proLékaře.cz | 22.8.2025

doi: 10.48095/cccsnn2024423

Virtuální realita v neurochirurgii: vývoj vzdělávacího modulu zaměřeného na zavádění ICP čidla

Virtual reality in neurosurgery: development of an educational module focused on intracranial pressure sensor insertion

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

M. Filip[1,2], J. Doležel[1,3], A. Kozlovskaya[1,2], M. Kender[1,2], P. S. Novák[1], J. Filipová[1,2]

[1] Lékařská fakulta, Ostravská univerzita
[2] Neurochirurgické oddělení, Krajská nemocnice T. Bati, a. s.
[3] Centrum telemedicínských služeb, FN Ostrava

✉ PaedDr. Jakub Doležel, Ph.D.
Centrum telemedicínských služeb
LF OU a FN Ostrava
Syllabova 19
703 00 Ostrava-Vítkovice
e-mail: jakub.dolezel@osu.cz

Přijato k recenzi: 30. 9. 2024
Přijato do tisku: 21. 11. 2024

Souhrn

Virtuální realita představuje interaktivní uměle vytvořené prostředí izolované od reálného světa. Tato jedinečná technologie za využití imerzivity a gamifikace v posledním desetiletí vhodně doplňuje edukaci léčebných postupů a operačních technik. Náš tým se na základě pozitivních zkušeností s využitím virtuální reality v rehabilitaci rozhodl vyvinout vzdělávací model relativně nenáročné neurochirurgické operace, a to zavedení čidla intrakraniálního tlaku. Obsahem sdělení je vývoj modulu a první zkušenosti s jeho testováním ve výuce. Modul kombinuje realisticky navržené prostředí s virtuální asistencí a možností online kontroly vyučujícím. Za využití jednoduchého ovládání umožňuje bezpečný a libovolně opakovaný nácvik operace. Zdá se, že imerzivita a gamifikace jsou klíčovým rozdílovým prvkem pro lepší zapamatování informací při nácviku, a tím zkvalitnění učebního procesu oproti jiným technikám. To nám potvrdili při testování modulu zdravotničtí pracovníci vývojového týmu a studenti lékařské fakulty a vyšší odborné zdravotnické školy. Předpokládáme, že aplikace tohoto modulu do nácviku operačních postupů by v budoucnu mohla efektivně doplnit stávající výukové metody a potenciálně urychlit vzdělávací křivku při nácviku daného výkonu.

Abstract

Virtual reality represents an interactive, artificially created environment isolated from the real world. This unique technology, through immersion and gamification, has effectively complemented the education of therapeutic procedures and surgical techniques over the past decade. Based on positive experiences with the use of virtual reality in rehabilitation, our team decided to develop an educational model for a relatively straightforward neurosurgical procedure: the insertion of an intracranial pressure sensor. This report discusses the development of the module and the initial experiences with its testing in education. The module combines a realistically designed environment with virtual assistance and the possibility of online supervision by instructor. Its simple controls allow for safe and freely repeatedly practiced operations. Immersion and gamification appear to be key differentiators for better retention of information during training, thereby improving the educational process compared to other techniques. This has been confirmed during module testing by healthcare professionals from the development team and students from the faculty of medicine and higher medical school. We anticipate that the application of this module in surgical training could effectively complement existing teaching methods and potentially accelerate the learning curve for the given procedure in the future.

Klíčová slova

neurochirurgie – intrakraniální tlak – techniky tréninku – virtuální realita – imerze

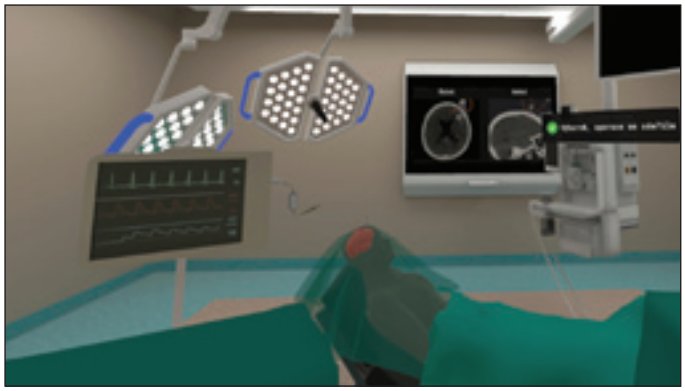
Key words

neurosurgery – intracerani pressure – training techniques – virtual reality – immersion

