3D tlačené syntetické modely určené na tréning minimálne invazívnej detskej chirurgie – vlastné skúsenosti a prehľad literatúry

SÚHRN

Detská chirurgia je lekárska špecializácia, ktorá sa zameriava na diagnostiku, liečbu a pooperačnú starostlivosť o deti s vrodenými a získanými anomáliami a chorobami. Cieľom detských chirurgov je zabezpečiť, aby deti dostali najlepšiu možnú starostlivosť a aby sa minimalizovali riziká a komplikácie spojené s chirurgickými zákrokmi. Súčasní detskí chirurgovia čelia mnohým výzvam, vrátane malému počtu detí s vrodenými vývojovými chybami; ekonomické tlaky a snaha o zvýšenie efektivity vedú k znižovaniu času stráveného na jednotlivých operáciách, čo môže obmedzovať možnosť dôkladného tréningu mladých chirurgov. Tieto výzvy vyžadujú inovatívne prístupy a neustále zlepšovanie vzdelávacích a tréningových metód. Minimálne invazívna chirurgia sa stala významnou súčasťou detskej chirurgie, prinášajúc benefity ako rýchlejšie zotavenie, menšie operačné rany a nižšie riziko infekcie. Avšak, minimálne invazívna detská chirurgia je technicky náročná a vyžaduje excelentnú technickú zručnosť. Potreba udržiavať a zlepšovať chirurgické zručnosti vyžaduje neustály tréning. Súčasné vzdelávacie metódy sa čoraz viac spoliehajú na simulačné technológie, aby sa zlepšila kvalita a bezpečnosť tréningu s čo najnižším rizikom pre pacientov. Integrácia technológie 3D tlače a obrazových dát z CT a MR skenov priniesla nové možnosti na tvorbu vysoko realistických simulačných modelov pre minimálne invazívnu chirurgiu. Tieto modely presne replikujú prostredie, s ktorým sa stretávame napr. pri novorodeneckej chirurgii. V tomto článku uvádzame vlastné skúsenosti s vývojom a tvorbou 3D tlačených syntetických modelov určených na tréning torakoskopickej operácie atrézie pažeráka s tracheoezofageálnou fistulou. Cieľom tohto súhrnného článku je poskytnúť aktuálny prehľad literatúry venujúcej sa syntetickým 3D tlačeným modelom určeným pre tréning minimálne invazívnej detskej chirurgie.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ

detská chirurgia – minimálne invazívna chirurgia – atrézia pažeráka – simulácia – 3D model

P. Zahradníková[1]
M. Lindák[1]
P. Vitovič[2]
M. Laurovičová[2]
T. Tvrdoň[3]
S. Hnilicová[2]
J. Babala[1]

[1] Klinika detskej chirurgie LF UK a NÚDCH, Bratislava, Slovensko
[2] Ústav medicínskeho vzdelávania a simulácií, LF UK v Bratislave, Slovensko
[3] Oddelenie detskej neurochirurgie, Detská neurochirurgia – Neurocentrum, NÚDCH, Bratislava, Slovensko

REVIEW ARTICLE

3D printed synthetic models for training minimally invasive pediatric surgery – our own experience and literature review

SUMMARY

Pediatric surgery is a medical specialty focused on the diagnosis, treatment, and postoperative care of children with congenital and acquired anomalies and diseases. The goal of pediatric surgeons is to ensure that children receive the best possible care while minimizing the risks and complications associated with surgical procedures. Contemporary pediatric surgeons face many challenges, including a decline in the number of children with congenital developmental defects, economic pressures, and efforts to increase efficiency, leading to reduced time spent on individual surgeries. This can limit the opportunity for thorough training of young surgeons. These challenges require innovative approaches and continuous improvement in educational and training methods. Minimally invasive surgery has become a significant part of pediatric surgery, offering benefits such as faster recovery, smaller surgical wounds, and lower risk of infection. However, minimally invasive pediatric surgery is technically demanding and requires excellent technical skills. The need to maintain and improve surgical skills demands ongoing training. Current educational methods increasingly rely on simulation technologies to enhance the quality and safety of training without risk to patients.

doi: 10.48095/ccrvch202511

The integration of 3D printing technology and imaging data from CT and MRI scans has opened new possibilities for creating highly realistic simulation models for minimally invasive surgery. These models accurately replicate the environment encountered in procedures like neonatal surgery. In this article, we present our experience with the development and creation of 3D-printed synthetic models designed for training thoracoscopic surgery of esophageal atresia with tracheoesophageal fistula. The aim of this review article is to provide an up-to-date overview of the literature on synthetic 3D-printed models designed for training in minimally invasive pediatric surgery.

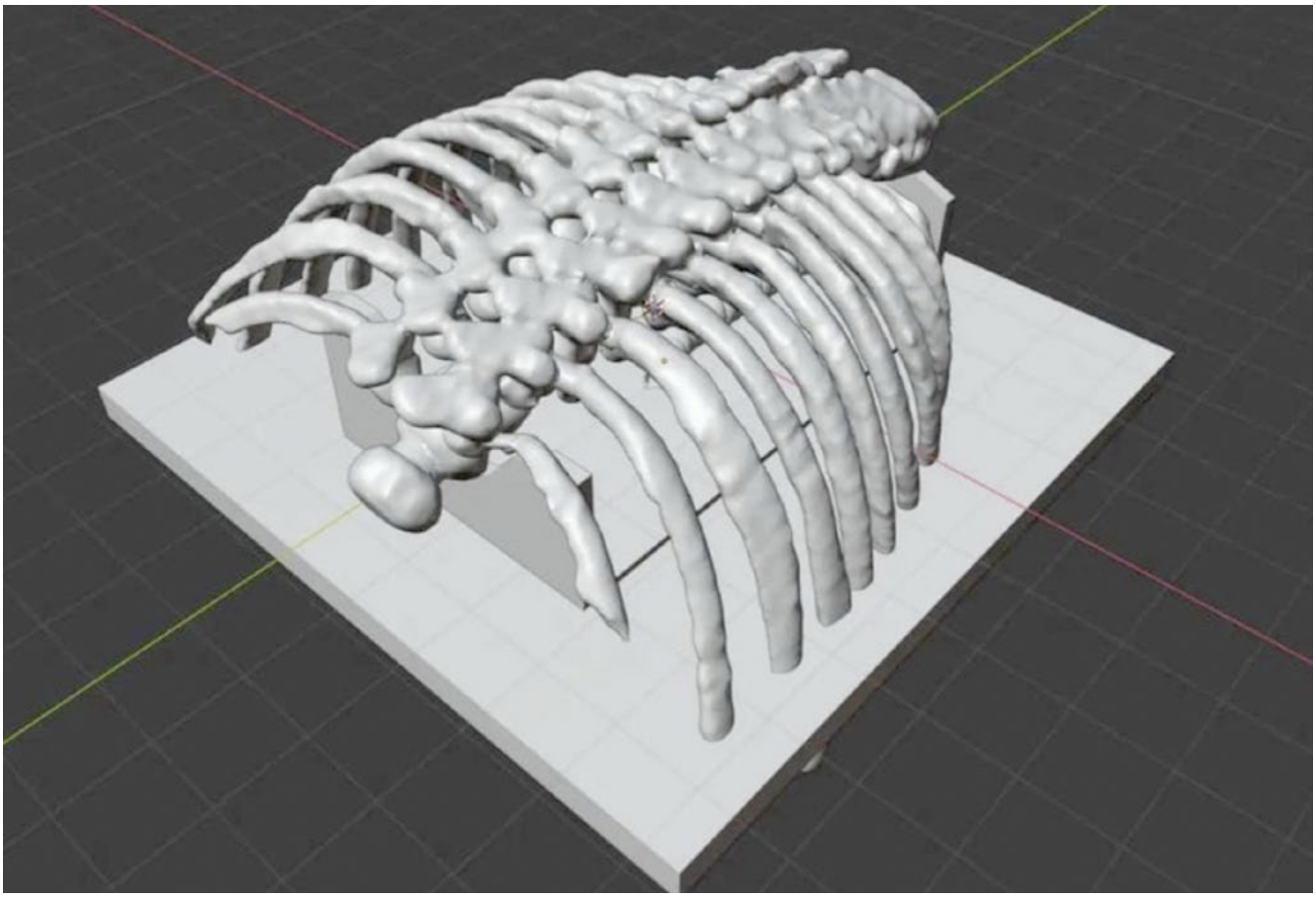
KEY WORDS
pediatric surgery – minimally invasive surgery – esophageal atresia – simulation – 3D model

