

TVORBA MODELU PROXIMÁLNÍ TIBIE PRO TRÉNINK INTRAOSEÁLNÍHO PŘÍSTUPU S VYUŽITÍM TECHNOLOGIE 3D TISKU – PILOTNÍ STUDIE

Making of a Model of Proximal Tibia for Training of Intraosseous Access with Use of 3D Printing Technology – a Pilot Study

Martin Sněhota^{1,2}, Kateřina Kikalová³, Luděk
Kaprál¹, Jaromír Vachutka^{1,2}, Jiří Plhák³

¹Centrum telemedicíny, simulátorů a praktických dovedností
(CENTESIMO), Lékařská fakulta, Univerzita Palackého
v Olomouci, Česká republika

²Ústav lékařské biofyziky, Lékařská fakulta, Univerzita
Palackého v Olomouci, Česká republika

³Ústav normální anatomie, Lékařská fakulta, Univerzita
Palackého v Olomouci, Česká republika

Korespondující autor: Martin Sněhota, Ústav lékařské biofyziky, Lékařská fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, Hněvotínská 3, Olomouc, 775 15, Česká republika, email: martin.snehota@upol.cz, tel: +420 585 632 102

Abstrakt

The goal of this work is to layout a process of creation of a simple model of proximal tibia for training of intraosseous access for students of medicine with use of anatomical preparation and 3D printing technology. We made a 3D scan of proximal part of tibia and saved the scan in *.stl format*. Several freeware software programmes were used for adjustment of the model and for creation of a model of soft tissue. Both models were saved in *.stl file*. The *.stl file* of both models was then transformed to *.gcode file* compatible with 3D printer. Both models were 3D printed and glued together afterwards. Intraosseous drill was used to test the model. The model presented with well-palpable anatomical structures which are necessary for proper identification of the position of intraosseous needle. A significant feeling of a give appeared after drilling through the part of model simulating compact part of the bone as a sign of entering into spongy part of the bone. The model we created is highly realistic, easy to reproduce and cheap. Benefits of 3D printing technology may enrich the field of simulation medicine.

Key words: simulation medicine, 3D print, intraosseous access

Úvod

Přestože se historie simulační medicíny datuje až do dob antiky (Meller, 1997), její opravdový boom nastal až v několika málo posledních desetiletích (McGaghie, Issenberg, Petrusa & Scalese, 2010). Existuje celá řada komerčně dostupných simulátorů sloužících ke vzdělávání budoucích zdravotníků od modelů pro trénink jednoduchých zdravotnických výkonů (např. chirurgické šití, zavedení endotracheální rourky, zavedení intraoseálního vstupu atd.) až po vysoce propracované figuríny, které umožňují věrohodnou simulaci různých klinických situací jako například infarkt myokardu, pneumotorax, renální selhání apod. (Sova & Vachutka 2019). Simulační medicína budoucím

zdravotníkům poskytuje bezpečné prostředí pro získání základních klinických dovedností, návyků a zkušeností a umožňuje tak hladší přechod do klinické praxe (Jones, Passos-Neto & Braghiroli, 2015).

Intravenózní podání léků, roztoků a krevních derivátů má v péči o kriticky nemocné pacienty nezastupitelnou roli. Založení intravenózního vstupu však může být u pacienta v šokovém stavu problematické či dokonce nemožné, neboť periferní žíly jsou často kolabované a založení centrální linky je v urgentní situaci rizikové a časově náročné (Rosetti et al., 1985). Naproti tomu cévy v kostní dřeni při šoku nekolabují (Orlowski, Porembka, Gallagher, Lockrem & VanLente, 1990). Možným řešením je tedy podání léčivých přípravků intraoseálně. Tato cesta podání léků může vzhledem k rychlosti a efektivnosti zavedení u pacienta s nemožností kanylace periferní žíly sloužit k přemostění období do zavedení centrální linky (Hoskins, Nascimento, Lima, Espana-Tenorio & Kramer, 2012). Intraoseální přístup je v doporučených postupech uveden jako alternativní cesta podání léků při nemožnosti založení intravenózního vstupu při rozšířené neodkladné resuscitaci jak dětí (Maconochie et al. 2015), tak i dospělých (Soar et al., 2015). Existují komerčně dostupné modely pro trénink zavedení intraoseálního přístupu. Nicméně, při velkém počtu studentů medicíny může být implementace těchto modelů do výuky ekonomicky nákladná.