Úvod

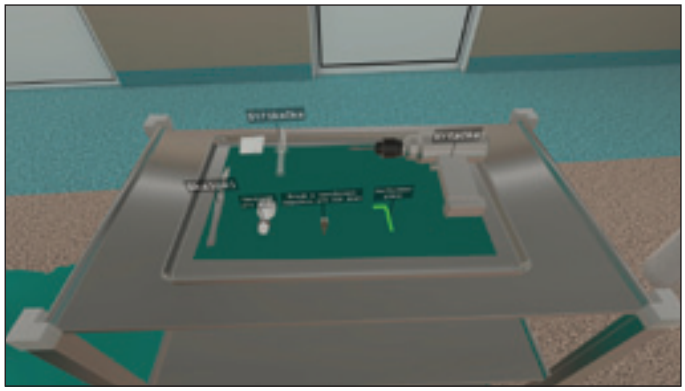
V současnosti se technologie virtuální reality (VR) využívají jako doplněk např. v rehabilitaci [1,2], diagnostice [3,4] a u neurochirurgických operací [5]. Speciální brýle se senzory umožňují vytvářet iluzi realistického a kontrolovaného 3D prostředí, což studentům poskytuje možnost bezpečného a efektivního procvičování různých postupů a technik bez potřeby dodatečných pomůcek, jako jsou kadavery nebo modely z 3D tisku [6,7]. Imerzní přístup, který VR nabízí, umožňuje studentům plně se ponořit do simulovaného prostředí, a tím výrazně zlepšuje zapamatování a praktické dovednosti získané během výuky [8,9].

proLékaře.cz | 22.8.2025



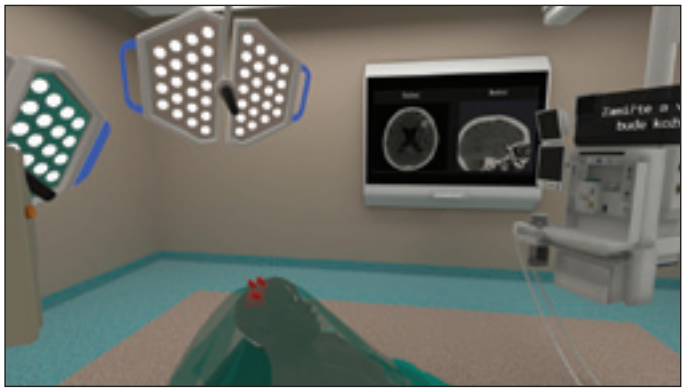
Obr. 1. Zobrazení simulovaného operačního sálu ve virtuální realitě, kde probíhá trénink na zavádění čidla intrakraniálního tlaku.

Fig. 1. Visualization of a simulated operating room in virtual reality, where training on the insertion of an intracrani pressure sensor is taking place.



Obr. 2. Detail chirurgických nástrojů používaných při zavádění čidla intrakraniálního tlaku, zobrazených v simulaci virtuální reality.

Fig. 2. Close-up of surgical instruments used during the insertion of an intracranial pressure sensor, displayed in the virtual reality simulation.



Obr. 3. Interaktivní prvek v simulaci virtuální reality zobrazující textovou nápovědu ve virtuálním prostoru.

Fig. 3. Interactive element in the virtual reality simulation displaying textual guidance in the virtual environment.

Obr. 4. Virtuální asistence – zelená šipka označuje výběr chirurgického instrumentaria.

Fig. 4. Virtual assistance – a green arrow indicating the selection of surgical instruments.

Na základě těchto poznatků vytvořil náš multidisciplinární tým složený ze zdravotnických pracovníků a techniků výukový modul pro nácvik standardizovaného a relativně jednoduchého výkonu – aplikace čidla intrakraniálního tlaku. Tento typ operace se nejčastěji používá u komatózních pacientů ke sledování závažných změn mozkové tkáně způsobených nejčastěji traumatem, kde není indikována jiná operační intervence. Aplikace čidla, vzhledem k závažnosti stavu pacienta, vyžaduje rychlé a přesné zvládnutí celého operačního postupu. Simulace výkonu pomocí technologie VR může zvýšit jeho kvalitu, což má pozitivní dopad na pacienta.