ÚVOD

Raná história chirurgie nasledovala klasickú filozofiu edukácie „vidieť jeden, robiť jeden, učiť jeden“, ale odvtedy sa vyvinula na moderné metódy vrátane tréningu založeného na simulácii (simulation based training – SBT) [1]. Súčasní detskí chirurgovia čelia mnohým výzvam pri vzdelávaní, vrátane malého počtu operovaných vrodených chorôb, zníženiu pracovných hodín, tlaku na znižovanie operačného času jednotlivých zákrokov. V posledných rokoch MIS (minimally invasive sugery) získala významné miesto v mnohých chirurgických odboroch, vrátane všeobecnej chirurgie, gastrointestinálnej chirurgie, gynekológie, ortopédie, urológie. MIS má mnohé benefity pre pacienta, a to najmä rýchlejšie zotavovanie, menšie operačné rany, znížený pooperačný diskomfort pre pacienta, nižšie riziko infekcie, kratšiu dobu hospitalizácie a v neposlednom rade priaznivejší kozmetický výsledok [2]. MIS v detskej chirurgii je stále veľkou výzvou, vzhľadom k technickej náročnosti. Najmä MIS u novorodencov a dojčiat vyžaduje excelentnú technickú zručnos’ a dlhoročné skúsenosti. Znižujúci sa počet vrodených chirurgických ochorení, a tým znižujúci sa počet pacientov, obmedzuje možnosť rozvoja zručností MIS v detskej chirurgii. Na druhej strane, simulácie, ktoré sú používanými tréningovými modalitami v mnohých chirurgických odvetviach, môžu napomôcť rozvíjať chirurgické zručnosti MIS v detskej chirurgii, a preto by simulačný tréning mal byť rutinnou súčasťou tréningového kurikula. Simulácia umožňuje v bezpečnom prostredí opakovane a rutinne trénovať reálne klinické úkony až do dosiahnutia požadovanej kvality [3]. Existuje niekoľko možností pre simulačný tréning v chirurgii. Najjednoduchšími simulátormi sú tzv. bench simulators, alebo stolové trenažéry. Stolové laparoskopické trenažéry sú trenažéry určené na nácvik laparoskopických chirurgických techník. Ide o zariadenia, ktoré simulujú operačné prostredie a umožňujú chirurgom alebo študentom medicíny cvičiť a zdokonaľovať svoje zručnosti bez rizika pre pacienta. Tieto trenažéry sú zvyčajne vybavené kamerami, nástrojmi a rôznymi modelmi, napodobňujúce skutočné anatomické štruktúry a podmienky v tele. Cieľom je poskytnúť realistickú spätnú väzbu a pomôcť užívateľom zlepšiť ich techniku a koordináciu pri laparoskopických operáciách. Existujú mnohé syntetické modely na výučbu špecifických operácií, ako je karotická endarterektómia alebo femoro-popliteálny bypass. určené na výučbu v oblasti cievnej chirurgie [4]. Trenažéry s virtuálnou realitou (VR) umožňujú kompletnú simuláciu procedúry s obmedzenými variantami brušnej anatómie, vrátane simulácií kritických fáz operácie ako napr. simuláciou aktívneho krvácania. Avšak, zvyčajne im chýba úchopová spätná väzba a autentický pocit manipulácie s tkanivom [5]. Boxové, stolové trenažéry a trenažéry s VR umožňujú nácvik najmä základných chirurgických zručností. Na zložitejšie chirurgické postupy, akými sú intraabdominálne procedúry, novorodenecké operácie, event. komplikácie MIS je vhodnejšie in vivo prostredie. Najčastejšie používané zvieracie modely v chirurgii sú prasacie modely, ktoré umožňujú vykonávať niekoľko laparoskopických zákrokov, od tých základných, ako operácia ingvinálnej hernii, varikokély, až po tie zložité, ako je nefrektómia, ureterálna reimplantácia, suspenzia močového mechúra. Králičie modely sú vhodné na tréning v laparoskopickej novorodeneckej chirurgii. Nevýhodou animálnych modelov je ich vysoká finančná náročnosť a zákony o ochrane zvierat, ktoré minimalizujú zvieracie experimenty [6]. Pokrok v MIS simulačnom tréningu priniesli technológie 3D tlače. Integrácia 3D tlačovej technológie a obrazových dát z CT a MR skenov otvorila nové možnosti na vytváranie vysoko verných MIS simulačných modelov. Použitie technológie 3D tlače na vytváranie simulačných modelov má mnoho výhod. Všeobecne je 3D tlač nákladovo efektívna a ľahko škálovateľná. Navzdory faktu, že 3D tlač neprináša nové informácie v porovnaní so vstupnými zobrazovacími vyšetreniami, jeho výhodou je prístupnejšia podoba a intuitívnejšie pochopenie týchto informácií. Jedná sa o formát, ktorý je pre ľudské vnímanie prirodzenejší. Prínos spočíva v lepšej priestorovej orientácii a rozpoznaní operovaných štruktúr. Uchopiteľnosť a porozumenie infomácií z 3D modelu je pre väčšinu lekárov ľahšia, ako len popis a dvojrozmerné skeny zo zobrazovacích vyšetrení [7]. Kombinované použitie projektovania pomocou počítača CAD (computer-assisted design) a 3D tlače uľahčuje výrobu simulačných modelov vytvorených na základe obrazových dát reálnych pacientov (CT, MR). Modely môžu byť navrhnuté tak, aby kopírovali anatómiu pacienta. Simulačné modely využiteľné na tréning MIS v detskej chirurgii by mali spĺňať niekoľko kľúčových kritérií, ako dostupnosť, opakovateľnosť, syntetické materiály by mali byť svojimi fyzikálnymi vlastnosťami najviac približujúce sa ľudským tkanivám [8,9].

