Translated from English to Slovak - www.onlinedoctranslator.com

Check for updates

Časopis kardiovaskulárnej elektrofyziológie

WILEY

PÔVODNÝ ČLÁNOK OPEN ACCESS

In vitro hodnotenie účinkov 3T MRI na elektronické implantovateľné srdcové zariadenia nekompatibilné s 3T

Yu Fukuoka[1] | Jasuo Sakurai[2] | Risa Kanai[3] | Yuuya Miyazaki[2] | Haruka Yamazaki[1] | Yusuke Koga[1] | Isao Tsukamoto[1] | Yoshifumi Ikeda[4] | Hitoshi Mori[4] | Kazuhisa Matsumoto[4] | Ritsushi Kato[4]

[1]Oddelenie klinického inžinierstva, Medzinárodné lekárske centrum Lekárskej univerzity Saitama, Hidaka, Saitama, Japonsko | [2]Centrálne rádiologické oddelenie, Lekárska univerzita Saitama, Medzinárodné lekárske centrum, Hidaka, Saitama, Japonsko | [3]Ambulantná kardiologická klinika, Lekárska univerzita Saitama, Medzinárodné lekárske centrum, Hidaka, Saitama, Japonsko | [4]Kardiologické oddelenie, Lekárska univerzita Saitama, Medzinárodné lekárske centrum, Hidaka, Saitama, Japonsko

Korešpondencia: Ritsushi Kato (ritsn@saitama-med.ac.jp)

Prijaté:22. januára 2026 | **Revidované:**6. mája 2026 | **Prijaté:**29. mája 2026

Kľúčové slová:3 Teslova magnetická rezonancia | implantovateľné elektronické zariadenie na srdce | magnetický režim | kardiostimulátor | zlyhanie telemetrie

ABSTRAKT

Pozadie: Bezpečnosť implantovateľných elektronických zariadení pre srdce (CIED) počas 3-Tesla (3T) MRI zostáva neistá, najmä v prípade zariadení, ktoré nie sú určené na použitie v 3T. Experimentálne sme vyhodnotili účinky 3T MRI na 3T kompatibilné a nekompatibilné CIED.

Metódy:Päťdesiatosem CIED (37 kardiostimulátorov, 21 ICD; 3T MRI podmienečne *n*=31, 1,5 T MRI podmienečne *n*=14 a bez nutnosti podmieneného vyšetrenia magnetickou rezonanciou *n*=13) boli testované v 3T skeneri. Každé zariadenie bolo ponorené do fyziologického roztoku s pripojenými elektródami a naprogramované na asynchrónnu alebo vyžiadanú stimuláciu so zapnutým alebo vypnutým režimom MRI. Interogácia zariadenia pred a po skenovaní hodnotila integritu telemetrie, zachovanie parametrov a zmeny stimulačného režimu.

Výsledky:Väčšina CIED dokončila MRI bez poruchy a zostala telemetrická. Avšak medzi kardiostimulátormi sa zlyhanie telemetrie alebo resetovanie parametrov vyskytlo u 6 zariadení bez podmienečného vyšetrenia MRI a 3 zariadení s 1,5 T podmienečným vyšetrením MRI, vrátane niektorých zariadení so zapnutým režimom MRI. Zlyhanie resetovania alebo telemetrie bolo častejšie u zariadení s nízkym stavom batérie (≤30 % k ERI) ako u osôb s vyšším statusom (6/11 [55 %] oproti 3/22 [14 %], p= 0,013). Pri vypnutom režime MRI bol magnetický režim aktivovaný v 11 3T a 7 kardiostimulátoroch bez podmienečného vyšetrenia MRI; frekvencia aktivácie sa nelíšila medzi asynchrónnou a demand stimuláciou (16/31 [52 %] oproti 18/31 [58 %], p= 0,610). V niektorých kardiostimulátoroch a ICD viedla stimulácia na požiadanie k prepnutiu predsieňového režimu alebo k inhibícii stimulácie, ale v ICD nedošlo k žiadnemu zlyhaniu resetovania ani telemetrie.

Závery:V priamych in vitro experimentoch s expozíciou 3T MRI, ktoré zahŕňali CIED bez 3T MRI, niektoré kardiostimulátory blížiace sa k ERI preukázali zvýšené riziko zlyhania alebo resetovania telemetrie a tie s vypnutým režimom MRI vykazovali nezanedbateľné prepínanie režimov. Väčšina zariadení však nevykazovala závažné elektrické poruchy, ktoré by si vyžadovali výmenu v klinickom prostredí, a u ICD neboli pozorované žiadne prípady resetovania zariadenia alebo zlyhania telemetrie.

1 | Úvod

S rastúcim globálnym prijímaním magnetickej rezonancie (MRI) s výkonom 3 Tesla (3T) v klinickej praxi väčšina novo implantovaných Implantovateľné elektronické zariadenia srdca (CIED) sú teraz kompatibilné s 3T MRI. Značný počet pacientov však stále má staršie systémy CIED, ktoré nie sú kompatibilné s 3T MRI skenermi.

Skratky:AMS, prepínač predsieňového režimu; AVD, čas atrioventrikulárneho oneskorenia; CIED, implantovateľné elektronické zariadenia srdca; ICD, implantovateľný kardioverter-defibrilátor; MRI, zobrazovanie magnetickou rezonanciou; PM, kardiostimulátor.

Toto je článok s otvoreným prístupom podľa podmienok Uvedenie autora Creative Commons Licencia, ktorá povoľuje použitie, distribúciu a reprodukciu v akomkoľvek médiu za predpokladu, že je pôvodné dielo riadne citované.

© 2026 Autor(i). *Časopis kardiovaskulárnej elektrofyziológie* vydáva Wiley Periodicals LLC.

Mnohé rozsiahle štúdie [1–4] preukázali uskutočniteľnosť vykonania MRI u pacientov s CIED nepodmienenými MRI, ako aj v kohortách, ktoré zahŕňajú pacientov s CIED podmienenými MRI. V aktuálnom vyhlásení HRS [5] a smernice ESC [6], MRI skenovanie je klasifikované ako indikácia triedy IIa, keď sú elektródy pripojené k zariadeniu, a to aj v prípade, že samotné zariadenie nie je podmienečne vhodné pre MRI. Avšak aj v správach opisujúcich bezpečné vykonávanie MRI skenovania bol hlásený malý počet udalostí zlyhania resetovania a telemetrie [1–3]. Okrem toho, väčšina hlásených skúseností s MRI bola obmedzená na 1,5 T MRI [7, 8 Metaanalýza ukázala, že keď sa MRI vykonáva pri intenzite poľa presahujúcej 1,5 T, je zložená miera klinických bezpečnostných udalostí výrazne vyššia s pomerom rizika približne 5,96 v porovnaní s 1,5 T [7]. Väčšina týchto nežiaducich udalostí bola pripísaná resetu pri zapnutí, čo občas viedlo k inhibícii stimulácie alebo dokonca k zástave srdca, vrátane prípadu s „moderným“ systémom CIED [9]. Tieto zistenia naznačujú, že bezpečnosť 3T MRI – najmä u pacientov s CIED (koronárnymi endokarditidami a endoprotézou) bez nutnosti podmieneného vyšetrenia MRI – zostáva neistá a vyžaduje si ďalšie skúmanie. Navyše, hoci predchádzajúce správy [10, 11] v 3T MRI opisujú stav zariadenia po skenovaní, len máloktorí sa zaoberali správaním prepínača predsieňového režimu (AMS) alebo magnetického režimu počas samotného MRI vyšetrenia. Okrem toho, počiatočná multicentrická rozsiahla štúdia, štúdia MagnaSafe [1], vylúčilo zobrazovanie hrudníka, pri ktorom sa zariadenie nachádza blízko stredovej čiary skenera. Preto bola táto štúdia vykonaná s cieľom priamo skenovať nepodmienečne vyšetrené MRI zariadenia, podmienečne vyšetrené MRI zariadením s hodnotou 1,5 T a podmienečne vyšetrené MRI zariadením s hodnotou 3 T a objasniť správanie týchto zariadení. Najmä hoci išlo o „moderné zariadenia“, cieľom bolo objasniť elektrická bezpečnosť 3T MRI skenovania v zariadeniach, ktoré nie sú kompatibilné s 3T.