Metodika

Aplikace byla navržena na základě pozitivních zkušeností pro headset Meta Quest 3, který se vyznačuje jednoduchým ovládáním, vysokým rozlišením, nízkou hmotností a ergonomickými ovladači přesně snímajícími pohyby. Zařízení disponuje dostatečným výkonem a umožňuje až 2 hodiny plynulé interakce s aplikací, čímž zajišťuje co nejrealističtější tréninkové prostředí. Samotný nácvik operace pak probíhá pomocí 3D brýlí, které kombinují textové tabulky s virtuální asistencí a možností online kontroly vyučujícím.

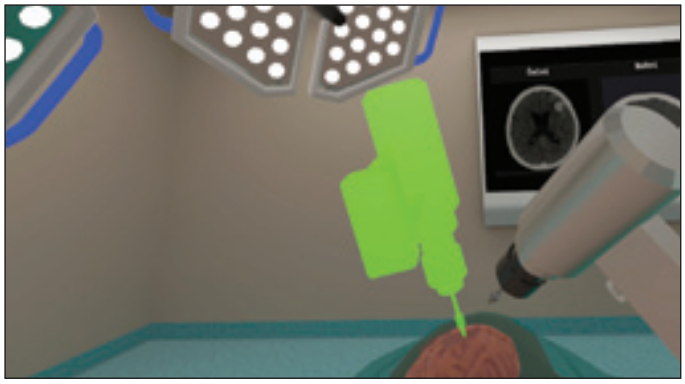
Vývoj vzdělávacího modulu probíhal ve třech na sebe navazujících fázích.

V první fázi vývoje vzdělávacího modulu zdravotnický tým rozdělil výkon na klíčové kroky, které technikům umožnily pochopit a modelovat jednotlivé fáze operace. Mezi tyto kroky patřily příprava pacienta na operačním sále, samotný výkon zahrnující trepanaci lebky z krátkého řezu v Kocherově bodě frontálně, fixaci šroubu v lebeční kosti a zavedení čidla s napojením na monitor zobrazující hodnoty ICP. Tyto fáze operace byly zaznamenány pomocí kamer, přičemž záznamy sloužily jako referenční materiál pro vývoj detailních 3D modelů, které co nejvěrněji simulují reálné podmínky na operačním sále (obr. 1).

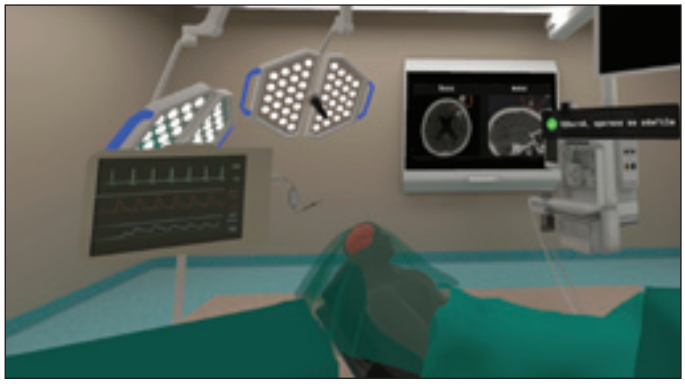
Druhá fáze vývoje zahrnovala 3D modelování a texturování pomocí programu Blender na multiplatformním softwaru Unity (Unity Technologies, Austin, TX, USA). Tím jsme byli schopni vytvořit detailní a realistické modely orgánů, nástrojů a operačního prostředí. Důraz byl kladen na přesnost a věrnost modelů, aby uživatelé mohli provádět nácvik výkonu v co nejrealističtějším zobrazení operačního sálu a potřebného nástrojového vybavení. Pro dosažení kvalitního zobrazení jsme modely opatřili texturami, které simulují reálný vzhled operačního prostředí a nástrojů. Texturování zahrnovalo použití pokročilých technik pro simulaci odrazů, stínů a dalších vizuálních efektů (obr. 2).

Ve třetí fázi vývoje technici využili vývojovou platformu XR Interaction Toolkit (Unity Technologies, Austin, TX, USA) k implemen-

proLékaře.cz | 22.8.2025



Obr. 5. Virtuální asistence v zelené barvě lokalizuje správnou pozici nástroje v operačním poli.
Fig. 5. Virtual assistance highlights in green the correct position of the instrument in the surgical field.