Cieľom tejto práce je poskytnúť informácie o aktuálnej literatúre, ktorá sa venuje téme syntetických modelov určených na tréning MIS v detskej chirurgii a prezentovať vývoj dvoch 3D tlačených syntetických modelov atrézie pažeráka s tracheoezofageálnou fistulou (AP/TEF), určených

Obr. 1. / *Fig. 1.*



Segmentovaním vytvorený model určený na 3D tlač.

A model created by segmentation intended for 3D printing.

na tréning MIS. Štúdie bola schválená Etickou komisiou NÚDCH Bratislava.

VÝVOJ A TVORBA SIMULAČNÉHO MODELU AP/TEF

Model č. 1.

Model atrézie pažeráka bol vyvinutý pomocou kombinácie modelovanie fúzneho nanášania (fused deposition modeling – FDM) 3D tlače a odlievania silikónu vytvrdzovaného platinou. Na začiatku bol použitý CT sken novorodenca (so súhlasom rodiča a po schválení etickou komisiou) na segmentáciu chrbtice dieťaťa spolu s rebrami, lopatkou a kľúčnymi kosťami pomocou softvéru 3D Slicer. Výsledný STL súbor (formát na ukladanie 3D modelov) bol následne upravený v Blender 3D na začlenenie vnútorných upevňovacích prvkov pre pahýle pažeráka a priedušnicu (obr. 1).

Celkovo 3D tlačené komponenty pozostávajú z troch častí:

1. Základnej dosky, na ktorú sú pripevnené ostatné dve časti, aby sa zabránilo nežiaducemu pohybu.
2. Modelu hrudníka, tvoreného z 3D tlačenej chrbtice, rebier, lopatky a kľúčnej kosti.
3. Modelu vnútornej časti, na ktorej sa vymieňajú silikónové pahýle pažeráka.

Proces tlače trval 24 hod a bol realizovaný pomocou tlačiarne Prusa i3 MK3S nastavenou na výšku vrstvy 200 µm. Ako materiál bol použitý Prusament PLA (Prusa, Česká republika) v celkovej hmotnosti 178 g. Na výrobu silikónového pažeráka bol tiež použitý FDM tlačiareň, na ktorej sme po naprogramovaní vytlačili dve formy z PLA plastu – jednu pre proximálny a jeden pre distálny pažerákový pahýľ (obr. 2).

Tieto formy, po naplnení silikónom, umožnili vytvorenie dutého tubusu s hrúbkou steny menej ako 2 mm. Do silikónovej zmesi bol integrovaný power-mesh, aby sa predišlo roztrhnutiu počas šitia (obr. 3). Na obr. 4 uvádzame model pripravený na tréning rorakoskopickej operácie AE/TEF. Pri výrobe 3D tlačeného modelu AE/TEF bolo použité celkovo 178 g Prusamentu PLA (cena 30 eur za kilogram), čo predstavuje náklady na 3D filament vo výške 5,00 eur. Na výrobu silikónových pažerákových pahýľov bolo použitých 30 g silikónu v hodnote 2,00 euro. Celková hodnota modelu bola priemerne 7,00 euro.

Model sme následne validovali, pričom do validácie bolo zapojených 18 účastníkov (7 študentov medicíny, 4 lekári v príprave na špecializáciu z detskej chirurgie a 7 skúsených chirurgov). Model sme validovali s použitím Likertovej 5-bodovej škály. Simulátor preukázal vhodnosť ako tréningový nástroj, čo bolo indikované priemerným skóre 4,66. Priemerné skóre pre realizmus modelu a pracovné prostredie boli 4,25 a 4,5. Celkovo bola validita vzhľadu

Obr. 2. / *Fig. 2.*

Forma na vylievanie vrstvou silikónu, tvorba pahýľov pažeráka.

Mold for casting with a layer of silicone, creation of esophageal pouches.

Obr. 3. / *Fig. 3.*

Silikónové pahýle pažeráka s integrovanou sieťkou power-mesh.

Silicone esophageal stumps with integrated power-mesh net.

skórovaná signifikantne nižšie v skupine expertov v porovnaní so študentami medicíny/lekármi v príprave na špecializáciu (p = 0,0002).

Model č. 2

Po predchádzajúcom súhlase rodičov sme použili CT sken 1-mesačného dieťaťa (s hmotnosťou 3,2 kg) na účel vývoja syntetického modelu. CT vyšetrenie u dieťaťa bolo indikované z medicínskych dôvodov pre iné ochorenie. Následné spracovanie údajov prebiehalo v grafickom softvérovom prostredí, čo umožnilo konverziu do formátu vhodného pre protokoly 3D tlače. Použitím fotónovej tlačiarne Phrozen Mighty 8K (Phrozen Tech Co., Ltd., Taiwan) boli vytvorené tracheálne štruktúry. Zvolený materiálový substrát pre výrobu tracheálnych štruktúr bol materiál Flexible-X (Liqcreate, Holandsko), ktorý bol umiestnený do zásobníka vo fotónovej tlačiarni. Postupným vyťahovaním zo zásobníka bol zo spodnej strany osvetľovaný a v mieste osvetlenia následne polymerizovaný. Výsledkom je stuhnutá štruktúra, v našom prípade priedušnica (obr. 5).

Výroba syntetických pahýľov pažeráka – návrh syntézy foriem pre silikónové odliatky bol realizovaný v grafickom softvérovom prostredí a následne prevedený do formátu pre 3D tlač. Výroba bola vykonaná pomocou dvojzložkového silikónového zloženia Ecoflex 00-30 – doplneného pigmentmi napodobňujúcimi odtiene ľudskej kože (Ecoflex 00-30, Smooth-on Inc. USA). Pozoruhodné na procese odlievania pažerákových pahýľov bolo začlenenie jemnej sieťoviny, ktorá zlepšovala integritu a elasticitu výsledného syntetického pažeráka. Po vytvrdnutí boli všetky súčasti modelu spojené pomocou silikónového lepidla (obr. 6). Na výrobu modelu bolo použitých 10 g Flexible-X a 30 g silikónu. Celková cena modelu bola priemerne 8,00 euro.

Tridsať detských chirurgov validovalo AP/TEF model. Najvyššie hodnotenie dosiahol model za celkový dojem a užitočnosť pri tréningu detských chirurgov (priemerné skóre 4,5 a 4,6). Pracovný priestor dostal najnižšie hodnotenie (priemer 3,6 ± 0,8), pričom skúsení detskí chirurgovia ho hodnotili signifikantne nižšie (3,4) než skupina neskúsených (4,1; p = 0,030).

PREHĽAD LITERATÚRY – SYNTETICKÉ MODELY URČENÉ NA TRÉNING MIS V DETSKEJ CHIRURGII

Atrézia pažeráka/tracheoezofageálna fistula (AP/TEF)

Prvú úspešnú torakoskopickú operáciu atrézie pažeráka s trecheoezofageálnou fistulou vykonal v roku 1999 Steve Rothenberg [10]. Odvtedy pribúdajú pracoviská, kde sa atrézia pažeráka rieši minimálne invazívne.