2 | Materiály a metódy

2.1 | Typy CIED a pripojených potenciálnych zákazníkov Zariadenia, ktoré podstúpili MRI skenovanie

Do tejto štúdie bolo zahrnutých päťdesiatosem CIED, ktoré boli pacientom odstránené z dôvodov, ako je infekcia alebo modernizácia zariadenia: 31 zariadení bolo podmienečne vhodných na 3T MRI, 14 bolo podmienečne vhodných na 1,5T MRI a 13 bolo podmienečne vhodných na ne-MRI (tabuľky1–3). Použité elektródy pozostávali z dvoch elektród IS-1 a jednej elektródy DF-1, DF-4 a SQ-1 (Tabuľka1). Okrem toho, zariadenia so zostávajúcou úrovňou nabitia batérie hlásenou programátorom≤30 % bolo klasifikovaných ako zariadení s nízkym stavom nabitia batérie. Stav batérie bol overený pre každé zariadenie pomocou programátora špecifického pre výrobcu. Ak nebola k dispozícii priama hodnota úrovne nabitia batérie, odhadla sa približná hodnota z hlásenej zostávajúcej životnosti batérie. Metódy použité na odhad zostávajúcej životnosti batérie podľa indikátora voliteľnej výmeny (ERI) sa líšili v závislosti od výrobcu takto: pre zariadenia Medtronic bola približná hodnota vypočítaná na základe napätia batérie a magnetickej frekvencie; pre zariadenia Abbott (St. Jude Medical) a Biotronik sa použilo percento zobrazené programátorom alebo indikátor ERI; a pre zariadenia Boston Scientific a MicroPort CRM (Sorin) bol odhad založený na zobrazenom indikátore, napätí batérie a magnetickej frekvencii.

TABUĽKA 1 | Počet zariadení podľa kategórie kompatibility s MRI.

	3,0T (*N*=31)	1,5T (*N*=14)	Nie-MRI (*N*=13)	Všetky (*N*=58)
Zariadenie				
Medtronic (%)	12 (38,7)	0 (0)	1 (7,7)	13 (22,4)
Abbott (%)	7 (22,6)	8 (57,1)	4 (30,8)	19 (32,8)
Biotronik (%)	7 (22,6)	2 (14,3)	1 (7,7)	10 (17,2)
Boston Scientific (%)	3 (9,7)	4 (28,6)	1 (7,7)	8 (13,8)
CRM pre MicroPort (%)	2 (6,5)	0 (0)	6 (46,2)	8 (13,8)
Kardiostimulátor				
Jednokomorový (%)	2 (6,5)	0 (0)	2 (15,9)	4 (6,9)
Dvojkomorový (%)	17 (54,8)	6 (42,9)	6 (46,2)	29 (50,0)
Bezolovnatý (%)	4 (12,9)	Neuvedené	Neuvedené	4 (6,9)
Medzifahlý kardiostimulátor (ICD)				
Jednokomorový (%)	0 (0)	1 (0)	0 (0)	1 (1,7)
Dvojkomorový (%)	8 (25,8)	3 (21,5)	5 (38,5)	16 (27,6)
S-ICD (%)	Neuvedené	4 (28,6)	Neuvedené	4 (6,9)
Stav batérie				
ERI > 30 % (%)	28 (90,3)	4 (28,6)	6 (46,2)	38 (65,5)
ERI≤30 % (%)	3 (9,7)	10 (71,4)	7 (53,8)	20 (34,5)
Typ stimulačnej elektródy				
IS-1	5076 58 cm (Medtronic), 2088TC 52 cm (Abbott)			
DF-1, DF-4	6947 (Medtronic), 6947M (Medtronic) SQ-1 3501 45 cm (Boston Scientific)			

15408167, 2026, 8, Stiahnuté z https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jce.70397 spoločnosťou Cochrane Slovakia, Wiley Online Library dňa [01.09.2026]. Pravidlá používania nájdete v zmluvných podmienkach (https://onlinelibrary.wiley.com/terms-and-conditions) na stránke Wiley Online Library; články OA sa riadia príslušnou licenciou Creative Commons.

TABUĽKA 2 |Zoznam kardiostimulátorov.

Zariadenie *N*=37	*N*(%)	Rok výroby	Zariadenie *N*=37	*N*(%)	Rok výroby
3T MRI podmienené			1,5T MRI podmienené		
Medtronic			Abbott (St. Jude Medical)		
Azure XT DR, W2DR01	3 (8.1)	2023, 2025 (2)	Zenex MRI, PM2282	1 (2,7)	2019
MRI Attesta S DR, ATDRS1	1 (2,7)	2023	Akcentová magnetická rezonancia, PM2224	5 (13,5)	2013 (2), 2014 (3)
Advisa MRI, A3DR01	1 (2,7)	2015	podmienené bez MRI vyšetrenia		
Micra VR, MC1VR01	1 (2,7)	2019	Medtronic		
Micra AV2, MC2AVR1	3 (8.1)	2024, 2025 (2)	Adapta DR, ADDR06	1 (2,7)	2018
Abbott (St. Jude Medical)			Abbott (St. Jude Medical)		
Magnetická rezonancia Assurity, PM2272	6 (16,2)	2018, 2022 (2), 2023, 2024 (2)	ZEFYR, 5826	1 (2,7)	2020
Boston Scientific			RÍŠSKO	1 (2,7)	2010
ACCOLADE, MRI L331	2 (5,4)	2025 (2)	MicroPort CRM (Sorin)		
Biotronik			Odpovedať200 DR	4 (10,8)	2012 (2), 2013, 2018
Evity 8-T pro MRI	3 (8.1)	2019 (3)	Odpovedať200 SR	1 (2,7)	2015
Edora 8-T pro MRI	1 (2,7)	2023			
MicroPort CRM (Sorin)					
Alizea DR1600	2 (5,4)	2023 (2)			

TABUĽKA 3 |Zoznam ICD.

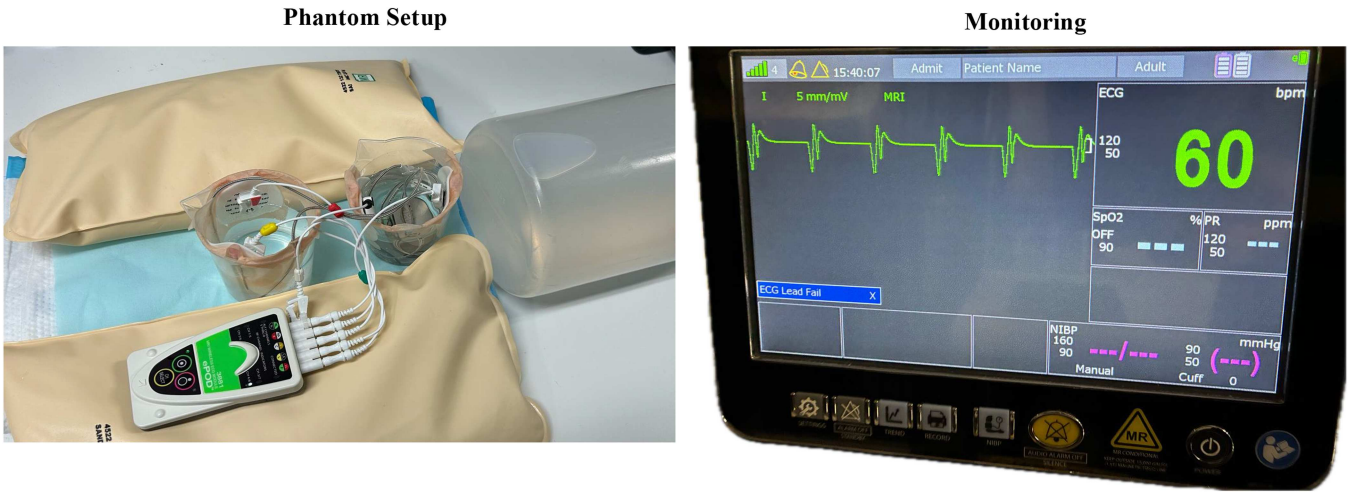
Zariadenie *N*=21	*N*(%)	Rok výroby	Zariadenie *N*=21	*N*(%)	Rok výroby
3T MRI podmienené			1,5T MRI podmienené		
Medtronic			Boston Scientific		
Cobalt XT DR, DDPA2D4	2 (9,5)	2020, 2023	EMBLÉM S-ICD A209	2 (9,5)	2016(2)
Abbott (St. Jude Medical)			EMBLÉM S-ICD A219	2 (9,5)	2022, 2025
Galantný, CDHFA500Q	1 (4,8)	2023	podmienené bez MRI vyšetrenia		
Boston Scientific			Abbott (St. Jude Medical)		
REZONOVAŤ, D433	1 (4,8)	2019	ZJEDNOTIŤ, CD3235-40	1 (4,8)	2012
Biotronik			UNIFY, CD3361-40QC	1 (4,8)	2013
Acticor 7 DR-T	2 (9,5)	2020, 2021	Boston Scientific		
Rivacor 7 HF-T QP Ilivia	1 (4,8)	2024	INCEPTA, F163	1 (4,8)	2015
Neo VR-T Pro MRI	1 (4,8)	2018	Biotronik		
1,5T MRI podmienené			Inlexa7 HF-T QP	1 (4,8)	2018
Abbott (St. Jude Medical)			MicroPort CRM (Sorin)		
QUADRA, CD3367-40Q	2 (9,5)	2016, 2017	PLATÍNA, DR1540	1 (4,8)	2021
Biotronik					
Iperia 7 VR-T	1 (4,8)	2015			
Iperia 7 DR-T	1 (4,8)	2016			

