Včasnú komplikáciu po korekcii pectus excavatum.** A – reziduálny ľavostranný hrotový pneumotorax po MIRPE; B – symptomatický fluidotorax po HMRR; C – reziduálny výpotok po MIRPE

Fig. 16. **Early complications after pectus excavatum correction.** A – residual left-sided apical pneumothorax after MIRPE; B – symptomatic pleural effusion after HMRR; C – residual pleural effusion after MIRPE

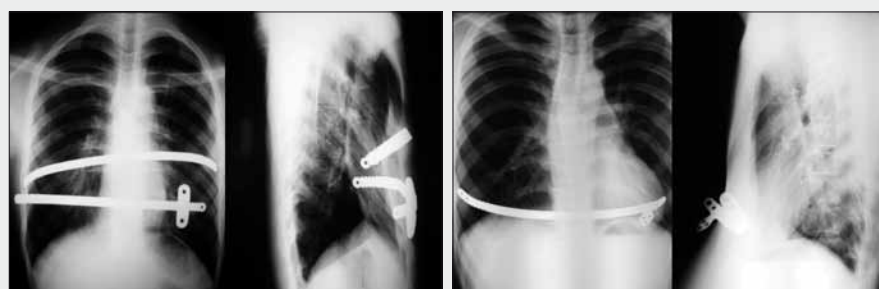


▲ Obr. 17A

▲ Obr. 17B

Obr. 17. **Fluidoperikard u pacienta po korekcii technikou MIRPE.** A – RTG hrudníka u pacienta s fluidoperikardom; B – RTG hrudníka u pacienta po drenáži fluidoperikardu

Fig. 17. **Fluidopericardium after MIRPE.** A – CXR in patient with fluidopericardium; B – CXR in same patient after pericardiocentesis



▲ Obr. 18A

▲ Obr. 18B

Obr. 18C ▶

Obr. 18. **Neskoré komplikácie po korekcii MIRPE.** A – neúplná rotácia proximálnej dlahy bez potreby reoperácie; B – kompletná rotácia dlahy indikovaná na reoperáciu; C – parciálna dislokácia stabilizátora na podklade poškodenia fixačného drôteného stehu

Fig. 18. **Pectus Bar dislocation after MIRPE.** A – partial rotation of the proximal Pectus bar® (Biomet Microfixation, USA); B – complete rotation of the Pectus Security Implant® (Hofer GmbH & Co KG, Austria) indicated for reoperation; C – incomplete lateral stabiliser dislocation with wire breakage



môže počas obdobia implantácie dlahy zhoršiť závažnosť idiopatickej skoliózy.

V súbore autorov publikácie sa vyskytujú CT nálezy pacientiek s ťažkým stupňom PE, ktoré v minulosti absolvovali augmentáciu prsníkov z estetickej indikácie (obr. 11). Použitie prsníkových implantátov u pacientiek s ťažkou deformitou nemôžeme podľa súčasných odporúčaní považovať za metódu voľby. Prítomnosť implantátu v retromamárnom priestore môže skomplikovať prípadný korekčný výkon v budúcnosti. Korekcia deformity u pacientiek so subpektorálnym uložením implantátov je možná len po ich odstránení.

Pridružené vývojové anomálie rebier patria medzi relatívne časté vedľajšie nálezy pri RTG a CT vyšetrení skeletu hrudnej steny. Ich incidencia v kaukazskej populácii u pacientov s deformitami hrudnej steny a bez nej je skoro identická (9% vs. 10%) (8, 25). Najčastejšou vrodenou anomáliou v súbore autorov práce je vidličkové rebro prítomné skoro u 3% pacientov (obr. 12).

RENTGENOVÉ VYŠETROVACIE TECHNIKY U PACIENTA PO OPERAČNEJ KOREKCII

Kontrolné RTG vyšetrenie hrudníka pacienta v supinačnej polohe bezprostredne po operačnom výkone a štandardná PA projekcia pred prepustením sú často indikované za účelom vylúčenia pooperačných komplikácií (pneumotorax, fluidotorax, dislokácia dlahy). Pooperačné RTG vyšetrenie u asymptomatických pacientov po MIRPE však neprináša operantom žiadny benefit, a preto je indikované len u symptomatických pacientov (26).