MIS u novorodencov je veľmi technicky náročná a vyžaduje pokročilé MIS zručnosti. Pri torakoskopickej operácii AP/TEF je pre chirurga hneď niekoľko kľúčových výziev, ako je práca v extrémne malom prostredí, blízkosť životne dôležitých štruktúr, tendencia koncov pažeráka retrahovať a najmä ušitie suficientnej anastomózy medzi atretickými koncami pažeráka [11].

Pri torakoskopickej operácii AP nemožno opomenúť ani anesteziologickú stránku. Neurotoxicita anestetík sa stala v ostatnom období najdiskutovanejšou témou v pediatrickej anestéziológii a intenzívnej medicíne. Primeraná dĺžka operačného výkonu, ako aj správne vedená anestézia a analgézia je kľúčová pre zníženie mortality a morbidity novorodencov [12,13].

3D tlačené simulačné modely AP/TEF napomáhajú detským chirurgom trénovať jednotlivé kroky v bezpečnom simulovanom prostredí. Bolo navrhnutých a validovaných niekoľko syntetických modelov určených na tréning torakoskopickej operácie AP/TEF.

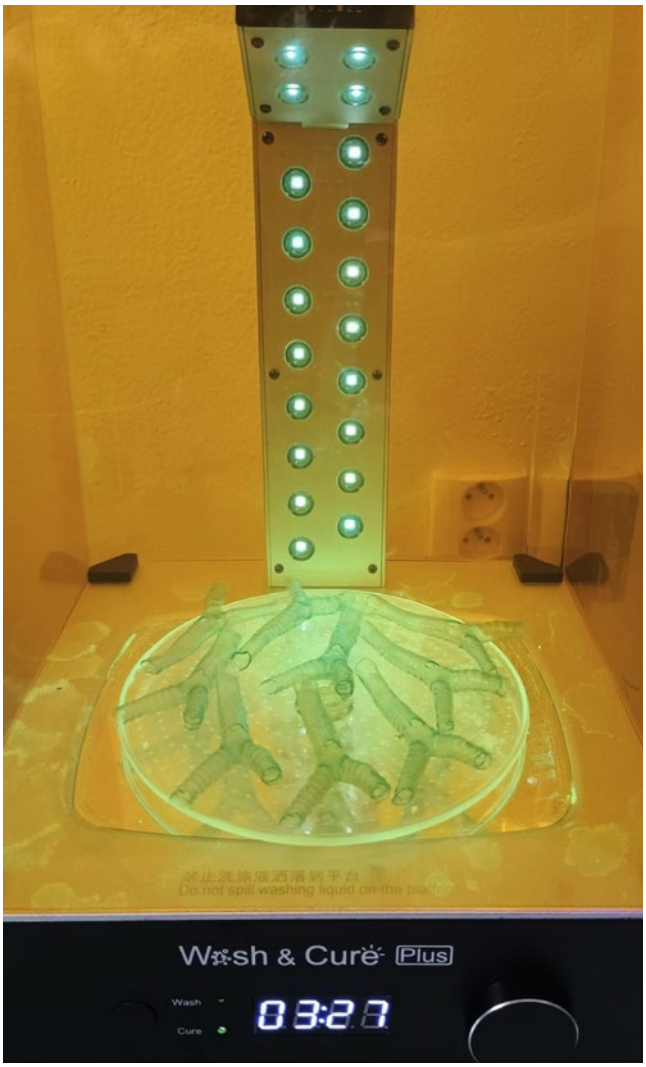
Barsness et al. vytvorili a validovali syntetický model AP/TEF vytvorený pomocou CAD, ktorý bol vložený do novorodeneckého hrudníka vytvoreného pomoc 3D tlačiarne a skenov CT hrudníka novorodenca. Model validovalo 47 účastníkov. Najvyššie hodnotenie na 5-bodovej Likertovej

Obr. 4. / *Fig. 4.*

3D tlačený syntetický model AP/TEF pripravený na tréning torakoskopickej operácie AP/TEF.

3D printed synthetic model of EA/TEF prepared for training for thoracoscopic surgery of EA/TEF.

Obr. 5. / *Fig. 5.*



Fotopolymerizácia (modré a ultrafialové žiarenie) a stuhnutie živice. Výsledkom sú pevné, ale pružné syntetické modely priedušnice.

Photopolymerization (blue and ultraviolet light) and hardening of the resin. The result is solid but flexible synthetic models of the trachea.

škále dosiahol simulátor v atribúte,výcvikového nástroja“ a to hodnotu 4,4, pričom nebol pozorovaný signifikantný rozdiel medzi neskúsenými a skúsenými chirurgami. Naopak najnižšiu hodnotu 3,5 bol hodnotený pri čiastkovej úlohe uzavretí TEF. Autori záverom konštatujú, že simulátor môže byť považovaný za vhodný pre nácvik MIS v novorodeneckej chirurgii [14].

Maricic et al. vytvorili model AP/TEF z domácich materiálov, ako je kus dreva (podpora), vlnité plastové trubky (PVC) rôznych veľkostí na simuláciu rebier, medzirebrových priestorov, priedušnice a chrbtice a rúrkové latexové balóniky na simuláciu pažeráka a pľúc na vytvorenie základného modelu. Toto zariadenie bolo vložené do hrudnej dutiny gumovej figuríny, ktorá simulovala novorodenca s hmotnosťou 3 kg s objemom pracovnej plochy 50 ml. Bolo použité bežné videoendoskopické vybavenie a 3 mm nástroje. Tridsaťdeväť účastníkov validovalo model s použitím Likertovej škály. V súvislosti s anatomickými charakteristikami modelu 94,5 % respondentov považovalo model za vysoko podobný alebo dobre podobný; 87,2 % respondentov považovalo model za schopný generovať dobré množstvo na tréning MIS operácie AP/TEF. V práci zaznamenali koreláciu medzi predchádzajúcimi skúsenosťami chirurga a ich výkonom na modeli vzhľadom na operačný čas, kvalitu anastomózy a poškodenie periférneho tkaniva [15].

Neville et al. vo svojej práci realizovali dotazník ohľadom simulačnej výučby v detskej chirurgii v UK, s prieskumu vyplynulo, že 79 % respondentov malo prístup k chirurgickej simulácii aspoň raz mesačne a 47 % malo prístup k simulátorom špecifickým pre pediatriu. Vnímaná užitočnosť simulácie bola hodnotená 4,1/5. Pomocou CT skenu novorodenca a 3D tlačiarne vyvinuli model na otvorenú operáciu AP/TEF. Do validácie bolo zaradených 40 chirurgov s rôznymi skúsenosťami. Záverom autori konštatujú, že model je užitočný najmä pre chirurgov v tréningu a je vizuálne aj funkčne porovnateľný so skutočným zákrokom. Model dokázal úspešne rozlíšiť medzi skúsenými a neskúsenými detskými chirurgami, čím poskytol objektívny dôkaz o jeho platnosti ako tréningového nástroja. Syntetický model môže byť použitý pre otvorenú aj torakoskopickú operáciu AP/TEF [16].

Obr. 6. / *Fig. 6.*

Model pripravený na použitie v simulátore.

Model ready for use in a simulator.