2.2 | Konfiguračné a overovacie parametre CIED

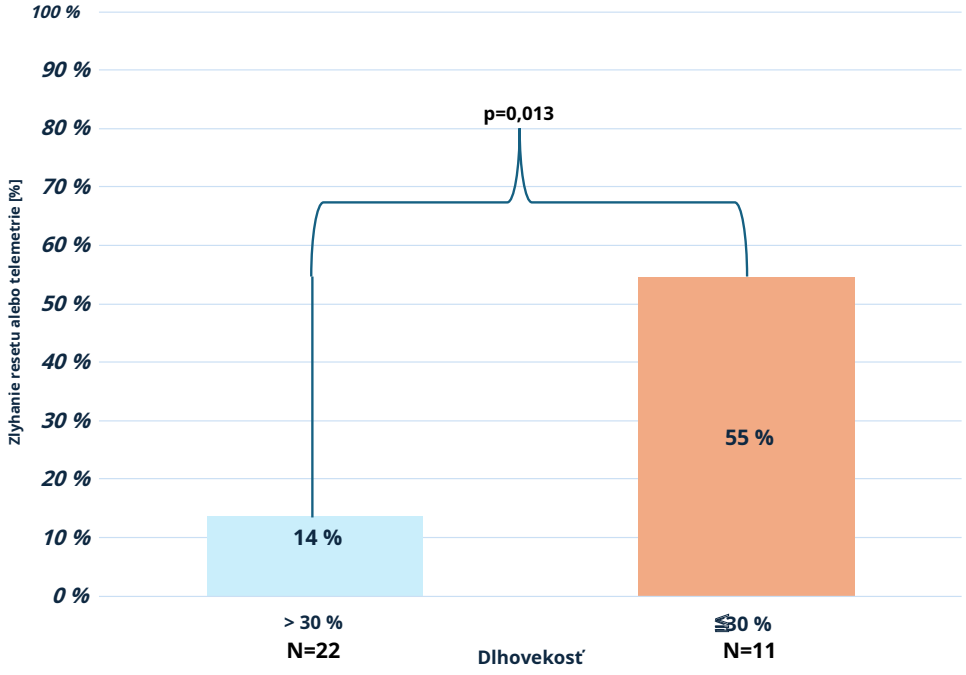
Každé CIED bolo spolu s príslušnou elektródou ponorené do nádoby naplnenej fyziologickým roztokom a interogácia zariadenia bola vykonaná pomocou programátora. Aby sa splnilo kritérium impedancie elektródy definované výrobcom, ktoré je potrebné pre režim MRI

Pred aktiváciou boli zariadenia pred programovaním a overením v režime MRI ponorené do 0,9 % fyziologického roztoku (200 ml na nádobu) pri teplote približne 10 °C – 20 °C (rozsah izbovej teploty). Tento krok bol vykonaný výlučne na umožnenie programovania v režime MRI a nebol určený na reprodukciu fyziologických podmienok (napr. 37 °C). V režime MRI VYPNUTÝ boli zariadenia

15408167, 2026, 8, Stiahnuté z https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jce.70397 spoločnosťou Cochrane Slovakia, Wiley Online Library dňa [01.09.2026]. Pravidlá používania nájdete v zmluvných podmienkach (https://onlinelibrary.wiley.com/terms-and-conditions) na stránke Wiley Online Library; články OA sa riadia príslušnou licenciou Creative Commons.



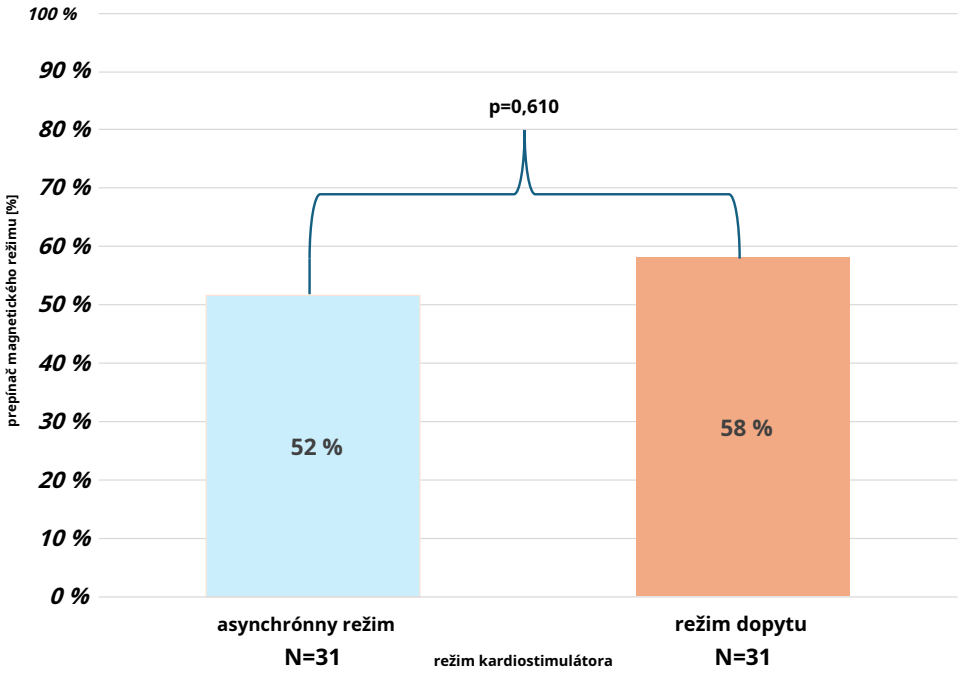
OBRÁZOK 1 | Fantóm a monitorovacie nastavenie použité počas zobrazovania magnetickou rezonanciou. Nádoba bola naplnená fyziologickým roztokom a implantovateľné elektronické zariadenia srdca (CIED) s pripojenými elektródami boli úplne ponorené. Aby sa splnilo kritérium impedancie elektródy definované výrobcom, ktoré je potrebné na aktiváciu režimu MRI, pred programovaním/overením režimu MRI sa vykonalo ponorenie do 0,9 % fyziologického roztoku (200 ml na nádobu) pri teplote približne 10 °C – 20 °C (rozsah izbovej teploty). Tento postup sa vykonal výlučne na umožnenie programovania režimu MRI a nebol určený na reprodukciu fyziologických podmienok (napr. 37 °C). Pomocou monitora pacienta kompatibilného s MRI (Pimot, IRADIMED, Orlando, FL) sa pozorovalo správanie CIED pred vstupom do miestnosti MRI, počas zobrazovania a po odchode.



OBRÁZOK 2 | Transvenózne kardiostimulátory (*n*=33) boli stratifikované podľa rozpätia indikátora voliteľnej výmeny (ERI) s použitím hraničnej hodnoty životnosti batérie 30 % k ERI. Spomedzi 22 zariadení s rezervou ERI > 30 % došlo u 3 (14 %) k resetu parametrov alebo zlyhaniu telemetrie, zatiaľ čo spomedzi 11 zariadení s rezervou ERI≤30 %, 6 (55 %) tak urobilo, čo ukazuje významný rozdiel medzi týmito dvoma skupinami (*p*=0,013).

nakonfigurované na asynchrónne chronologické režimy (DOO, a dopyt režimy (DDD, VVI VOO)); boli tiež hodnotené pod eRežim MRI ZAP. Správanie zariadenia alebo vo vnútri miestnosti pre magnetickú rezonanciu bolo mo nitorované pomocou kompatibilný s MRI systém monitorovania pacientov (Pimot, IR- ADIMED, Orlando , FL). V tomto systéme zvolení rokardiogram je v podstate ps eudo-EKG, ktoré detekuje iba p ace hroty; mohli sme však primárne posúdiť stimulačnú frekvenciu v reálnom čase, vrátane dôkaz stimulácie inhibícia alebo režim c zmena. Po každý Po skenovaní h boli zariadenia opätovne interogované na potvrdenie telemetrickej spoluk komunikácie, kontrolu zaznamenaných epizód, ako napríklad ventrikulárny ula stimulačný pomer r, odozva magnetu a výskyt predsieňových mo prepínanie a vyhodnocovanie zmien stavu batérie. Najmä par kardiostimulátory Abbott sú vybavené „magnetom“ epi funkcia „sode“. Preto sme udalosti sprevádzané zmenou stimulačnej od frekvencie na elektrokardiograme definovali ako „magnetickú potkan „elektronická stimulácia“, zatiaľ čo tí, u ktorých sa srdcová frekvencia nezmenila, boli

15408167, 2026, 8, Stiahnuté z https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jce.70397 spoločnosťou Cochrane Slovakia, Wiley Online Library dňa [01.09.2026]. Pravidlá používania nájdete v zmluvných podmienkach (https://onlinelibrary.wiley.com/terms-and-conditions) na stránke Wiley Online Library; články OA sa riadia príslušnou licenciou Creative Commons.