Možnou cestou snížení nákladů je využití 3D tisku. Během několika posledních desetiletí došlo k výraznému snížení pořizovací ceny 3D tiskáren a tudíž k jejich značnému rozšíření. Technologie 3D tisku si již našla své místo v mnoha směrech lidské činnosti od využití v mnoha průmyslových odvětvích, přes architekturu a uměleckou činnost až po rozmanité aplikace ve zdravotnictví (Berman, 2012). Tradiční výrobní procesy jsou stále ekonomicky výhodnější při výrobě velkého počtu produktů, kdy náklady na optimalizaci výrobního procesu jsou zanedbatelné v porovnání s výsledným ekonomickým ziskem. Nicméně, ekonomické hledisko mluví ve prospěch technologie 3D tisku při tvorbě různých prototypů a při výrobě menšího počtu produktů.

Cíl

Cílem této práce je popsat proces tvorby modelu proximální části tibie pro trénink zavedení intraoseálního vstupu pro studenty medicíny za pomoci technologie 3D tisku.

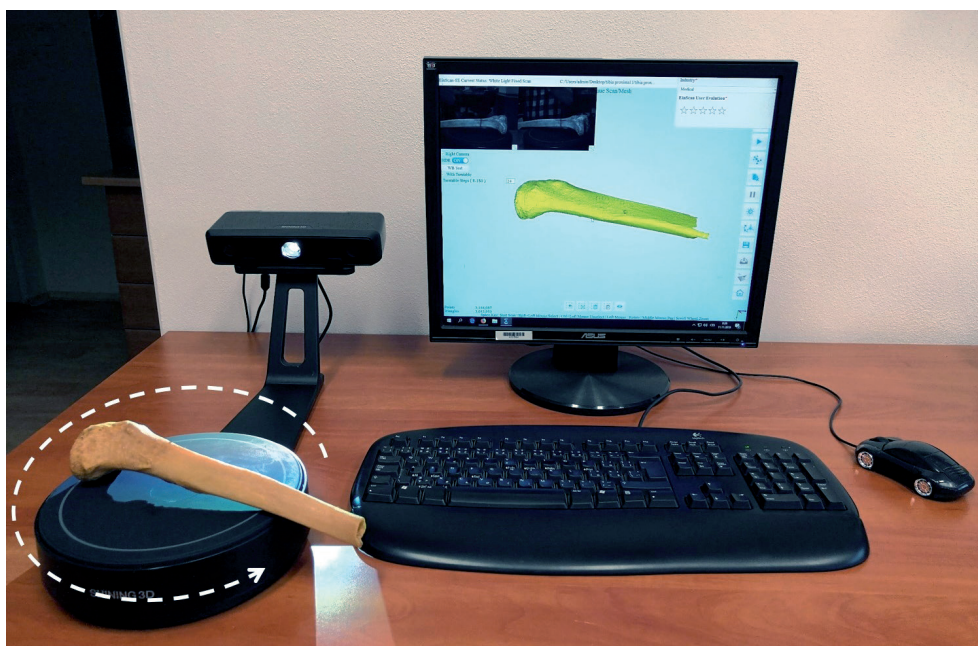
Metodika

Příprava kosti

Jako předloha pro 3D tisk byla použita kost ze sbírky Ústavu normální anatomie Lékařské fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. Kosti ve sbírce anatomického ústavu pocházejí od dárců, kteří na základě písemného souhlasu k poskytnutí těla k výukovým a výzkumným účelům zapůjčili své tělo pro potřeby studentů a výzkumníků. Kosti byly v závěru topograficko-anatomické pitvy, která je součástí výuky studentů všeobecného lékařství, preparovány mokrou cestou, následně označeny a řádně evidovány. Preparace kostí je časově i psychicky náročná a je realizována pitevními laboranty. Pro tuto pilotní studii byla použita levá holenní kost (*tibia*).