Syntetické modely určené na tréning MIS v detskej hrudnej chirurgii

Harada et al. v štúdii, do ktorej bolo zaradených 30 detských chirurgov, vyhodnocovali pomocou analýzy pohybu nástrojov intrakorporálne šitie a viazania uzlov. Analýzu vykonávali na konvenčnom boxovom simulátore a na 3D tlačenom modeli novorodeneckého hrudníka s diafragmatickou herniou. Čas dokončenia úlohy, celková dĺžka dráhy nástrojov a aplikovaná sila boli porovnávané medzi neskúsenými a skúsenými chirurgmi, ako aj medzi nastavením boxového trénera a modelom hrudníka. Skúsení chirurgovia preukázali lepší výkon vo všetkých parametroch pre obe nastavenia, a model detského hrudníka bol náročnejší kvôli detským charakteristikám, ktoré model replikoval [17].

Podobnú štúdiu realizovali aj Takazawa et al., ktorí hodnotili chirurgické zručnosti 53 detských chirurgov na pediatrickom torakoskopickom simulátore, ktorý bol vytvorený na 3D tlačiarni metódou segmentovania z CT skenu 1-ročného dieťaťa. Účastníci vykonali úlohu endoskopického intrakorporálneho šitia a viazania uzlov. Úloha bola hodnotená pomocou ôsmich metrík – skóre kontrolného zoznamu s 29 bodmi, skóre chýb, počet manipulácií, čas dokončenia úlohy, index sily, šírka štrbiny na podložke po šití a dráhy nástrojov pravou a ľavou rukou. Skúsení chirurgovia preukázali výrazne lepší výkon než neskúsení chirurgovia v šiestich metrikách v nastavení modelu detského hrudníka. Naopak, pri vykonávaní úlohy v boxovom simulátore neboli pozorované žiadne významné rozdiely medzi týmito dvoma skupinami [18].

Syntetické modely určené na tréning MIS pri vrodenej diafragmatickej hernii

Ljuhar et al. vytvorili syntetický model určený na tréning laparoskopickej operácie ingvinálnej hernie (IH) a vrodenej diafragmatickej hernie (congenital diaphragmatic hernia – CDH). Cieľom bolo vyhodnotiť konštrukčnú a obsahovú validitu simulátora. Celkovo 107 účastníkov dokončilo validačnú štúdiu – študenti medicíny (začiatočníci), lekári v príprave na špecializáciu v odbore detská chirurgia (stredne pokročilí) a konzultanti detskí chirurgovia (experti). Úlohou simulácie bolo uzavretie simulovaného ingvinálneho alebo bráničného herniálneho otvoru. Úloha bola hodnotená pomocou nového bodovacieho systému s maximálnym skóre 21 pre IH model a 15 pre CDH. Obsahová validita bola hodnotená na 6-bodovej Likertovej škále odbornou skupinou. Skupina expertov dosiahla výrazne lepšie výsledky ako študenti medicíny v oboch modeloch ($p < 0,05$). Model dosiahol vysokú úroveň konštrukčnej a obsahovej validity. Model dokázal úspešne rozlíšiť medzi expertmi, lekármi v tréningu a študentmi medicíny [19].

Obata et al. vyvinuli systém na objektívne overenie endoskopických chirurgických zručností detských chirurgov na torakoskopickom modeli vrodenej diafragmatickej hernie napodobňujúci veľkosť novorodenca. Respondenti boli rozdelený na expertov ($n = 10$) a lekárov v príprave na špecializačnú skúšku z detskej chirurgie ($n = 19$), pričom každá skupina vykonala dve úlohy (úloha 1: reponovanie herniovaného čreva z hrudného priestoru do brucha; úloha 2: uzavretie bráničného defektu pomocou intrakorporálneho viazania uzlov). Experti dosiahli výrazne lepšie výsledky v časovom skóre, počte suficientných intrakorporálnych uzlov, stupni deformity bránice. Skupina netrénovaných respondentov preukázala signifikantne horšiu plynulosť pohybov medzi pravou a ľavou rukou ako skupina expertov ($p < 0,05$) [20].

Barsness et al. vyvinuli hrudný simulátor použitím s 3D modelovania. Hrudný kôš bol vytlačený z plastu akrylonitril-butadién-styrén na zariadení pre rýchlu prototypizáciu. Pretože vrodená diafragmatická hernia sa častejšie nachádza na ľavej strane hrudníka, v štúdii vytlačili iba ľavú stranu hrudníka. Na stabilizáciu hrudného koša bol vytvorený základ z platinou vulkanizovanej silikónovej gumy. Umelá bránica s posterolaterálnym defektom bola pripevnená k hrudnému košu očkami okolo 11. rebra a umelé črevá boli herniované cez defekt v bránici. Celé zariadenie bolo pokryté syntetickou silikónovou gumovou kožou. Štyridsať účastníkov validovalo simulátor pomocou Likertovej škály. Záverom hodnotia, že simulátor je relevantný pre klinickú prax a hodnotný ako učebný nástroj, ale stále vyžaduje vylepšenia. Pred úplnou implementáciou tohto modelu ako vzdelávacieho nástroja sú potrebné vylepšenia [21].

Syntetické modely určené na tréning MIS pre nácvik operácie – fundoplikácia, pyloromyotómia, atrézia duodena

Jimbo et al. vyvinuli a validovali syntetický model na nácvik laparoskopickej operácie fundoplikácie. Model bol vyvinutý pomocou segmentovania z CT skenu 1-ročného dieťaťa. Cieľom štúdie bolo vyhodnotiť endoskopické chirurgické

zručnosti respondentov (detských chirurgov so skúsenosťami na rôznej úrovni). Z výsledkov štúdie vyplynulo, že skupina expertov v detskej chirurgii signifikantne rýchlejšie splnila úlohu endoskopickej sutúry Nissenovej fundoplikácie, ($p < 0{,}01$) a potrebovali signifikantne menej pohybov inštrumentmi v obmedzenom priestore ($p < 0{,}01$). Skupina všeobecných chirurgov používala inštrumenty v oboch rukách rýchlejšie ako ostatné skupiny ($p < 0{,}05$). Experti detský chirurgovia dosiahli najlepšie výsledky v symetrii stehov Nissenovej fundoplikácie [22].

Williams et al. vyvinuli a validovali 3D syntetický model žalúdka s hypertrofickou pylorostenózou. V štúdii bolo zaradených 22 % začiatočníkov, 26 % neskúsených chirurgov, 19 % pokročilých a 33 % expertov. Hodnotené bolo GOALS (The Global Operative Assessment of Laparoscopic Skills) skóre, TSA (Task Specific Assessments) skóre a model bol hodnotený účastníkmi pomocou IAAMA (Agreement of Assertions on Model Accurac) hodnotenia. Účastníci mali tri pokusy na zvládnutie úlohy (laparoskopickej operácie hypertrofickej pylorostenózy). Medzi jednotlivými skupinami nebo signifikantný rozdiel v TSA a GOALS skóre, avšak medzi pokusmi došlo k významnému zlepšeniu v hodnotení GOALS ($p < 0{,}0001$) a TSA skóre ($p = 0{,}03$). Účastníci vyhodnotili, že model presne simuloval laparoskopickú pyloromyotómiu (82 %) a že by bol užitočným nástrojom pre začiatočníkov (100 %) [23].