OBRÁZOK 3 | Prepínanie do magnetického režimu bolo porovnávané medzi asynchrónnou stimuláciou (DOO/VOO) a stimuláciou na požiadanie (DDD/VVI) s vypnutým režimom MRI u kardiostimulátorov, ktoré absolvovali všetky experimentálne protokoly (n=31). Medzi týmito dvoma skupinami sa nepozoroval žiadny významný rozdiel vo frekvencii prepínania magnetického režimu, hoci prevádzkové charakteristiky a prahy intenzity magnetického poľa, ktoré tieto zmeny spúšťali, sa medzi výrobcami líšili (DOO/VOO vs. DDD/VVI: 16/31 [52 %] vs. 18/31 [58 %], p=0,610).

definované ako „magnetické epizódy“, keď bolo zariadenie v nádobe s fyziologickým roztokom prinesené do miestnosti MRI. Preprogramovanie a skenovanie sa opakovali pre každú konfiguráciu. V prípade CIED vybavených defibrilačnou funkciou bola defibrilačná funkcia počas overovania VYPNUTÁ (obrázok1).

Okrem toho sa stimulačný výstup (amplitúda a šírka impulzu) udržiaval na nominálnych nastaveniach použitých v režime MRI ON pre všetky konfigurácie stimulácie. Dolný limit frekvencie bol nastavený na nominálnu hodnotu zariadenia v režime MRI ON, keď bol režim MRI ON, a na 60 ppm, keď bol režim MRI OFF. Citlivosť bola naprogramovaná na najcitlivejšie nastavenie (t. j. najnižší prah snímania) dostupné pre každé zariadenie.

2.3 | Protokol zobrazovania 3T MRI

Všetky vyšetrenia boli vykonané pomocou systému MRI Achieva dStream 3.0T (Philips) v našom zariadení. Zobrazovací protokol bol vybraný s ohľadom na bežné protokoly MRI hlavy a hrudníka používané v našom ústave a skeny boli vykonané za účelom priamo zobrazovať generátor impulzov, aby sa maximalizovala citlivosť na účinky elektromagnetického poľa. Protokol zahrnutá sekvencia T1 (T1; SAR 0,8 W/kg; Max B1+rms 2,0 µT), sekvencia T2 (T2; SAR 0,6 W/kg; Max B1+rms 1 23 µT) a dev Vyvážený - FFE (Vyvážený FF) VSAR 2,0 W/kg; M sekera B1+rms 1,2 µT). S AR a B1+RMS hodnota boli zaznamenané ako zobrazené na skenovanie konzola pre každého postupnosť.

Na obsah xtualizovať statický časopis n expozícia elektrickému poľu zariadenie na sledovanie doprava t a polohovanie w v rámci MRI miestnosti, približne máte fi sila poľa v systéme e umiestnenie zariadenia w a odhadované pomocou MRI ty poľná distribúcia výrobcu r ibučný pozemok (mapa okrajového poľa/izogauss). Intenzita poľa spojená s udalosťami magnetickej odozvy bola zaznamenaná na základe polohy zariadenia vzhľadom na kontúry izogaussu.

2.4 | Štatistická analýza

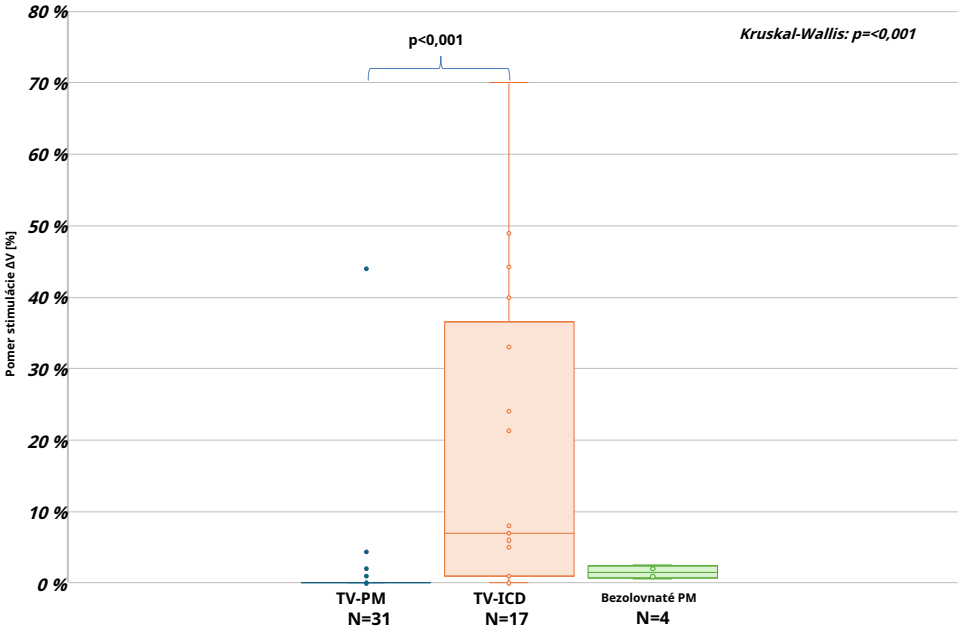
Spojité premenné boli zhrnuté ako mediány s interkvartilnými rozsahmi a kategorické premenné ako počty a percentá. Kategorické premenné boli porovnávané pomocou χ^2 test alebo Fisherov exaktný test, podľa potreby. Na porovnania medzi viac ako dvoma skupinami sa použil Kruskal-Wallisov test, po ktorom nasledoval Dunnov post hoc test s Holmovou korekciou pre viacnásobné porovnania, ak to bolo indikované (obrázok4). Obojstranný p Hodnota < 0,05 sa považovala za štatisticky významnú. Všetky štatistické analýzy boli vykonané pomocou JMP Pro (SAS Institute, Cary, Severná Karolína, USA).

3 | Výsledky

3.1 | Účinky 3T MRI skenovania pre kardiostimulátory

Keď bol režim MRI vypnutý, aj keď bola konverzia na magnetický režim a epizódy magnetu boli zaznamenané v niektorých ľady, v 3T- neboli pozorované žiadne zlyhania telemetrie ani resetovanie podvod dodatočné kardiostimulátory po zobrazovaní. Okrem toho, PÁN keď bol režim I vypnutý a zariadenie bolo nastavené na DDD mode, častá aktivácia AMS a inhibícia stimulácie V boli podávané, pozorovať ako sa očakávalo (Tabuľka4). Väčšina 1,5-T MRI vyšetrení podvod Doplnkové kardiostimulátory tiež nepreukázali žiadne nežiaduce účinky. predvečer Howr, tri z 1,5-T MRI-podmienečných kardiostimulátorov s nízkou netopier Stav tery vykazoval zlyhanie telemetrickej komunikácie po I PÁN skenovaní, napriek tomu, že bol zapnutý režim MRI (Tabuľka5).

15408167, 2026, 8, Stiahnuté z https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jce.70397 spoločnosťou Cochrane Slovakia, Wiley Online Library dňa [01.09.2026]. Pravidlá používania nájdete v zmluvných podmienkach (https://onlinelibrary.wiley.com/terms-and-conditions) na stránke Wiley Online Library; články OA sa riadia príslušnou licenciou Creative Commons.