Počas obdobia implantácie hrudníkovej dlahy pacienti absolvujú pravidelné kontroly aj s RTG vyšetrením hrudníka. Kilda s kolektívom systematicky hodnotili zmenu parametrov hrudného koša počas obdobia implantácie dlahy u detských pacientov po MIRPE. Potvrdili štatisticky signifikantný rozdiel v predoperačnej a pooperačnej hodnote HI ($3,58 \pm 0,9$ vs. $2,61 \pm 0,26$). Zároveň zaznamenali kontinuálnu úpravu deformity počas celého obdobia implantácie dlahy (27). Zhodné výsledky zaznamenali po MIRPE aj u dospelých pacientov. Pri vyhodnotení bočnej projekcie potvrdili nárast sternovertebrálnej vzdialenosti po korekcii v priemere o 2,22 cm (17).

Jednotlivé pracoviská používajú rôzne typy dláh a spôsoby ich fixácie. Najčastejšie používanou dlahou pre HMRR v Českej a Slovenskej republike je tzv. Jensenova dlahá (obr. 13). Operatér pri HMRR dlahu umiestňuje väčšinou retrosternálne. Zriedkavou alternatívou môže byť transternálne, alebo presternálne uloženie dlahy. Pri RTG vyšetrení na tento rozdiel upozorní rentgenológ bočná projekcia (obr. 14). Pri MIRPE väčšina pracovísk implantuje jednu alebo dve predtvarované dlahy. K dispozícii je viacero typov dláh od rôznych producentov (obr. 13). Časť pracovísk používa tzv. laterálne stabilizátory ako prevenciu rotácie dlahy. Laterálny stabilizátor sa umiestňuje najčastejšie na stranu nedominantnej hornej končatiny. Pracovisko autorov uprednostňuje použitie tzv. krátkej dlahy („short-bar“ technika), pri ktorej sa stabilizátor prikladá na ventrálnej priebeh hrudnej steny tesne laterálne od miesta prieniku dlahy cez hrudnú stenu (obr. 15).

MIRPE u dospelých pacientov je špecifické častou implantáciou dvoch hrudníkových dláh. Sú indikované skoro u tre-

tiny operantov. Vo vekovej skupine nad 30 rokov je použitie dvoch dláh potrebné až u 66% jedincov (28). Najčastejším dôvodom ich použitia je zvýšená rigidita hrudníka a dlhá deformita.

Zobrazovacie vyšetrenia po extrakcii dlahy

Proces operačnej korekcie deformity ukončuje extrakcia hrudníkovej dlahy. Po HMRR je dlahu možné extrahovať v závislosti od veku pacienta 6–12 mesiacov po jej implantácii. Dlahá po MIRPE sa extrahuje 3–4 roky po implantácii. Výkon spadá do spektra jednoduchovej chirurgie. Kontrolný RTG hrudníka je indikovaný len u symptomatických pacientov, pričom komplikácie s indikáciou chirurgickej intervencie (pneumotorax, hemotorax) postihujú približne 2% pacientov (29).

Zobrazovacie vyšetrenia pri komplikáciách korekcie PE

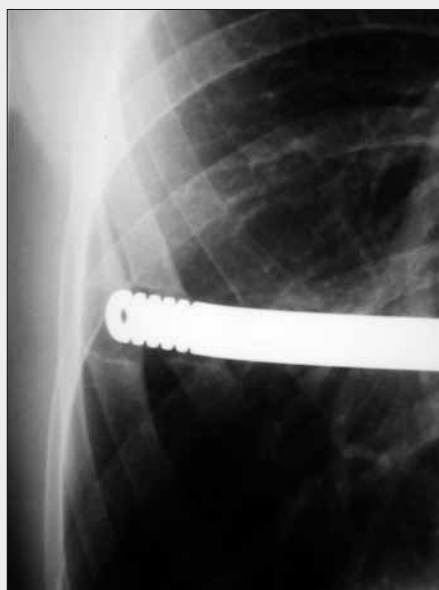
Operačná korekcia PE prináša u časti pacientov komplikácie. Tieto sa môžu vyskytnúť perioperačne, alebo v pooperačnom období. Ak berieme v úvahu časový faktor, tak komplikácie delíme na včasné a neskoré.