Pre tréning atrézie duodena podľa našich informácií neexistuje plne syntetický model. Ordorica-Flores et al. vo svojej štúdii opisujú validačný proces králičieho modelu (vážiaceho 3,0–4,5 kg) s vynikajúcou tvárovou validitou (96 % skóre), obsahovou validitou (84 % skóre) [24]. Barsness et al. validovali kombinovaný syntetický model s fetálnym hovädzím tkanivom. Model bol validovaný šiestimi expertmi v detskej chirurgii a dosiahol skóre 88 % v tvárovej validite a 95 % obsahovej [25].

MIS simulátory v detskej chirurgii

Torres et al. vytvorili endo-simulátor pre tréning novorodeneckej MIS. Akrylový simulátor s rozmermi 10,5 × 10 × 18 cm, s vnútornou pracovnou plochou 9 × 9 cm. S použitím HD kamery a rozsahom pohybu 0–180° realizovali štúdiu so 49 účastníkmi. V štúdii hodnotili vykonávanie základných laparoskopických zručností. Osemdesiat percent respondentov uviedlo, že simulátor reprodukuje podmienky podobné postupom vykonávaným u detí mladších ako jeden rok; 61,1 % hodnotilo, že simulátor predstavuje rovnakú náročnosť ako postupy vykonávané u novorodencov; 73,7 % uviedlo, že novorodenecký simulátor je komplikovanejší ako simulátor pre dospelých [26].

Trudeau et al. hodnotili analýzu pohybov účastníkov štúdie na pediatrickom laparoskopickom simulátore. Autori záverom konštatujú, že zvýšená zložitosť úlohy môže pomôcť zlepšiť technické zručnosti v laparoskopii, a vykonanie pokročilej úlohy intrakorporálneho šitia umožnilo rozlíšenie úrovne odbornosti [27].

Moorhead et al. vyvinuli syntetický simulátor na tréning MIS pri AP/TEF, ktoré súčasťou bol senzor merania pohybu rúk a vyhodnocovania chybovosti pri vykonávaní úloh. Záverom konštatujú, že zahrnutie senzorov do návrhu vysoko-realistického simulátora môže priniesť kvantitatívnu spätnú väzbu, ktorá môže byť použitá na objektívne hodnotenie výkonu technicky náročného postupu. Výsledkom je, že viac chirurgického výcviku môže byť vykonané pred operáciou na skutočných pacientoch v operačnej sále [28].

DISKUSIA

Preventabilné nepriaznivé udalosti v detských nemocniciach sa najčastejšie vyskytujú u chirurgických pacientov, pričom dojčatá tvoria až 50 % týchto chýb [29]. Hoci nie všetky tieto chyby sú priamo pripisované novým technológiám, krivky učenia spojené s aplikáciou nových technológií, zariadení a/alebo postupov sú významným preventabilným zdrojom perioperačných chýb. Ako kľúčová súčasť stratégií na zmiernenie rizika sa v rôznych chirurgických disciplínach a sub-špecializáciách vyhľadávajú vzdelávacie nástroje založené na simulácii. Simulácie totiž poskytujú maximálnu bezpečnosť pacientov a zároveň ponúkajú možnosti pre študentov a lekárov precvičiť si svoje zručnosti až do dosiahnutia dostatočnej kompetencie. Pre detských chirurgov je obmedzením pri využívaní vzdelávania založeného na simulácii nedostatočná dostupnosť kvalitných a relevantných simulačných modelov pre zložité operácie. Syntetické modely, ktoré sú dnes dostupné sú pre tréning najmä novorodeneckej MIS „priveľké“ a syntetické materiály používané pri modeloch „prihrubé“. Syntetické modely používané na tréning MIS v detskej chirurgii musia spĺňať niekoľko dôležitých kľúčových aspektov, a to najmä anatomický, úchopový a konštrukčný realizmus, musia byť dostupné, lacné a ľahko opakovateľné. Takisto validácia modelov používaných na simuláciu je kľúčová pri implementovaní simulátora do tréningového kurikula. Modely a nástroje možno validovať niekoľkými spôsobmi. Subjektívne metódy validácie skúmajú názory účastníkov. Všeobecne subjektívne metódy zahŕňajú – tvárovú, obsahovú, referenčnú a expertnú validitu a vyžadujú, aby účastníci vyplnili dotazník o svojich skúsenostiach s modelom [30]. Objektívne prístupy zahŕňajú: konštrukčnú, diskriminačnú, konvergentnú, kritériovú a prediktívnu validitu. V rámci validačných techník sa využíva aj subjektívne hodnotenie zaznamenaných pokusov nezávislými hodnotiteľmi, ktoré sa zameriava na kontrolné zoznamy špecifické pre úlohu, čas dokončenia, chybovosť a hodnotiace tabuľky. Používanými sú najmä objektívne štruktúrované hodnotenia technických zručností – Objective Structured Assessment of Technical Skills (OSATS) alebo McGill Inanimate System for Training and Evaluation of Laparoscopic Skills (MISTELS), taktiež Global Operative Assessment of Laparoscopic Skills (GOALS) a Task Specific Assessment (TSA) [19,31]. Rastúce množstvo výskumu týkajúceho sa validácie chirurgických simulátorov zdôrazňuje hodnotu zariadení na meranie úchopovej podobnosti so živými tkanivami. Rôzne senzory môžu byť namontované na modely, a nástroje na zaznamenávanie sily, dĺžky dráhy, zrýchlenia a rôznych ďalších parametrov môžu pôsobiť ako náhradné markery osvojenia si zručností a tým aj validácie simulátorov [32].

Animálne modely sa používajú ako alternatívny prostriedok chirurgického tréningu kvôli ich potenciálu napodobňovať ľudskú fyziológiu a patológiu. Na druhej strane používanie zvieracích modelov si vyžaduje starostlivé zváženie etických dôsledkov. V posledných rokoch tieto obavy vyvolali diskusie a debaty o nevyhnutnosti používania živých zvierat v biomedicínskom výskume. Organizácie ako People for the ethical treatment of animals vyvíjajú značný tlak na univerzity, aby obmedzili akúkoľvek formu vivisekcie

zvierat. Experimenty musia byť navrhnuté tak, aby čo najviac minimalizovali stres a utrpenie zvieraťa. To zahŕňa poskytovanie vhodnej anestézie a analgézie, humánne podmienky pre zviera a použitie minimálneho počtu zvierat potrebných na dosiahnutie výskumných cieľov. Výskum by mal riešiť dôležité klinické otázky a mať rozumnú pravdepodobnosť, že povedie k zlepšeniu výsledkov pre pacientov [33]. Starostlivý výber zvieracích modelov je kľúčový pre získanie zmysluplných a eticky správnych výsledkov. Rozdiely v anatómii, fyziológii a priebehu chorôb medzi druhmi môžu výrazne ovplyvniť platnosť a prenositeľnosť výskumných zistení. Preto inovácie a ďalšie výsledky chirurgických zásahov u zvierat nemusia byť okamžite aplikovateľné na ľudí a musia byť validované v ľudských štúdiách pred tým, ako budú aplikované v klinickej praxi. Ďalšou nevýhodou chirurgického laboratória so živými zvieratami je komplikovaná infraštruktúra potrebná na dodržanie predpisov. Náklady na udržiavanie zvieracieho laboratória pre chirurgický výcvik sú tiež značné. Vždy, keď je to možné, by sa mali používať metódy, ktoré sa vyhnú alebo nahradia používanie zvierat vo výskume [34].