OBRÁZOK 4 | Údaje sú prezentované ako medián (stredová čiara), interkvartilný rozsah (rámček) a 1,5 × IQR whiskers. Jednotlivé dátové body sú prekryté jitterom. Celkové rozdiely medzi skupinami boli hodnotené pomocou Kruskal-Wallisovho testu, po ktorom nasledoval Dunnov post hoc test s Holmovou úpravou pre viacnásobné porovnania. Potlačenie komorovej stimulácie bolo minimálne u transvenóznych kardiostimulátorov (TV-PM) a bezelektródových kardiostimulátorov, zatiaľ čo u transvenóznych ICD (TV-ICD) bolo väčšie. V súlade s tým sa stupeň potlačenia medzi týmito tromi skupinami významne líšil, s významným rozdielom medzi TV-PM a TV-ICD.

Z nich dve zariadenia už nebolo možné preprogramovať a v klinickom prostredí by si vyžadovali urgentnú výmenu zariadenia. V skupine s kardiostimulátorom bez nutnosti podmienečného vyšetrenia magnetickou rezonanciou (MRI) päť zariadení vykazovalo reset, pri ktorom sa nastavenia vrátili do predvoleného režimu, a jedno zariadenie vykazovalo zlyhanie telemetrie po MRI skenovaní (Tabuľka6). Z týchto šiestich zariadení mali tri tiež stav batérie blížiaci sa k indikátoru voliteľnej výmeny (ERI). Hoci všetky zariadenia, u ktorých došlo k resetu, bolo možné vhodne preprogramovať, zlyhanie telemetrie v jednom zariadení bolo nezvratné. Pri porovnaní všetkých kardiostimulátorov podľa stavu batérie boli kardiostimulátory s nízkym stavom batérie≤30 % (*n*=11) zaznamenali častejšie resetovanie alebo zlyhanie telemetrie ako tí s vyšším stavom batérie (*n*=22) (> 30 % oproti ≤30 %: 3/22 [14 %] oproti 6/11 [55 %],*p*=0,013) (Obrázok2). V skupine s kardiostimulátorom bez nutnosti podmieneného vyšetrenia magnetickou rezonanciou bolo zaujímavé, že aj v režime DDD takmer všetky zariadenia prešli do asynchrónneho režimu v dôsledku aktivácie magnetického režimu a žiadne zo zariadení prejavoval AMS. Keď bol režim MRI vypnutý v zariadeniach podmienečne viazaných na MRI a v kardiostimulátoroch nepodmienečne viazaných na MRI, 16 zariadení naprogramovaných do asynchrónneho režimu (DOO alebo VOO) prepnutý do magnetického režimu, zatiaľ čo 18 zariadení (pre-naprogramovaný do režimu požiadavky (DDD/VVI) sa podobne prepínalo do magnetického režimu. Medzi týmito žiadny významný rozdiel s dvoma režimami (asynchrónny) bol oproti režimu dopytu: 16/31 [52,0 %] oproti 31. júlu [58,0 %],*p*=0,610; Obrázok3). Deväť 3T MRI v podmienené kardiostimulátory nastavené na režime DDD následne prešli na AMS. Tieto režimy nácie sa líšia podľa výrobcu-výrobca, ako je opísané nižšie.

Štyri bezelektródové kardiostimulátory Bezolovnatý PM) zostali v (programovaný režim bez wsvrbenie magnetickom režime počas vyšetrenia magnetickou rezonanciou a no porucha alebo upozornenia boli pozorované. Okrem toho mierne s tylmenie komorová stimulácia bola potvrdená vo všetkých bezelektródových PM počas režimu VVI so stimulačným pomerom V 98,4 % ± 0,82 %.

3.2 | Rozdiely v reakciách magnetického režimu kardiostimulátora medzi výrobcami

Vplyv magnetických polí na správanie CIED počas 3T MRI sa medzi výrobcami líšil, ako je zhrnuté nižšie:

*Medtronic*Prechod do magnetického režimu bol pozorovaný u dvoch zo šiestich zariadení s vypnutým režimom MRI; tento prechod však nebol reprodukovateľný. Zariadenia pracujúce v režime DDD sa počas skenovania prepli do režimu AMS a po zobrazení sa vrátili do pôvodne naprogramovaného režimu.

*Abbott (St. Jude Medical)*Dve zo 14 zariadení s vypnutým režimom MRI vykazovali prechod do režimu magnetu o okolo 2 mT. Epizódy magnetickej odozvy boli pozorované vo všetkých zariadeniach. V kardiostimulátoroch Abbott, ktoré majú funkciu magnetickej epizódy, boli prípady, v ktorých bola magnetická epizóda zaznamenaná na programátor, ale na elektrokardiograme sa nepotvrdila žiadna stimulácia magnetickou frekvenciou, boli započítané iba ako epizódy magnetickej frekvencie. Zariadenia naprogramované v režime DDD, ktoré sa neprepli do režimu magnetu, namiesto toho prešli do režimu AMS počas vyšetrenie magnetickou rezonanciou a následne sa vrátili do pôvodne naprogramovaného režimu.

*Biotronik*Zariadenia sa prepli do magnetického režimu pri približne 5 mT, ale po približne 10 úderoch sa vrátili do naprogramovaného režimu. Počas naprogramovaného režimu sa zariadenia počas skenovania prepínali do režimu AMS.

15408167, 2026, 8, Stiahnuté z https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jce.70397 spoločnostou Cochrane Slovakia, Wiley Online Library dňa [01.09.2026]. Pravidlá používania nájdete v zmluvných podmienkach (https://onlinelibrary.wiley.com/terms-and-conditions) na stránke Wiley Online Library; články OA sa riadia príslušnou licenciou Creative Commons.

TABUĽKA 4 | Nežiaduce udalosti v rôznych nastaveniach zariadenia po 3T MRI skenovaní 3T podmienečných CIED.

3T TV kardiostimulátor *N*=19	Režim DOO/VOOMRI na *N*=19	Režim DOO/VOOMRI vypnuté *N*=19	Režim DDD/VVIMRI vypnuté *N*=19
Zlyhanie telemetrie (%)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Resetovať (%)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Magnetická epizóda (%)	0 (0)	5 (26,3)	6 (31,5)
Tempo magnetickej frekvencie (%)	0 (0)	10 (52,6)	11 (57,9)
Prepínač predsieňového režimu	Neuvedené	0 (0)	9 (47,4)
(%) Reverzia šumu (%)	Neuvedené	0 (0)	1 (5,3)
Inhibícia V stimulácie (%)	Neuvedené	0 (0)	4 (21,2)
3T TV-ICD *N*=8	**Režim DOO/VOOMRI na *N*=8**	**Režim DOO/VOOMRI vypnuté *N*=8**	**Režim DDD/VVIMRI vypnuté *N*=8**
Zlyhanie telemetrie (%)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Resetovať (%)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Magnetická epizóda (%)	0 (0)	1 (12,5)	1 (12,5)
Prepínanie predsieňového režimu (%)	Neuvedené	0 (0)	6 (75,0)
V vysoká frekvencia (%)	Neuvedené	2 (25,0)	2 (25,0)
Reverzia šumu (%)	Neuvedené	0 (0)	0 (0)
Inhibícia V stimulácie (%)	Neuvedené	0 (0)	6 (75,0)

TABUĽKA 5 | Nežiaduce udalosti v rôznych nastaveniach zariadenia po 3T MRI skenovaní 1,5T podmienených CIED.

1,5T TV kardiostimulátor *N*=6	DOO/VOOMRI modeón *N*=6	Režim DOO/VOOMRI vypnuté *N*=4	Režim DDD/VVIMRI vypnuté *N*=4
Zlyhanie telemetrie (%)	3 (50,0)	0 (0)	0 (0)
Resetovať (%)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Magnetická epizóda (%)	0 (0)	3 (75,0)	3 (75,0)
Tempo magnetickej frekvencie (%)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Prepínač predsieňového režimu	Neuvedené	0 (0)	0 (0)
(%) Reverzia šumu (%)	Neuvedené	0 (0)	1 (25,0)
Inhibícia V stimulácie (%)	Neuvedené	0 (0)	2 (50,0)
1,5T TV-ICD *N*=4	**Režim DOO/VOOMRI na *N*=4**	**Režim DOO/VOOMRI vypnuté *N*=4**	**Režim DDD/VVIMRI vypnuté *N*=4**
Zlyhanie telemetrie (%)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Resetovať (%)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Magnetická epizóda (%)	0 (0)	2 (50,0)	1 (25,0)
Prepínanie predsieňového režimu (%)	Neuvedené	0 (0)	3 (75,0)
V vysoká frekvencia (%)	Neuvedené	0 (0)	1 (25,0)
Reverzia šumu (%)	Neuvedené	1 (25,0)	1 (25,0)
Inhibícia V stimulácie (%)	Neuvedené	0 (0)	3 (75,0)

*Boston Scientific*Zariadenia sa prepínali do magnetického režimu pri intenzite magnetického poľa približne 1 – 5 mT v rámci MRI súpravy. Neboli pozorované žiadne udalosti AMS.