Obr. 6. Finální zobrazení prostředí sálu po aplikaci čidla intrakraniálního tlaku.
Fig. 6. Final visualization of the operating room environment after the application of the intracrani pressure sensor.

taci interaktivních prvků, jako jsou např. operační nástroje, které propojují uživatele s 3D modely v prostředí VR. Bylo vytvořeno intuitivní a uživatelsky přívětivé rozhraní, které usnadňuje ovládání instrumentaria a navigaci při nácviku operace. Uživatelé mohou manipulovat s virtuálními nástroji, provádět operace a získávat zpětnou vazbu v reálném čase. Během nácviku je student veden krok za krokem pomocí textové nápovědy (obr. 3) doplněné o názornou obrazovou asistenci ve virtuálním prostředí. Zelená šipka, tzv. virtuální asistence, na obrazovce brýlí spolu s textem označuje nástroj na instrumentačním stolku, který má student použít (obr. 4). Po uchopení virtuální rukou je nástroj zvýrazněn zelenou barvou a automaticky umístěn do správné pozice v operačním poli (obr. 5). Pokud je nástroj správně použit, jeho barva se změní na modrou, což studentovi umožní pokračovat v operaci. V případě nesprávného umístění se nástroj vrátí na instrumentační stolek do původní pozice a postup musí být zopakován s pomocí virtuální asistence. Tímto způsobem probíhá celý výukový proces (obr. 6).

Výsledky

Po základní finalizaci byl modul otestován týmem lékařů a sester z multioborového týmu a také studenty lékařských a nelékařských oborů. Zapojení účastníci ocenili zejména následující aspekty:

- Snadné a intuitivní ovládání pomocí 3D brýlí s ovladači v realistickém prostředí operačního sálu, a to bez potřeby dalších speciálních pomůcek či výukových prostor.
- Možnost bezpečného a opakovaného procvičování výkonu v kontrolovaném prostředí, čímž se eliminuje riziko nesprávné manipulace, které by mohlo vést k poškození přístrojového vybavení zapůjčeného pro výuku.
- Možnost odborného vedení instruktorem s okamžitou online interakcí pomocí PC nebo 3D brýlí.
- Snížení nákladů na výuku díky příznivé ceně vybavení, tedy 3D brýlí a ovladačů.

Hlavní riziko výuky ve VR spočívá v nedostatečně propracovaném scénáři operace a nekvalitním technologickém provedení. Studenti s poruchou vestibulárního aparátu se nemohou výuky ve VR účastnit kvůli možným komplikacím, jako jsou nauzea a bolesti hlavy. Riziko spojené s tvorbou scénáře a vývojem aplikace bylo redukováno spoluprací multioborového týmu.

Diskuze

Autoři Chan et al. [10] poukazují na značný potenciál v prostředí VR v transformaci neurochirurgického vzdělávání. Význam této technologie v medicíně potvrzují také Iop et al. [11], kteří zdůrazňují, že VR umožňuje lékařům bezpečně experimentovat s různými technikami a scénáři, což podporuje inovace v chirurgii a zlepšuje celkovou kvalitu péče. Klíčovým faktorem v efektivitě výuky prostřednictvím VR je tzv. imerzivita, tedy schopnost mozku vnímat simulované prostředí jako skutečné a adekvátně na něj reagovat. Tím, že VR eliminuje vnější podněty, umožňuje plnou koncentraci na úkol, což v kombinaci s gamifikačními prvky zlepšuje zapamatování a urychluje učební proces [12,13]. Při tvorbě výukových modulů je kladen důraz na návrh multimodálního virtuálního prostředí, jako je např. simulace operačního sálu, a na vytváření imerzivních scénářů, které realisticky simulují chirurgické postupy. Velkou roli hraje i uživatelsky přívětivý způsob výuky, který zahrnuje gamifikaci nácviku, podobně jako při rehabilitaci ve VR [1,2]. Gamifikace ve VR představuje využití herních prvků k posílení angažovanosti a motivace účastníků během výcviku. Díky tomu mohou studenti interaktivně procvičovat dovednosti v prostředí, které simuluje reálné situace, což usnadňuje osvojování znalostí a zlepšuje schopnost reagovat na různé scénáře v praxi. Takto komplexní výukovou metodu zatím žádná jiná technologie nenabízí [8]. Tuto zkušenost nám potvrdili i studenti, kteří námi vytvořený modul testovali.