Využitie 3D tlače a syntetických modelov by mohlo v budúcnosti úplne nahradiť trénovanie na zvieratách. Už počas 80. rokov bola pre letecký priemysel vyvinutá stereolitografia (SLA), čo viedlo k vytvoreniu prvého 3D tlačeného objektu. SLA je založená na konštruktívnom procese, kde model je produkovaný vrstvením plastu pomocou ultrafialového laseru, ktorý katalyzuje polymerizáciu tekutého plastového roztoku. Táto technika položila základy pre následný vývoj v oblasti, ako je FDM a selektívneho laserového sintrovania (SLS). FDM sa vykonáva pomocou vyhrievanej trysky, ktorá roztaví a extruduje termoplastický materiál na tlačovú podložku vrstvu po vrstve. SLS používa laser na spájanie alebo sintráciu práškových materiálov, zvyčajne vyrobených z plastu, kovu, keramiky a skla, na vytváranie pevných 3D objektov [35]. V chirurgii môžu byť na vytváranie 3D modelov použité obrazové údaje konkrétneho pacienta, ako sú CT alebo MR. Softvér na lekárske zobrazovanie, ako je Mimics alebo 3D Slicer, môže prevádzať súbory DICOM z lekárskych zobrazovacích modalít do 3D modelov, čím poskytuje chirurgom hmatateľnú reprezentáciu anatómie pacienta [36]. V závere je nutné dodať, že vytváranie 3D modelov a ich implementácií do medicíny predovšetkým personalizovanej zdravotnej starostlivosti musí dodržiavať prísne etické aspekty. Ochrana osobných údajov a súkromie pacientov je ďalšou kľúčovou otázkou. Pri návrhu a vytváraní medicínskych zariadení všeobecne treba mať na zreteli dôsledné zabezpečenie dát, zdravotnícke inštitúcie a vedecké tímy musia zaistiť, že všetky dáta používané pre 3D tlač sú spracované v súlade s GDPR smernicami EU [37].

ZÁVER

Budúce trendy naznačujú pokračujúcu evolúciu smerom k vysoko-realistickým simulátorom schopným replikovať celé operácie s vyšším stupňom realizmu. Simulátory špecifické pre pacienta, ktoré odrážajú skutočnú anatómiu a choroby, sú pripravené revolučne zmeniť prax tým, že umožnia chirurgom nacvičiť konkrétne prípady, s ktorými sa stretnú. Rozšírená realita a bezdrôtové technológie pripravujú cestu pre tele-chirurgiu, čo umožňuje expertom na diaľku viesť nováčikov cez zložité postupy. Validácia zostáva kľúčovým prvkom, s kritickou potrebou stanoviť platnosť pred integráciou tréningových modelov do osnov. Rôzne metriky vrátane tvárovej, obsahovej, konštrukčnej, konvergentnej a prediktívnej validity sú nevyhnutné pre komplexné hodnotenie. Výzvy, ako subjektivita, nedostatok štandardov a obmedzené zdroje podčiarkujú zložitosť validačných snáh. Rozšírený prístup k simulácii ponúka lekárom príležitosti na nácvik zriedkavých postupov v bezpečnom prostredí, ktoré podporuje učenie sa z chýb a zdokonaľovanie tímových zručností. Zabezpečenie reprodukovateľnosti je zásadné; zatiaľ čo nízko-realistické simulátory poskytujú nákladovo efektívne možnosti na osvojenie si zručností, štandardizované prístupy sú potrebné pre konzistentné vykazovanie metód validácie. Môžeme konštatovať, že chirurgická simulácia je pripravená formovať budúcnosť chirurgického tréningu, pričom dôraz sa už dnes kladie na inovácie, robustnú validáciu, dostupnosť a reprodukovateľnosť ako piliere jej úspechu.

Konflikt záujmov
Autori článku prehlasujú, že v súvislosti so vznikom tohto článku nemajú stret záujmov a že tento článok nebol publikovaný v žiadnom inom časopise, s výnimkou kongresových abstrakt a doporučených postupov.

LITERATÚRA

1. Gause CD, Grace Hsiung G, Schwab B et al. Advances in pediatric surgical education: a critical ap praisal of two consecutive minimally invasive pediatric surgery training courses. J Laparoendosc Adv Surg Tech A 2016; 26(8): 663–670. doi: 10.1089/lap.2016.0249.
2. Esposito C, Escolino M, Saxena A et al. European society of pediatric endoscopic surgeons (ESPES) guidelines for training program in pediatric minimally invasive surgery. Pediatr Surg Int 2015; 31(4): 367–373. doi: 10.1007/s00383-015-3672-5.
3. Montbrun SL, Helen MR. Simulation in surgical education. Clin Colon Rectal Surg 2012; 25(3): 156–165. doi: 10.1055/s-0032-1322553.
4. Irfan W, Shean C, Mitchel EL et al. The pathway to a national vascular skills examination and the role of simulation-based training in an increasingly complex specialty. Semin Vasc Surg 2019; 32(1–2): 48–67. doi: 10.1053/j.semvascsurg.2018.12.006.
5. Andreatta PB, Woodroom DT, Birkmeyer JD et al. Laparoscopic skills are improved with LapMentor training: results of a randomized, double-blinded study. Ann Surg 2006; 243(6): 854–860. doi: 10.1097/01.sla.0000219641.79092.e5.
6. Esposito C, Escolino M, Dragici I et al. Training models in pediatric minimally invasive surgery: Rabbit model versus Porcine model: a comparative study. J Laparoendosc Adv Surg Tech A 2016; 26(1): 79–84. doi: 10.1089/lap.2015.0229.
7. Hrubovčák J, Tulinský L, Pieš M et al. The utilization of 3D printing in surgery as an innovative approach to preoperative planning. Rozhl Chir 2024; 103(8): 305–312. doi: 10.48095/ccrvch2024305.
8. Joosten M, Blaauw I, Botden SM et al. Validated simulation models in pediatric surgery: a review. J Pediatr Surg 2022; 57(12): 876–886. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2022.06.015.
9. Badash I, Burt K, Solorzano CA et al. Innovations in surgery simulation: a review of past, current and future techniques. Ann Transl Med 2016; 4(23): 453. doi: 10.21037/atm.2016.12.24.
10. Rothenberg S. Thoracoscopic repair of esophageal atresia and tracheo-esophageal fistula in neonates: evolution of a technique. J Laparoendosc Adv Surg Tech A 2012; 22(2): 195–199. doi: 10.1089/lap.2011.0063.
11. Nair D, Well J, Cook N et al. Critical design and validation considerations for the