3D sken

K vytvoření 3D modelu kosti byl použit 3D skener 3D Ein-scan-SE (Shining 3D, Hangzhou, Čína). Celý proces skenování byl řízen programem EinScan-S series_v 2.7.0.8 (Shining 3D, Hangzhou, Čína). Proces skenování je zachycen na obrázku 1. 3D skener byl před provedením skenu kosti zkalibrován dle doporučení výrobce. Kost byla skenována v režimu HDR za použití duální kamery a otočného stolečku s krokem 15°. Po dokončení skenu byla kost následně 2 × polohována tak, aby při dalším skenu došlo k naskenování částí, které předchozí sken



Obr. 1. Proces skenování kosti

(y) nezachytily. Po dokončení skenů byl model kosti exportován ve formátu *.stl*, který kóduje geometrii povrchu trojrozměrného objektu pomocí sítě trojúhelníků. Jde o formát souboru, který je běžně používán ke kódování 3D objektů.

Úprava modelu kosti k tisku

Soubor *.stl* byl následně upraven pomocí online prostředí pro úpravu 3D modelů www.tinkercad.com (Autodesk, San Rafael, Kalifornie, USA) a programu Blender (Blender, Amsterdam, Nizozemsko). Byly použity Booleovské operátory k úpravě modelu do tisknutelné podoby a k vytvoření dutiny simulující spongiózní část kosti a dřeňovou dutinu. Upravený model byl následně uložen ve formátu *.stl* a otevřen v programu Slic3r (Prusa Research, Praha, Česká republika). Byl zvolen preset pro tisk z PLA materiálu (teplota extruderu 215 °C, teplota podložky 60 °C a výška vrstvy 0,15 mm) a nastavena tvorba podpor pouze od podložky. Byl zvolen kubický vzor výplně s hustotou 50 %. Následně byl model exportován ve formátu *.gcode*, který obsahuje tiskové informace kompatibilní s 3D tiskárnou. Proces transformace *.stl* souboru do *.gcode* souboru spočívá v softwarovém „rozřezání“ (slicování) *.stl* souboru na tenké horizontální vrstvy (v našem případě s krokem 0,15 mm), vygenerování série pohybů 3D tiskárny a zakódování údajů o teplotě, rychlosti tisku apod.

Tvorba modelu měkkých tkání

Měkké tkáně byly modelovány v online prostředí www.tinkercad.com (Autodesk, San Rafael, Kalifornie, USA). K modelování jsme použili výše zmíněný sken kosti ve formátu *.stl*

a Booleovské operátory. Následně jsme použili program Blender (Blender, Amsterdam, Nizozemsko) k vyhlazení povrchu modelu měkké tkáně. Upravený model byl uložen ve formátu *.stl* a otevřen v programu Slic3r (Prusa Research, Praha, Česká republika). Byl zvolen preset pro tisk z FLEX materiálu (teplota extruderu 240 °C, teplota podložky 50 °C, výška vrstvy 0,15 mm). Vzhledem k malé tloušťce měkkých tkání (a jejich modelu) v oblasti proximální tibie byla výplň modelu nastavena na 0 %. Následně byl model měkkých tkání exportován ve formátu *.gcode*.