Fiani et al. [14] zdůrazňují, že VR poskytuje detailní vizualizaci anatomických struktur, což je zásadní pro přesné plánování chirurgických výkonů a snížení rizika komplikací. Podle autorů Kozel et al. [3], Školoudík et al. [4], Gosal et al. [5] a Mishra et al. [15] realistické simulace ve VR významně zlepšují chirurgické dovednosti. Naše první zkušenosti ukazují, že výuka prostřednictvím vytvořeného modulu pro zavádění čidla ICP může výrazně rozšířit praktické schopnosti zdravotnických pracovníků, což je v souladu se závěry Vayssiere et al. [6] a Knafo et al. [16].

Colombo et al. [17] uvádějí, že VR přispívá ke zvýšení přesnosti a bezpečnosti operací. V souladu s mezinárodními zkušenostmi můžeme potvrdit, že jedním z hlavních přínosů VR v neurochirurgickém tréninku je možnost opakovaného nácviku bez rizika pro pacienty, což lékařům umožňuje získat potřebné dovednosti v kontrolovaném prostředí. Nicméně zatím nemůžeme potvrdit výsledky autorů Roh et al. [18], podle nichž

proLékaře.cz | 22.8.2025

účastníci výuky ve VR dosahují rychleji vyšší přesnosti a efektivity při simulovaných výkonech. Realistické simulace tak prokazatelně zlepšují dovednosti rezidentů.

Autoři Arjun et al. [9], Chan et al. [10], Bernardo [12], Fiani et al. [14] a Paro et al. [19] zdůrazňují, že VR zvyšuje důvěru lékařů ve vlastní schopnosti a připravenost na reálné klinické situace, což je klíčové pro úspěšné provádění neurochirurgických operací. Tento přístup umožňuje lékařům experimentovat s různými technikami a scénáři bez rizika pro pacienty, což může vést k inovacím v chirurgických postupech a případně i ke snížení nákladů ve srovnání s robotickými systémy. Tato tvrzení nejsme schopni prozatím doložit.

Do budoucna zvažujeme rozšíření modulu o scénáře simulující běžné komplikace při zavádění čidla ICP, jako je např. krvácení. Takové rozšíření by modulu přidalo realistický trénink, kde si studenti procvičí reakce na krizové situace, čímž se lépe připraví na podobné výzvy v reálném klinickém prostředí. Tento prvek by mohl významně zvýšit jejich připravenost a schopnost efektivně reagovat během náročných zákroků.

Závěr

Vytvořený modul pro zavádění čidla ICP demonstruje, že výuka prostřednictvím technologie VR, která využívá imerzivitu a gamifikaci, nabízí oproti tradičním metodám realistickou, bezpečnou a neomezeně opakovatelnou simulaci chirurgických výkonů. Tento přístup nevyžaduje náročné výukové prostory ani speciální vybavení, což výrazně zvyšuje jeho efektivitu. Naše první zkušenosti, které jsou v souladu s odbornou literaturou, potvrzují významný potenciál VR v medicínském vzdělávání. Tyto pozitivní výsledky nás motivují k pokračování ve vývoji dalších výukových modulů, které dále rozšíří možnosti simulace neurochirurgických operací.

Etické aspekty

Studie byla provedena ve shodě s Helsinskou deklarací z roku 1975 (a jejími revizemi z let 2004 a 2008).

Grantová podpora

Projekt vznikl za podpory operačního programu Spravedlivá transformace Státního fondu životního prostředí ČR v rámci projektu Life & Environment Research Center Ostrava (LERCO) s reg. č. CZ.10.03.01/00/22_003/0000003. Veškerá práva podle předpisů na ochranu duševního vlastnictví jsou vyhrazena.

Konflikt zájmů

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

Literatura

1. Baníková Š, Najsrová A, Fiedorová I et al. Virtual reality in rehabilitation of patients after stroke. Čes Slov Neurol N 2024; 87/120(3): 185–190. doi: 10.48095/cccsnn2024185.

2. Dąbrowská M, Pastucha D, Janura M et al. Effect of virtual reality therapy on quality of life and self-sufficiency in post-stroke patients. Medicina (Kaunas) 2023; 59(9): 1669. doi: 10.3390/medicina59091669.