development of neonatal minimally invasive surgery simulators. J Pediatr Surg 2019; 54(11): 2448–2452. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2019.05.022.
12. Nedomova B. Celková anestézia a neurotoxicita: aké sú naše poznatky? Pediatria Prax 2018; 19(4): 165–168.
13. Nedomova B, Hargaš M. Základné princípy anestézie u novorodencov. Pediatria Prax 2019; 20(3): 108–111.
14. Barsness A, Roney D, Davis ML et al. Evaluation of three sources of validity evidence for a synthetic thoracoscopic esophageal atresia/tracheoesophageal fistula repair simulator. J Laparoendosc Adv Surg Tech A 2015; 25(7): 599–604. doi: 10.1089/lap.2014.0370.
15. Maricic AM, Bailez MM, Rodriguez SP et al. Validation of an inanimate low cost model for training minimal invasive surgery (MIS) of esophageal atresia with tracheoesophageal fistula (AE/TEF) repair. J Pediatr Surg 2016; 51(9): 1429–1435. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2016.04.018.
16. Neville JJ, Chacon C, Haghighi-Osgouei R et al. Development and validation of a novel 3D-printed simulation model for open oesophageal atresia and tracheo-oesophageal fistula repair. Pediatr Surg Int 2022; 38(1): 133–141. doi: 10.1007/s00383-021-05007-9.
17. Harada K, Takazawa S, Tsukuda Y et al. Quantitative pediatric surgical skill assessment using a rapid-prototyped chest model. Minim Invasive Ther Allied Technol 2015; 24(4): 226–232. doi: 10.3109/13645706.2014.996161.
18. Takazawa S, Tetsuya I, Kanako H et al. Pediatric thoracoscopic surgical simulation using a rapid-prototyped chest model and motion sensors can better identify skilled surgeons than a conventional box trainer. J Laparoendosc Adv Surg Tech A 2016; 26(9): 740–747. doi: 10.1089/lap.2016.013.
19. Ljuhar D, Samuel A, Sarah M et al. The laparoscopic inguinal and diaphragmatic defect (LIDD) model: a validation study of a novel box trainer model. Surg Endosc 2018; 32(12): 4813–4819. doi: 10.1007/s00464-018-6232-y.
20. Obata S, Satoshi I, Munenori U et al. An endoscopic surgical skill validation system for pediatric surgeons using a model of congenital diaphragmatic hernia repair. J Laparoendosc Adv Surg Tech A 2015; 25(9): 775–781. doi: 10.1089/lap.2014.0259.
21. Barsness KA, Rooney DM, Davis LM et al. The development and evaluation of a novel thoracoscopic diaphragmatic hernia repair simulator. J Laparoendosc Adv Surg Tech A 2013; 23(8): 714–718. doi: 10.1089/lap.2013.0196.
22. Jimbo T, Ieiri S, Obata S et al. A new innovative laparoscopic fundoplication training simulator with a surgical skill validation system. Surg Endosc 2017; 31(4): 1688–1696. doi: 10.1007/s00464-016-5159-4.
23. Williams A, Morgan M, Ahlinet J et al. A simulated training model for laparoscopic pyloromyotomy: is 3D printing the way of the future? J Pediatr Surg 2018; 53(5): 937–941. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2018.02.016.
24. Ordorica-Flores R, Orpinel-Armendariz E, Rodríguez-Reyna R et al. Development and preliminary validation of a rabbit model of duodenal atresia for training in pediatric surgical skills. Surg Innov 2019; 26(6): 738–743. doi: 10.1177/1553350619881068.
25. Barsness KA, Rooney MD, Davis ML et al. Evaluation of three sources of validity evidence for a laparoscopic duodenal atresia repair simulator. J Laparoendosc Adv Surg Tech A 2015; 25(3): 256–260. doi: 10.1089/lap.2014.0358.
26. Torres A, Inzunza M, Jarry C et al. Development and validation of a new laparoscopic endotrainer for neonatal surgery and reduced spaces. Arq Bras Cir Dig 2020; 33(4): e1559. doi: 10.1590/0102-672020200004e1559.
27. Trudeau MO, Carrillo B, Nasr A et al. Educational role for an advanced suturing task in the pediatric laparoscopic surgery simulator. J Laparoendosc Adv Surg Tech A 2017; 27(4): 441–446. doi: 10.1089/lap.2016.0516.
28. Moorhead AA, Nair D, Morison CH et al. Development of an instrumented thoracoscopic surgical trainer for objective evaluation of esophageal atresia/tracheoesophageal fistula repair. Med Biol Eng Comput 2020; 58(3): 601–609. doi: 10.1007/s11517-019-02107-6.
29. Matlow AG, Baker GR, Flintoft V et al. Adverse events among children in Canadian hospitals: the Canadian Paediatric Adverse Events Study. CMAJ 2012; 184(13): E709–E718. doi: 10.1503/cmaj.112153.
30. Schout BM, Hendrikx AJ, Scheele F et al. Validation and implementation of surgical simulators: a critical review of present, past, and future. Surg Endosc 2010; 24(3): 536–546. doi: 10.1007/s00464-009-0634-9.
31. Davidson EL, Penniston KL, Farhat VA et al. Advancements in surgical education: exploring animal and simulation models in fetal and neonatal surgery training. Front Pediatr 2024; 12: 1402596. doi: 10.3389/fped.2024.1402596.
32. Nasr A, Gerstle JT, Carrillo B et al. The pediatric laparoscopic surgery (PLS) simulator: methodology and results of further validation. J Pediatr Surg 2013; 48(10): 2075–2077. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2013.01.039.
33. Djurhuus JC, Wu HY, Fossum M. A conversation on how animal experimental studies allies with translational medicine. J Pediatr Urol 2021; 17(5): 622–629. doi: 10.1016/j.jpurol.2021.07.029.
34. Tsai AY, Greene AC. 3D printing in pediatric surgery. Semin Pediatr Surg 2024; 33(1): 151385. doi: 10.1016/j.sempedsurg.2024.151385.
35. Cheung CL, Looi T, Lendvay TS et al. Use of 3-dimensional printing technology and silicone modeling in surgical simulation: development and face validation in pediatric laparoscopic pyeloplasty. J Surg Educ 2014; 71(5): 762–767. doi: 10.1016/j.jsurg.2014.03.001.
36. McGaghie WC, Issenberg BS, Petrusa ER et al. A critical review of simulation-based medical education research: 2003–2009. Med Educ 2010; 44(1): 50–63. doi: 10.1111/j.1365-2923.2009.03547.x.
37. Chovanec M, Krtička M, Šrámek J et al. Současné klinické aplikace 3D tisku v managementu komplexních zlomenin. Rozhl Chir 2024; 103(5): 158–166. doi: 10.33699/PIS.2024.103.5.158–166.

MUDr. Petra Zahradníková, PhD., MPH

Klinika detskej chirurgie
LF UK a Národný ústav detských chorôb
Limbová 1
833 40 Bratislava, Slovensko
petra.zahradnikova@fmed.uniba.sk

ORCID autorů
P. Zahradníková 0000-0003-3206-4079
M. Lindák 0009-0006-0827-0648
M. Laurovičová 000-0002-6893-2213