Výroba modelu

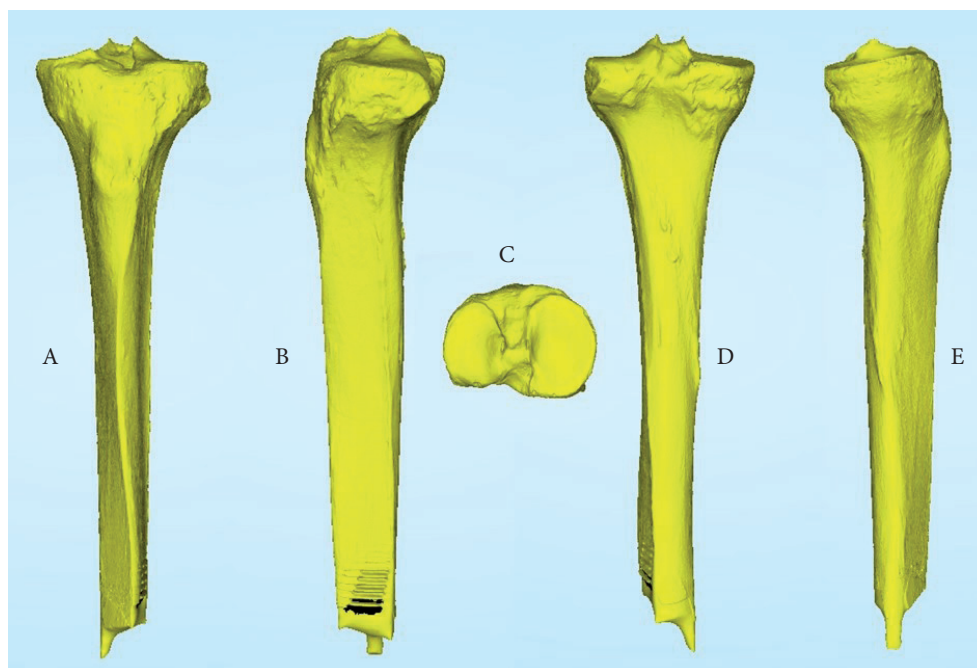
K tisku modelu kosti jsme použili 3D tiskárnu Original Prusa i3 MK3S (Prusa Research, Praha, Česká republika) a tiskovou strunu Gembird filament PLA 1,75 mm, bílá (Gembird, Almere, Nizozemsko). Rychlost tisku byla nastavena na 75 %. K tisku modelu měkkých tkání jsme použili 3D tiskárnu Original Prusa i3 MK3S (Prusa Research, Praha, Česká republika) a tiskovou strunu Flexfill 98A, Powder Beige (Prusa Research, Praha, Česká republika). Obě části byly následně slepeny lepidlem Mamut (Den Braven, Oosterhout, Nizozemsko). Následně jsme použili intraoseální vrtačku EZ-IO® G3 a intraoseální jehlu EZ-IO® 25 mm 15 ga (Bexamed, Praha, Česká republika) k otestování funkčnosti modelu.

Výsledky

Výsledek anatomické preparace levé holenní kosti, jejíž proximální část byla naskenována, je zobrazen na obrázku 2. Její sken je zachycen z různých pohledů na obrázku 3.



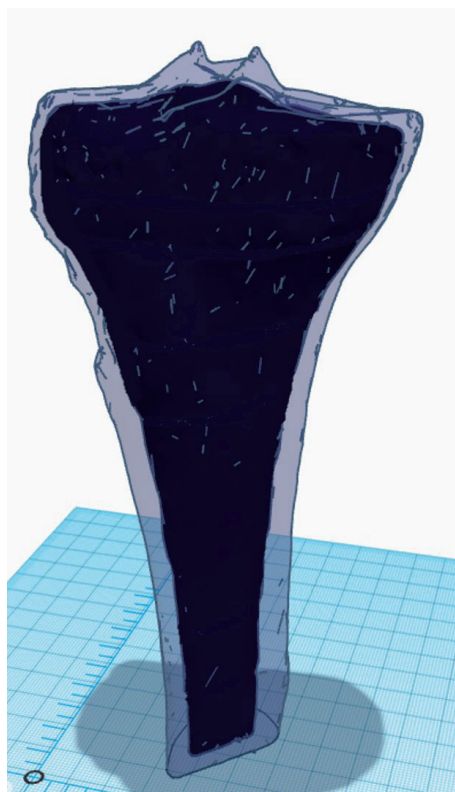
Obr. 2. Kostěný preparát – levá tibie.



Obr. 3. Sken proximální části levé tibie z různých pohledů: A – ventrální, B – laterální, C – kraniální, D – dorsální, E – mediální.