Včasné komplikácie

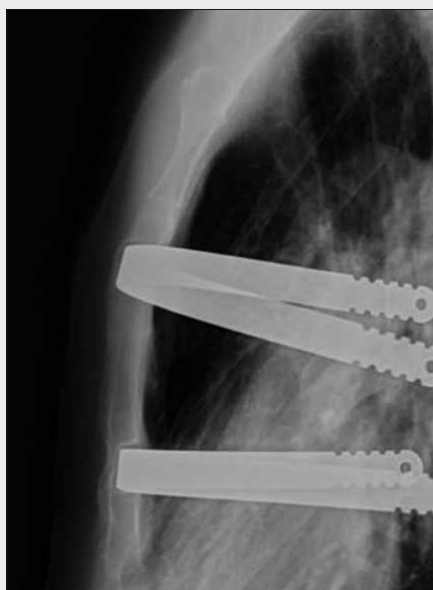
Včasné komplikácie vzniknú počas výkonu, alebo v bezprostrednom pooperačnom období. Častou komplikáciou je pneumotorax, ktorý sa vyskytuje u 20% operantov po MIRPE a približne u 2,5% pacientov po HMRR (obr. 16) (30, 31). Hrudná drenáž je indikovaná u 3–15% pacientov s pneumotoraxom. Väčšina pracovísk po MIRPE nezavádza hrudný drén. Pneumotorax je preto len rezíduum, ktoré vzniká následkom nedostatočnej evakuácie vzduchu z pleurálnej dutiny na konci výkonu. Fluidotorax je možné detekovať skoro u 30% pacientov po MIRPE a 5% pacientov po HMRR (obr. 16) (30, 31). Zavedenie hrudného drénu je indikované približne u 1–8% prípadov (32, 33). Zriedkavou príčinou fluidotoraxu u pacientov po korekcii s použitím dlahy z chirurgickej ocele je alergická reakcia na niektorú z jej zložiek. Fluidoperikard komplikuje pooperačný priebeh u necelých 3% pacientov po MIRPE a 1,2% po HMRR (obr. 17). U časti operantov môže pri jeho etiopatogenéze zohrať úlohu operačná trauma perikardu. Perikardiálny výpotok môže sprevádzať tvorbu fluidotoraxu u pacientov s nepoznanou alergiou na zložky dlahy. Intervencia je potrebná u 0,6% pacientov (30). Hemotorax ako včasná komplikácia sa vyskytuje u menej ako 4% pacientov (33). Bronchopneumónia môže skomplikovať pooperačný priebeh skoro u 5% operantov po HMRR a v necelom 1% u pacientov po MIRPE (31).

Neskoré komplikácie

Neskoré komplikácie môžu vzniknúť počas celej doby implantácie dlahy. Najčastejšou je dislokácia podpornej hrudníkovej dlahy. Dlahá u pacientov po HMRR môže vycestovať do pleurálnej dutiny, perikardu, alebo zriedkavo až do peritoneálnej dutiny. U pacientov po MIRPE sa stretávame s rotáciou dlahy okolo jej pozdĺžnej osi. Najextrémnejším nálezom môže byť rotácia dlahy o 180°, kedy jej konvexita smeruje k orgánom



▲ Obr. 19A



▲ Obr. 19B

Obr. 19. **Patologická interakcia medzi dlahou a skeletom hrudníka.** A – osteolýza rebier indukovaná tlakom dlahy; B – sternálna erózia spôsobená dlahami pri MIRPE