*CRM pre mikroporty (Sorin)*Zariadenia sa prepli do magnetického režimu pri intenzite magnetického poľa približne od 10 do 40 mT a zostali v magnetickom režime počas celého skenovania.

3.3 | Účinky 3T MRI skenovania pre ICD

V tejto štúdii žiadny z testovaných ICD (17 transvenóznych a 4 subkutánne systémy) – či už podmienečne použiteľný na MRI alebo nepodmienečný – nevykazoval významné nežiaduce udalosti, ako je reset zariadenia alebo zlyhanie telemetrie po vyšetrení MRI. Telemetria zostala dostupná aj na ERI, čo umožnilo preprogramovanie po skenovaní v prípade potreby.

15408167, 2026, 8, Stiahnuté z https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jce.70397 spoločnosťou Cochrane Slovakia, Wiley Online Library dňa [01.09.2026]. Pravidlá používania nájdete v zmluvných podmienkach (https://onlinelibrary.wiley.com/terms-and-conditions) na stránke Wiley Online Library; články OA sa riadia príslušnou licenciou Creative Commons.

Keďže aplikácia magnetu v transvenóznych ICD (TV-ICD) typicky pozastavuje terapiu tachyarytmie a neposkytuje asynchrónnu stimuláciu ako v kardiostimulátoroch, neočakávali sme podstatné zmeny stimulácie pri expozícii magnetickému poľu. Napriek tomu boli epizódy detekcie magnetu potvrdené v piatich zariadeniach. Celkovo expozícia prostrediu MRI viedla k malej alebo žiadnej zmene stavu stimulácie vo väčšine zariadení. Avšak v dvanástich zariadeniach (deväť 3T a 1,5T MRI – podmienečne a tri nepodmienené MRI), prepnutie na AMS bolo pozorované počas programovania v režime podľa potreby a bola zaznamenaná epizóda ventrikulárnej tachykardie (dve 3T podmienené MRI a tri nepodmienené MRI). Jasná inhibícia stimulácie bola pozorovaná u jedenástich zariadení TV-ICD (64,7 %). Podľa návodu na použitie od výrobcu všetky testované S-ICD vykazovali zhoršenie reproduktora, pričom počas testu reproduktora bol potvrdený pokles hladiny zvuku.

TABUĽKA 6 |Nežiaduce udalosti v rôznych nastaveniach zariadenia po 3T MRI skenovaní CIED bez podmienečného vyšetrenia MRI.

TV bez MRI Medziľahlý kardiostimulátor (ICD)*N*=5	**DOO/ VOO*N*=5**	**DDD/ VVI*N*=5**
Zlyhanie telemetrie (%)	0 (0)	0 (0)
Resetovať (%)	0 (0)	0 (0)
Magnetická epizóda (%)	2 (40,0)	2 (40,0)
Prepínanie predsieňového režimu (%)	0 (0)	3 (60,0)
V vysoká frekvencia (%)	1 (20,0)	2 (40,0)
Reverzia šumu (%)	1 (20,0)	1 (20,0)
Inhibícia V tempo (%)	0 (0)	2 (40,0)

TV bez MRI kardiostimulátor*N*=8	**DOO/ VOO*N*=8**	**DDD/ VVI*N*=8**
Zlyhanie telemetrie (%)	0 (0)	1 (12,5)
Resetovať (%)	4 (50,0)	5 (62,5)
Magnetická epizóda (%)	0 (0)	1 (12,5)
Tempo magnetickej frekvencie (%)	6 (75,0)	7 (87,5)
Prepínač predsieňového režimu	0 (0)	0 (0)
(%) Reverzia šumu (%)	0 (0)	0 (0)
Inhibícia V stimulácie (%)	0 (0)	2 (25,0)

3.4 | Potlačenie komorovej stimulácie v režime na požiadanie počas MRI

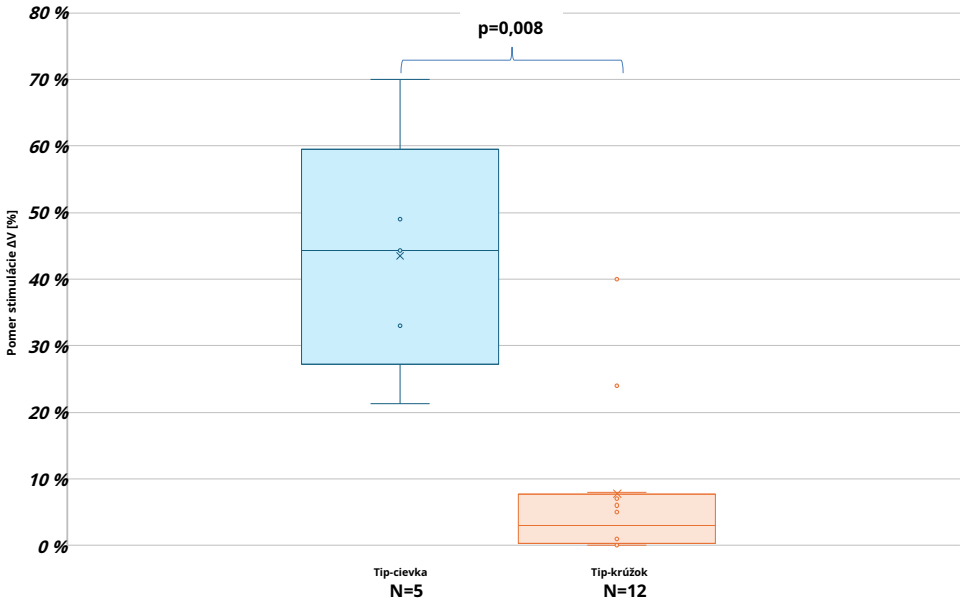
Porovnali sme potlačenie stimulačnej frekvencie medzi CIED, ktoré bolo možné naprogramovať do režimu na požiadanie, výpočtom zmeny komorového stimulačného pomeru (ΔVp) z asynchrónnej stimulácie s vypnutým režimom MRI. Porovnanie inhibície stimulácie medzi transvenóznymi kardiostimulátormi (TV-PM), TV-ICD a bezelektródovými kardiostimulátormi (bezelektródový PM) preukázalo významné rozdiely medzi týmito tromi skupinami a konkrétne medzi TV-PM a TV-ICD (TV-PM vs. TV-ICD vs. bezelektródový PM: 0 % [0–0] vs. 7 % [1,0–33,0] vs. 1,45 % [0,83–2,13];*p*<0,001; Obrázok4).

Okrem toho, pri skúmaní stupňa potlačenia stimulácie v TV-ICD podľa polarity snímania (špičková cievka vs. tipovací krúžok), tipová cievka vykazovala väčšie potlačenie ako tipovací krúžok s významným rozdielom medzi skupinami (44,3 % [27,3–59,5] oproti 3,0 % [0,5–7,5] v uvedenom poradí;*p*=0,008; Obrázok5).

4 | Diskusia

4.1 | Hlavné zistenia

V tejto štúdii in vitro boli získané nasledujúce dôležité zistenia. Po prvé, niektoré kardiostimulátory nekompatibilné s 3T MRI s úrovňou batérie blížiacou sa k ERI vykazovali zlyhanie telemetrie.



OBRÁZOK 5 |Krabicový graf porovnávajúci supresiu stimulácie podľa polarity snímania v transvenóznych ICD. Supresia stimulácie bola výrazne vyššia pri snímaní hrotom cievky ako pri snímaní hrotovým krúžkom (44,3 % [27,3 – 59,5] oproti 3,0 % [0,5 – 7,5] v uvedenom poradí);*p*=0,008). ΔVp bolo definované ako rozdiel v percentuálnom zastúpení stimulácie medzi asynchrónnym a dopytovým režimom.