Na obrázku 4 je znázorněn upravený model kosti. Pevné části (simulující kompaktní vrstvu) jsou průhledné, dutina simulující spongiózní část kosti a dřevovou dutinu je znázorněna černě. Pomocí online prostředí www.tinkercad.com jsme model zrcadlově převrátili na kontralaterální stranu. Na obrázku 4 (respektive 5) je tedy pravá tibia. Model byl stranově převrácen, neboť v populaci převažují praváci a je lepší držet model kosti v levé ruce a intraoseální vrtačku v pravé ruce. Pro účely 3D tisku byl model navíc převrácen o 180° podél vertikální osy. Tato konformace je pro 3D tisk výhodnější.

Finální model kosti je zobrazen na obrázku 5. Po lokalizaci místa zavedení intraoseálního vstupu (2 prsty pod *tuberositas tibiae* na *facies medialis tibiae*) jsme použili intraoseální vrtačku EZ-IO® G3 a intraoseální jehlu EZ-IO® 25 mm 15 ga k otestování modelu. Provrtání vrstvy simulující kompaktní část kosti následovala citelná ztráta odporu jako známka vstupu do spongiózní části kosti.



Obr. 4. Znázornění dutiny tibie.



Obr. 5. Finální model kosti a měkkých tkání.

Diskuze

Makary a Daniel (2016) odhadují, že iatrogenní poškození pacienta je třetí nejčastější příčinou úmrtí v USA. Určitěmu iatrogennímu poškození se nelze zcela vyhnout a je třeba zvažovat risk-benefit ratio (například vedlejší účinky léků či používání zobrazovacích metod založených na ionizujícím záření). Nicméně, používáním simulátorů a získáváním zkušeností (budoucích) zdravotnických pracovníků ještě před vstupem do klinické praxe může být riziko iatrogenního poškození do určité míry redukováno (Ziv, Wolpe, Small & Glick, 2003). Simulační medicínu vnímáme jako most mezi teoretickými znalostmi a samotnou klinickou praxí.

Za pomoci anatomického preparátu, 3D skeneru, 3D tiskárny a několika volně dostupných počítačových programů jsme vytvořili model pro trénink intraoseálního přístupu. Model je anatomicky věrohodný a má všechny důležité anatomické struktury nezbytné ke správné identifikaci místa zavedení intraoseální jehly (2 prsty pod *tuberositas tibiae* na *facies medialis tibiae*). Tyto anatomické struktury lze přes model měkké tkáně snadno vyhmátat. Po provrtání části modelu simulující kompaktní vrstvu kosti je citelná ztráta odporu jako známka vstupu do spongiózní části kosti. Model byl prezentován třem lékařům Kliniky anesteziologie, resuscitace a intenzivní medicíny Fakultní nemocnice Olomouc, kteří potvrdili jeho věrohodnost.

Po vytvoření souboru ve formátu *.gcode* je reprodukce modelu otázkou stisku několika málo tlačítek. V porovnání s komerčními modely je prezentovaný model velmi levný. Materiál potřebný ke tvorbě tohoto modelu stojí necelých 90 Kč, což představuje přibližně 10 % ceny komerčně dostupného modelu. Další výhodou 3D tisku je možnost úpravy modelu například zrcadlové převrácení a tvorba modelu kontralaterální strany. Lichtenberger (2018) ve své práci rovněž popisuje podobné výhody 3D tisku.

Výše zmíněný postup lze aplikovat i pro tvorbu modelů dalších míst typických pro založení intraoseálního vstupu – distální část tibia a proximální část humeru.

Závěr

Za použití anatomického preparátu a technologie 3D tisku jsme vytvořili realistický, snadno reprodukovatelný a levný model k nácviu založení intraoseálního přístupu pro studenty medicíny. 3D tisk může být pro oblast simulační medicíny značným přínosem.

Poděkování

Tato práce byla podpořena grantovým projektem IGA_LF_2019_004 a z Evropského fondu pro regionální rozvoj – projekt ENOCH (reg.č.: CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_019/0000868).