Fig. 19. **Pathological interaction between bar and bony thorax.** A – pressure induced osteolytic changes in ribs caused by bar; B – lateral projection of the sternal erosion in MIRPE patient



▲ Obr. 20

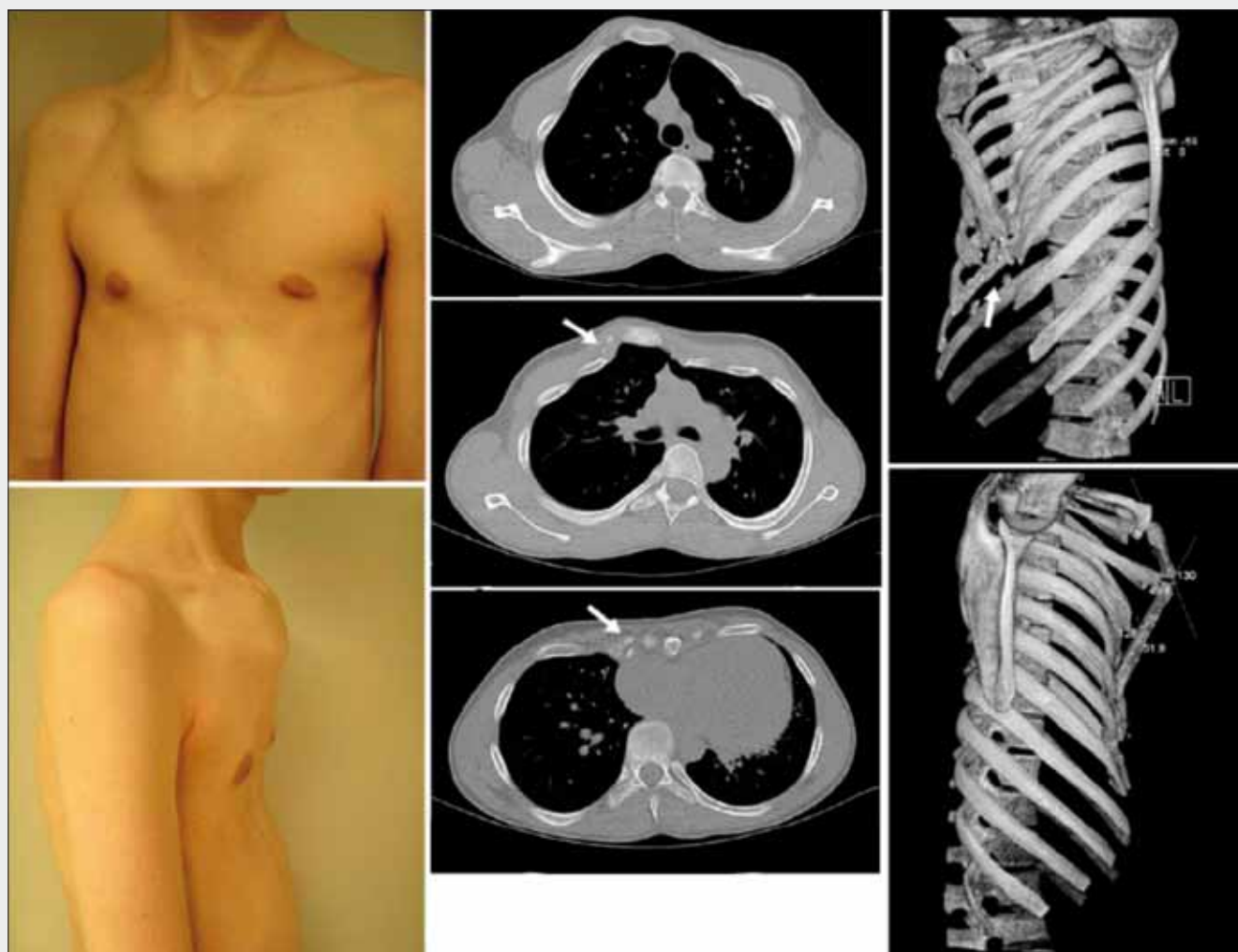
Obr. 20. **Pseudoartróza po priečnej osteotómii sternu po modifikovanej Ravitchovej korekcii**
Fig. 20. **Pseudoarthrosis after sternal osteotomy in HMRR patient**