15408167, 2026, 8, Stiahnuté z https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jce.70397 spoločnosťou Cochrane Slovakia, Wiley Online Library dňa [01.09.2026]. Pravidlá používania nájdete v zmluvných podmienkach (https://onlinelibrary.wiley.com/terms-and-conditions) na stránke Wiley Online Library; články OA sa riadia príslušnou licenciou Creative Commons.

alebo úplný reset parametrov po 3T MRI skenovaní. Konkrétne, dve 1,5T MRI podmienečne kompatibilné zariadenia so zapnutým MRI režimom a jedno zariadenie bez MRI podmienečne kompatibilné vyvinuli po MRI skenovaní nezvratné zlyhanie telemetrie. Tieto zlyhania telemetrie a resety sa vyskytovali s výrazne vyššou frekvenciou v zariadeniach s nízkou úrovňou nabitia batérie. Po druhé, keď bol MRI režim vypnutý, niektoré CIED sa prepli do magnetického režimu alebo AMS v závislosti od výrobcu a konfigurácie stimulácie a frekvencia aktivácie magnetického režimu sa vyskytovala bez ohľadu na to, či bolo zariadenie v asynchrónnom režime alebo v režime na požiadanie. Po tretie, v 3T podmienečne kompatibilných kardiostimulátoroch a ICD sa nevyskytli žiadne resety ani zlyhania telemetrie. Na druhej strane, frekvencia potlačenia komorovej stimulácie v režime na požiadanie bola v ICD vyššia. Nakoniec, 3T MRI neviedla k žiadnym závažným elektrickým poruchám, ktoré by si vyžadovali výmenu zariadenia v klinickom prostredí vo väčšine 3T nekompatibilných CIED, najmä ak boli naprogramované na asynchrónne stimulačné režimy. Tieto pozorovania naznačujú, že s dôkladným vyhodnotením pred skenovaním a vhodným programovaním zariadenia môže byť 3T MRI uskutočniteľná vo vybraných systémoch nekompatibilných s 3T za kontrolovaných podmienok.

4.2 | Resetovanie a zlyhanie telemetrie po 3T MRI skenovaní

Historicky sa resetovanie zariadení počas vyšetrení magnetickou rezonanciou pozorovalo predovšetkým v systémoch skoršej generácie, najmä v zariadeniach Medtronic implantovaných pred rokom 2005 [2, 7, 12]. Hoci pokroky v technológii zariadení postupne zlepšili elektromagnetickú toleranciu CIED, takéto poruchy neboli úplne odstránené. Relatívne nedávna multicentrická štúdia [3] hlásili prípad nepresných chybových kódov stavu batérie, ktoré si vyžadovali výmenu generátora, a to aj v relatívne modernom zariadení, čo naznačuje, že elektrická nestabilita sa môže vyskytnúť aj za určitých podmienok MRI. Je pozoruhodné, že počas 3T MRI skenovania boli zdokumentované epizódy úplného resetovania zariadenia vedúce k zástave srdca, a to aj pri „moderných“ systémoch CIED vyrobených po roku 2000 [9].

V predloženej štúdii vykazovali 1,5T MRI podmienečne CIED blížiace sa k štádiu ERI zlyhanie telemetrie a neúmyselné resetovanie naprogramovaných parametrov po 3T MRI skenovaní, a to aj v prípade, že bol aktivovaný režim MRI. Keď je režim MRI ZAPNUTÝ, tieto zariadenia pracujú s vyššími stimulačnými výstupmi ako tie, ktoré sa používajú v bežných klinických podmienkach, čo vedie k vyššej spotrebe energie. Preto v generátoroch, ktoré sú už takmer vybité, mohla kombinácia zníženej zvyškovej kapacity a vystavenia silným magnetickým poliam prispieť k strate telemetrie a/alebo resetovaniu parametrov.

Väčšina výrobcov obmedzuje alebo zakazuje aktiváciu režimu MRI, keď batéria zariadenia dosiahne stav ERI. Spoločnosť Biotronik uvádza, že režim MRI sa neodporúča, keď kapacita batérie klesne pod 30 % [13]. Hoci existuje niekoľko smerníc [6, 14] uvádzajú, že stav vybitej batérie sa považuje za vysoko rizikový, existuje len málo štúdií, ktoré sa na túto tému špecificky zameriavajú. Okamura a kol. [15] ukázali, že pacienti s kardiostimulátormi a ICD s takmer vybitou batériou môžu bezpečne podstúpiť MRI, ak nie sú odkázaní na kardiostimulátor. Ukázali však aj to, že dve skeny s kardiostimulátormi blízko ERI malo za následok u pacientov reset pri zapnutí. Ich štúdia preukázala riziko spojené so staršími zariadeniami, ktoré nie sú podmienečne potrebné na MRI; naša štúdia je však dôležitá v tom, že ukazuje, že podobné výsledky sa môžu vyskytnúť aj v režime MRI, keď je úroveň nabitia batérie nízka.

4.3 | Prepnutie do magnetického režimu a potenciálny vplyv na pacienta

Súčasné smernice ESC odporúčajú, aby sa u zariadení nekompatibilných s MRI u pacientov závislých od stimulácie zvolili asynchrónne stimulačné režimy, ako napríklad DOO alebo VOO, zatiaľ čo pacienti s intrinzickou srdcovou frekvenciou presahujúcou 50 úderov za minútu môžu byť počas MRI skenovania naprogramovaní na režimy DDI, VVI alebo AAI [6]. Na druhej strane, tento experiment naznačuje, že možnosť aktivácie magnetického režimu by sa mala vždy zvážiť, a to aj vtedy, keď je zariadenie naprogramované na asynchrónny režim. Ak vnútorná frekvencia konkuruje stimulačnej frekvencii alebo magnetickej frekvencii, takáto interferencia môže viesť k palpitáciám, hemodynamickej nestabilite alebo dokonca k vyvolaniu závažných arytmií. Preto je nevyhnutné vopred vyhodnotiť vnútorný rytmus pacienta a naprogramované stimulačné frekvencie, aby sa minimalizovalo riziko nežiaducich udalostí počas MRI vyšetrení.

Táto štúdia navyše preukázala, že náchylnosť na prepnutie do magnetického režimu aj jeho aktivácia sa medzi výrobcami podstatne líšia. Tieto rozdiely v správaní sa v režime MRI špecifické pre jednotlivých výrobcov pravdepodobne súvisia, aspoň čiastočne, s rozdielmi v prahovej hodnote intenzity magnetického poľa. Včasné povedomie o týchto rozdieloch je klinicky veľmi dôležité, pretože umožňuje prijať vhodné opatrenia – ako je úprava naprogramovanej stimulačnej frekvencie.

4.4 | Prepnutie na AMS a inhibíciu stimulácie

Niektoré CIED, ktoré neboli spustené do magnetického režimu magnetickým poľom počas stimulácie DDD, namiesto toho prešli do AMS alebo inhibície stimulácie počas 3T MRI skenovania. Tento jav bol pravdepodobne spôsobený nadmerným snímaním šumu indukovaného magnetickým poľom na predsieňových a komorových elektródach, ktorý zariadenie nesprávne interpretovalo ako fibriláciu predsiení alebo vlastné tepy. Takéto nevhodné nadmerné snímanie môže potlačiť stimulačný výstup, čo môže viesť k asystólii. Tieto zistenia naznačujú, že nadmerné snímanie počas 3T MRI môže predstavovať riziko závažných nežiaducich udalostí v závislosti od funkcie zariadenia a naprogramovaného režimu. V súčasnosti sa pri zariadeniach, ktoré nie sú podmienečne podmienené MRI, režim DDD počas MRI vyšetrení vo všeobecnosti vyhýba, ako je uvedené vyššie. Je však dôležité si uvedomiť, že podobné poruchy sa môžu vyskytnúť, ak by sa zariadenie neúmyselne prinieslo do prostredia MRI bez prepnutia do režimu MRI alebo ak by sa neúmyselne vynechalo preprogramovanie zariadenia.

Náchylnosť na AMS a inhibíciu stimulácie závisí od magnetického režimu a keďže správanie magnetického režimu sa u jednotlivých výrobcov líši, ako je opísané vyššie, je dôležité pochopiť, že charakteristiky špecifické pre výrobcu sú následne spojené s výskytom AMS a inhibíciou stimulácie.

15408167, 2026, 8, Stiahnuté z https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jce.70397 spoločnosťou Cochrane Slovakia, Wiley Online Library dňa [01.09.2026]. Pravidlá používania nájdete v zmluvných podmienkach (https://onlinelibrary.wiley.com/terms-and-conditions) na stránke Wiley Online Library; články OA sa riadia príslušnou licenciou Creative Commons.

Hoci boli hodnotené iba štyri bezelektródové kardiostimulátory, čo vylučuje definitívne závery, Micra nemá magnetický režim; inhibícia stimulácie v režime na požiadanie bola mierna a malá veľkosť zariadenia aj elektródy môže obmedziť účinky magnetického poľa MRI.