Souhrn

Cílem této práce je popsat proces tvorby jednoduchého modelu proximální tibia pro trénink zavedení intraoseálního přístupu pro studenty medicíny za využití anatomického preparátu a technologie 3D tisku. Naskenovali jsme proximální část tibia a sken uložili ve formátu *.stl*. Za použití několika volně dostupných softwarových programů jsme sken kosti upravili a vytvořili model měkkých tkání. Oba modely byly uloženy ve formátu *.stl*. Následovala tvorba souborů *.gcode* kompatibilních s 3D tiskárnou. Oba modely byly vytištěny a slepeny dohromady. Na modelu jsou dobře hmatné struktury nezbytné pro správnou identifikaci místa zavedení intraoseální jehly. K otestování modelu jsme použili intraoseální vrtačku. Provrtání části modelu simulující kompaktní vrstvu kosti následuje citelná ztráta odporu jako známka vstupu do spongiózní části kosti. Model, který jsme vytvořili, je velmi realistický, snadno reprodukovatelný a levný. 3D tisk může být s výhodami využitý při přípravě modelů pro simulační medicínu.

Klíčová slova: simulační medicína, 3D tisk, intraoseální přístup

Literatura

- Berman, B. (2012). 3-D printing: The new industrial revolution. *Business horizons*, 55 (2), 155-162.
- Hoskins, S. L., do Nascimento Jr, P., Lima, R. M., Espana-Tenorio, J. M., & Kramer, G. C. (2012). Pharmacokinetics of intraosseous and central venous drug delivery during cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation*, 83(1), 107-112.
- Jones, F., Passos-Neto, C. E., & Braghieri, O. F. M. (2015). Simulation in Medical Education: Brief history and methodology. *Principles and practice of clinical research*, 1 (2), 56-63.
- Lichtenberger, J. P., Tatum, P. S., Gada, S., Wyn, M., Ho, V. B., & Liacouras, P. (2018). Using 3D printing (additive manufacturing) to produce low-cost simulation models for medical training. *Military medicine*, 183 (suppl.1), 73-77.
- Maconochie, I. K., Bingham, R., Eich, C., López-Herce, J., Rodríguez-Núñez, A., Rajka, T., ... & Nolan, J. P. (2015). European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2015: section 6. Paediatric life support. *Resuscitation*, 95, 223-248.
- Makary, M. A., & Daniel, M. (2016). Medical error – the third leading cause of death in the US. *Bmj*, 353, i2139.
- McGaghie, W. C., Issenberg, S. B., Petrusa, E. R., & Scalese, R. J. (2010). A critical review of simulation-based medical education research: 2003–2009. *Medical education*, 44(1), 50-63.
- Meller, G. (1997). A typology of simulators for medical education. *Journal of digital imaging*, 10(1), 194-196.
- Orlowski, J. P., Porembka, D. T., Gallagher, J. M., Lockrem, J. D., & VanLente, F. (1990). Comparison study of intraosseous, central intravenous, and peripheral intravenous infusions of emergency drugs. *American journal of diseases of children*, 144(1), 112-117.
- Rosetti, V. A., Thompson, B. M., Miller, J., Mateer, J. R., & Abrahamian, C. (1985). Intraosseous infusion: an alternative route of pediatric intravascular access. *Annals of emergency medicine*, 14(9), 885-888.
- Soar, J., Nolan, J. P., Böttiger, B. W., Perkins, G. D., Lott, C., Carli, P., ... & Sunde, K. (2015). European resuscitation council guidelines for resuscitation 2015: section 3. Adult advanced life support. *Resuscitation*, 95, 100-147.
- Sova, M. & Vachutka, J. a kol. (2019). *Scénáře akutní medicíny pro simulátor SimMan 3G*. Olomouc, Vydavatelství Univerzity Palackého v Olomouci.
- Ziv, A., Wolpe, P. R., Small, S. D., & Glick, S. (2003). Simulation-based medical education: an ethical imperative. *Academic medicine*, 78(8), 783-788.

Sněhota, M., Kikalová, K., Kaprál, L., Vachutka, J., & Plhák, J. (2019). Tvorba modelu proximální tibia pro trénink intraoseálního přístupu s využitím technologie 3D tisku – pilotní studie. *Česká antropologie*, 69 (1-2), 22-25.