mediastína (obr. 18). Príčinou býva neadekvátna fixácia dlahy, rigidný hrudník a asymetrická, alebo excentrická deformita s torziou sternu. Dislokácia býva prítomná v necelých 6% prípadov (32). Príčinou dislokácie laterálneho stabilizátora je jeho nedostatočná fixácia alebo umiestnenie laterálneho stabilizátora tesne na okraji dlahy (obr. 18). Môže sa vyskytnúť u 4,2% pacientov (33). Pri ruptúre interkostálnych svalov vznikne poškodenie celistvosti interkostálneho svalstva laterálne od miesta prieniku záväzka cez hrudnú stenu. Poškodenie môže byť unilaterálne alebo bilaterálne a spôsobí ju technicky nesprávna preparácia záväzkom. Následkom poškodenia interkostálneho svalstva dôjde k zanoreniu dlahy, čo sa klinicky prejaví recidívou nálezu. V niektorých prípadoch môže tlak dlahy na rebra a sternum indukovať osteolýzu príľahlej kosti. Osteolýza je vo väčšine prípadov len RTG nálezom bez závažného klinického korelátu. V hrudnej kosti osteolýza prebieha pod obrazom sternálnej erózie (obr. 19). Tieto nále-

zy nemajú vplyv na extrakciu dlahy, nespôsobujú počas výkonu a po ňom žiadne komplikácie.

U pacientov s HMRR je súčasťou korekcie priečna osteotómia sternu, pri ktorej operatér preruší kontinuitu ventrálnej laminy hrudnej kosti. Preťatie celej hrúbky sternu môže spôsobiť zhojenie s pseudoartrózou alebo s dislokáciou fragmentov. Pseudoartróza sa klinicky prejaví algickým stavom. Zhojenie fragmentov v dislokácii vedie k esteticky neuspokojivému výsledku (obr. 20).

Zriedkavou, ale závažnou komplikáciou HMRR je získaná asfyktická chondrodystrofia (obr. 21). Vzniká u detských pacientov ako následok extenzívnej resekcie chrupaviek rebier s poškodením rastových centier v kostochondrálnej oblasti rebier v skorom veku dieťaťa. Rast jazvovito zmenenej ventrálnej časti hrudnej steny sa zastaví, čo neskôr rezultuje v ťažkú reštriktívnu ventilačnú poruchu, ktorá môže viesť k smrti pacienta (4).



▲ Obr. 21

Obr. 21. **Klinický nález, axiálne CT skeny a 3D zobrazenie u pacienta so získanou asfyktickou chondrodystrofiou** (prevzaté z: Calloway HE, Chhotani AN, Yueh ZL, Phillips DJ. Three-dimensional computed tomography for evaluation and management of children with complex chest wall anomalies: useful information or just pretty pictures? *Journal of Pediatric Surgery* 2011; 46(4): 640–647 – s povolením od Elsevier)

Fig. 21. **Clinical Picture, axial CT and 3D-CT reformation in patient with acquired asphyxiating chondrodystrophy** (reprinted from: Calloway HE, Chhotani AN, Yueh ZL, Phillips DJ. Three-dimensional computed tomography for evaluation and management of children with complex chest wall anomalies: useful information or just pretty pictures? *Journal of Pediatric Surgery* 2011; 46(4): 640–647 – with permission from Elsevier)