3. Kozel J, Školoudík D, Ressner P et al. Echogenicity of brain structures in Huntington's disease patients evaluated by transcranial sonography – magnetic resonance fusion imaging using Virtual Navigator and digital image analysis. Ultraschall Med 2023; 44(5): 495–502. doi: 10.1055/a-2081-1635.

4. Školoudík D, Kuliha M, Roubec M et al. Comparison of brain vessel imaging from transtemporal and transcondylar approaches using contrast-enhanced transcranial color-coded duplex sonography and Virtual Navigator. Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub 2015; 159(4): 595–600. doi: 10.5507/bp.2014.064.

5. Gosal JS, Tiwari S, Sharma T et al. Simulation of surgery for supratentorial gliomas in virtual reality using a 3D volume rendering technique: a poor man's neuronavigation. Neurosurg Focus 2021; 51(2): E23. doi: 10.3171/2021.5.FOCUS21236.

6. Vayssiere P, Constanthin PE, Herbelin B et al. Applications of virtual reality in neurosurgery: The patient is missing. A systematic review. J Clin Neurosci 2022; 95: 55–62. doi. 10.1016/j.jocn.2021.11.031.

7. Buchvald P, Vitvar J, Čapek L. 3D tisk v neurochirurgii – naše zkušenost. Čes Slov Neurol N 2023; 86(5): 329–332. doi: 10.48095/cccsnn2023329.

8. Orser, BA, Spadafora, SM. Competence-based training and immersion virtual reality: paradigm-shifting advances in medical education. Anesth Analg 2022; 135(2): 220–222. doi: 10.1213/ANE.0000000000006116.

9. Arjun BC, Sachith GM. Immersive learning: virtual reality's impact on medical curriculum. Int J Eng Sci 2024; 3(5). doi: 10.55041/isjem01740.

10. Chan J, Pangal DJ, Cardinal T et al. A systematic review of virtual reality for the assessment of technical skills in neurosurgery. Neurosurg Focus 2021; 51(2): E15. doi: 10.3171/2021.5.FOCUS21210.

11. Iop A, El-Hajj VG, Gharios ová M et al. Augmented reality in neurosurgical education: a systematic review. Sensors 2022; 22(16): 6067. doi: 10.3390/s22166067.

12. Bernardo A. Virtual reality and simulation in neurosurgical training. World Neurosurg 2017; 106: 1015–1029. doi: 10.1016/j.wneu.2017.06.140.

13. Makransky G, Petersen GB. The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL): a theoretical research-based model of learning in immersive virtual reality. Educ Psychol Rev 2021; 33: 937–958. doi: 10.1007/s10648-020-09586-2.

14. Fiani B, Stefano SD, Kondilis A et al. Virtual reality in neurosurgery: "Can you see it?" – a review of current applications and future potential. World Neurosurg 2020; 141: 291–298. doi: 10.1016/j.wneu.2020.06.066.

15. Mishra R, Narayanan MDK, Umana GE et al. Virtual reality in neurosurgery: beyond neurosurgical planning. Int J Environ Res Public Health 2022; 19(3): 1719. doi: 10.3390/ijerph19031719.

16. Knafo S, Penet N, Gaillard S et al. Cognitive versus virtual reality simulation for evaluation technical skills in neurosurgery. Neurosurg Focus 2021; 51(2): E9. doi: 10.3171/2021.5.FOCUS201007.

17. Colombo E, Lutters B, Kos T et al. Application of virtual and mixed reality for 3D visualization in the planning of intracranial aneurysm surgery: a systematic review. Front Surg 2023; 10: 1227510. doi: 10.3389/fsurg.2023.1227510.

18. Roh TH, Oh JW, Jang CK et al. Virtual autopsy of the real brain: Integration of photographic 3D models into virtual reality and its impact on the training of neurosurgical residents' education. Neurosurg Focus 2021; 51(2): E16. doi: 10.3171/2021.5.FOCUS21193.

19. Paro MR, Hersh DS, Bulsara KR. The history of virtual reality and augmented reality in neurosurgical training. World Neurosurg 2022; 167: 37–43. doi: 10.1016/j.wneu.2022.08.042.

Impakt faktor časopisu Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie pro rok 2023 činí **0,3**.