ZÁVER

Rentgenové zobrazovacie vyšetrenia majú v diagnostike pectus excavatum dôležité postavenie. Umožňujú zhodnotiť závažnosť deformity a parametre získané týmito vyšetreniami sú najdôležitejším indikačným kritériom pre operačnú korekciu. Dobré výsledky operačnej korekcie pectus excavatum vychádzajú z faktu, že v poslednom období dochádza k postupnej koncentrácii týchto výkonov v malom

počte centier detskej a hrudníkovej chirurgie. Vyššie počty výkonov a špecializácia pracovísk na tieto výkony rezultujú v nižšom výskyte komplikácií. Analogicky s tým sa aj ťažisko zobrazovacej diagnostiky presúva do týchto zariadení a rentgenológovia z iných pracovísk sa s pacientami s touto diagnózou stretávajú zriedkavejšie. Pacienti však pochádzajú z rôznych častí Českej a Slovenskej republiky, a preto v prípade akútnych komplikácií musia rentgenové nálezy adekvátne zhodnotiť aj v spádovom zdravotníckom zariadení.

LITERATURA

1. Goretsky MJ, Kelly RE Jr., Croitoru D, Nuss D. Chest wall anomalies: pectus excavatum and pectus carinatum. *Adolesc Med Clin* 2004; 15(3): 455–471.
2. Feng J, Hu T, Liu W, et al. The biomechanical, morphologic, and histochemical properties of the costal cartilages in children with pectus excavatum. *J Pediatr Surg* 2001; 36(12): 1770–1776.
3. Fokin AA, Steuerwald NM, Ahrens WA, et al. Anatomical, histologic and genetic characteristics of congenital chest wall deformities. *Semin Thorac Cardiovasc Surg* 2009; 21(1): 44–57.

4. Chest Wall Deformities. In: Puri P, Holwarth M (eds.) *Pediatric Surgery: Diagnosis and management*. Berlin-Heidelberg: Springer Verlag 2009; 247–256.
5. **Park HJ, Lee SY, Lee CS, Youm W, Lee KR.** The Nuss procedure for pectus excavatum: evolution of techniques and early results on 322 patients. *Ann Thorac Surg* 2004; 77(1): 289–295.
6. **Haller Jr JA, Kramer SS, Lietman SA.** Use of CT scans in selection of patients for pectus excavatum surgery: A preliminary report. *Journal of Pediatric Surgery* 1987; 22(10): 904–906.
7. **Kilda A, Basevicius A, Barauskas V, et al.** Radiological assessment of children with pectus excavatum. *The Indian Journal of Pediatrics* 2007; 74(2): 143–147.
8. **Calloway EH, Chhotani AN, Lee YZ, et al.** Three-dimensional computed tomography for evaluation and management of children with complex chest wall anomalies: useful information or just pretty pictures? *Journal of Pediatric Surgery* 2011; 46(4): 640–647.
9. **Raichura N, Entwisle J, Leverment J, et al.** Breath-hold MRI in evaluating patients with pectus excavatum. *British Journal of Radiology* 2001; 74(884): 701–708.
10. **Birkemeier KL, Podberesky DJ, Salisbury S, et al.** Breathe in... breathe out... stop breathing: does phase of respiration affect the Haller index in patients with pectus excavatum? *AJR Am J Roentgenol* 2011; 197(5): W934–939.
11. **Albertal M, Vallejos J, Bellia G, et al.** Changes in chest compression indexes with breathing underestimate surgical candidacy in patients with pectus excavatum: A computed tomography pilot study. *Journal of Pediatric Surgery* 2013; 48(10): 2011–2016.
12. **Daunt SW, Cohen JH, Miller SE.** Age-related normal ranges for the Haller index in children. *Pediatr Radiol* 2004; 34(4): 326–330.
13. **St. Peter SD, Juang D, Garey CL, et al.** A novel measure for pectus excavatum: the correction index. *Journal of Pediatric Surgery* 2011; 46(12): 2270–2273.
14. **Poston PM, Patel SS, Rajput M, et al.** The Correction Index: Setting the Standard for Recommending Operative Repair of Pectus Excavatum. *The Annals of Thoracic Surgery* 2014; 97(4): 1176–1180.
15. **Mueller C, Saint-Vil D, Bouchard S.** Chest x-ray as a primary modality for preoperative imaging of pectus excavatum. *Journal of Pediatric Surgery* 2008; 43(1): 71–73.
16. **Khanna G, Jaju A, Don S, et al.** Comparison of Haller index values calculated with chest radiographs versus CT for pectus excavatum evaluation. *Pediatr Radiol* 2010; 40(11): 1763–1767.
17. **Wu TH, Huang TW, Hsu HH, et al.** Usefulness of chest images for the assessment of pectus excavatum before and after a Nuss repair in adults. *European Journal of Cardio-thoracic Surgery* 2013; 43(2): 283–287.
18. **Backer OG, Brunner S, Larsen V.** Radiologic Evaluation of Funnel Chest. *Acta Radiologica*, 1961; 55(4): 249–256.
19. **Ohno K, Nakahira M, Takeuchi S, et al.** Indications for surgical treatment of funnel chest by chest radiograph. *Pediatr Surg Int* 2001; 17(8): 591–595.
20. **Rattan A, Laor T, Ryckman F, et al.** Pectus excavatum imaging: enough but not too much. *Pediatric Radiology* 2010; 40(2): 168–172.
21. **Arn PH, Scherer LR, Haller JA Jr, et al.** Outcome of pectus excavatum in patients with Marfan syndrome and in the general population. *The Journal of pediatrics* 1989; 115(6): 954–958.
22. **Krasopoulos G, Goldstraw P.** Minimally invasive repair of pectus excavatum deformity. *European Journal of Cardio-thoracic Surgery* 2011; 39(2): 149–158.
23. **Hong JY, Suh SW, Park HJ, et al.** Correlations of adolescent idiopathic scoliosis and pectus excavatum. *Journal Of Pediatric Orthopedics* 2011; 31(8): 870–874.
24. **Wang Y, Chen G, Xie L et al.** Mechanical factors play an important role in pectus excavatum with thoracic scoliosis. *Journal of Cardiothoracic Surgery* 2012; 7: 118–120.
25. **Merks JHM, Smets AM, Van Rijn RR, et al.** Prevalence of rib anomalies in normal Caucasian children and childhood cancer patients. *European Journal of Medical Genetics*, 2005; 48(2): 113–129.
26. **Knudsen MR, Nyboe C, Hjortdal VE, et al.** Routine postoperative chest X-ray is unnecessary following the Nuss procedure for pectus excavatum. *Interactive CardioVascular and Thoracic Surgery* 2013; 16(6): 830–833.
27. **Kilda A, Lukosevicius S, Barauskas V, et al.** Radiological changes after Nuss operation for pectus excavatum. *Medicina (Kaunas)*, 2009; 45 (9): 699–705.
28. **Pilegaard HK.** Extending the use of Nuss procedure in patients older than 30 years. *European Journal of Cardio-thoracic Surgery* 2011; 40(2): 334–338.
29. **Nyboe C, Knudsen MR, Pilegaard HK.** Elective pectus bar removal following Nuss procedure for pectus excavatum: a single-institution experience. *European Journal of Cardio-thoracic Surgery* 2011; 39(6): 1040–1041.
30. **Castellani C, Saxena AK, Zebedin D, et al.** Pleural and pericardial morbidity after minimal access repair of pectus excavatum. *Langenbeck's Archives of Surgery* 2009; 394(4): 717–721.
31. **Williams AM, Crabbe DC.** Pectus deformities of the anterior chest wall. *Paediatr Respir Rev* 2003; 4(3): 237–242.
32. **Nuss D.** Minimally invasive surgical repair of pectus excavatum. *Seminars in Pediatric Surgery* 2008; 17(3): 209–217.
33. **Castellani C, Schalamon J, Saxena A, et al.** Early complications of the Nuss procedure for pectus excavatum: a prospective study. *Pediatric Surgery International* 2008; 24(6): 659–666.