4.5 | Charakteristiky odpovedí ICD v prostredí 3T MRI

Hoci bola publikovaná správa [1] poruchy generátora vyžadujúcej okamžitú výmenu v ICD, výsledky tejto štúdie naznačujú, že keďže ICD inherentne nemajú magnetický režim podobný kardiostimulátoru, pravdepodobnosť elektrickej poruchy je nízka, keď je zariadenie naprogramované na asynchrónny režim. Na druhej strane, ako je znázornené na obrázku4, potlačenie komorovej stimulácie v režime na požiadanie bolo väčšie pri ICD. Predpokladá sa, že tento jav sa vyskytuje preto, lebo, ako je uvedené vyššie, ICD nemajú magnetický režim; stimulácia sa preto v režime na požiadanie nestane asynchrónnou, čo vedie k nadmernému snímaniu šumu súvisiaceho s MRI a následnej inhibícii stimulácie.

Vplyv stavu batérie v ICD nebolo možné definitívne určiť kvôli malému počtu hodnotených zariadení; avšak v súlade s predchádzajúcou klinickou štúdiou [15], žiadny zo 17 TV-ICD skúmaných v tejto štúdii nezaznamenal resetovanie ani zlyhanie telemetrie.

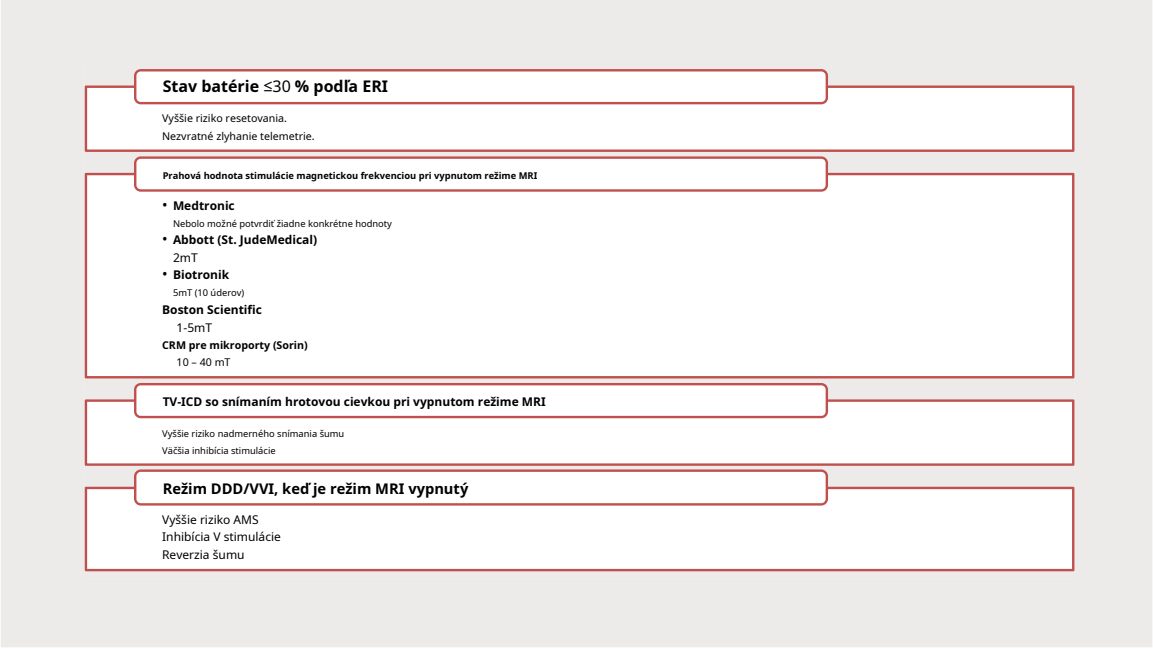
Okrem toho, medzi konfiguráciami snímania, ktoré používali vektory obsahujúce defibrilačnú cievku, bola inhibícia stimulácie väčšia pri snímaní s cievkou. Väčšia efektívna plocha povrchu snímacej elektródy v konfiguráciách s cievkou môže zvýšiť náchylnosť na rušenie súvisiace s magnetickým poľom, ako naznačujú naše zistenia.

4.6 | Klinické dôsledky

Naše zistenia naznačujú, že pri vykonávaní 3T MRI u pacientov so zariadeniami, ktoré nie sú podmienečne kompatibilné s 3T MRI, je potrebná mimoriadna opatrnosť, s ohľadom na nasledujúce faktory: (1) zariadenia s nízkym stavom batérie si vyžadujú starostlivú pozornosť kvôli riziku resetovania alebo nezvratného zlyhania telemetrie; (2) pri vypnutom režime MRI sa aj zariadenia naprogramované na asynchrónny režim môžu prepnúť do magnetického režimu, čo môže viesť ku konkurencii s vnútorným rytmom; (3) TV-ICD so snímaním od hrotu k cievke a vypnutým režimom MRI môžu niesť vysoké riziko inhibície stimulácie; a (4) v kardiostimulátoroch v režime na požiadanie s vypnutým režimom MRI sa môže vyskytnúť inhibícia stimulácie alebo zmeny programovania, ako je napríklad AMS (obrázok6).

Aktuálne medzinárodné smernice a vyhlásenia [5, 6, 16] čoraz viac rozširujú indikácie pre MRI u pacientov s CIED, čím často znemožňujú jasnú definíciu praktických opatrení. V tejto súvislosti má táto štúdia zásadný význam pri identifikácii špecifických problémov, ktoré si vyžadujú pozornosť. Naše zistenia zároveň naznačujú dôležitý klinický dôsledok: za predpokladu, že sa týmto aspektom venuje dostatočná pozornosť a že sa nepoužívajú nastavenia zariadenia, ako napríklad režim podľa požiadavky – ktorému sa počas MRI vo všeobecnosti vyhýba, 3T MRI sa javí ako uskutočniteľné, pričom len málo prípadov vedie k závažnej poruche vyžadujúcej výmenu zariadenia.

V súčasnosti zahŕňa MRI u pacientov s implantovanými zariadeniami čoraz komplexnejšie kombinácie typov zariadení a konfigurácií programovania a v klinickej praxi si niektoré prípady vyžadujú individuálne úpravy a starostlivé plánovanie postupu [17Očakáva sa, že tieto zistenia budú slúžiť ako užitočný zdroj na podporu klinického rozhodovania o MRI v tomto čoraz komplexnejšom prostredí.



OBRÁZOK 6 |Klinicky dôležité body, ktoré si v tejto štúdii vyžadujú osobitnú opatrnosť, sú zhrnuté v ERI, indikátor voliteľnej náhrady; mT, miliTesla; TV-ICD, transvenózny implantovateľný srdcový defibrilátor.

Obrázok. AMS, prepínač predsieňového režimu;

15408167, 2026, 8, Stiahnuté z https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jce.70397 spoločnosťou Cochrane Slovakia, Wiley Online Library dňa [01.09.2026]. Pravidlá používania nájdete v zmluvných podmienkach (https://onlinelibrary.wiley.com/terms-and-conditions) na stránke Wiley Online Library; články OA sa riadia príslušnou licenciou Creative Commons.

4.7 | Obmedzenia štúdie

Táto štúdia bola malým experimentom in vitro v jednom centre. Preto sme neboli schopní vyhodnotiť potenciálne účinky, ktoré by sa mohli pozorovať v klinických štúdiách, ako sú napríklad účinky zahrievania a zmeny stimulačných prahov. Najmä 3T MRI má potenciál pre vyššiu hodnotu SAR v porovnaní s 1,5T MRI, čo je dôležitý faktor; v tejto štúdii sa to však nehodnotilo.

Okrem toho bol rozsah výrobcov CIED, modelov zariadení a podmienok skenovania MRI obmedzený a hodnotiace obdobie bolo krátke. Veľkosť vzorky pre niektorých výrobcov (napr. MicroPort/Sorin alebo Leadless PM) bola príliš malá na to, aby sa definitívne dospelo k záveru, že ich správanie v magnetickom režime je reprezentatívne pre všetky ich modely zariadení. Najmä hoci sme v tejto štúdii preukázali riziko spojené s nízkym stavom batérie, obmedzený počet zariadení nám zabránil v stanovení hraničnej hodnoty. V dôsledku toho klinické výsledky pre pacientov a dlhodobé účinky na parametre CIED zostávajú neurčené.

5 | Záver

V priamych in vitro experimentoch s expozíciou 3T MRI, ktoré zahŕňali CIED bez 3T MRI, niektoré kardiostimulátory blížiace sa k ERI preukázali zvýšené riziko zlyhania telemetrie alebo resetovania a tie s vypnutým režimom MRI preukázali nezanedbateľné riziko prepnutia režimu. Väčšina zariadení však nevykazovala závažné elektrické poruchy, ktoré by si vyžadovali výmenu v klinickom prostredí, a v ICD neboli pozorované žiadne prípady resetovania zariadenia alebo zlyhania telemetrie.

Poďakovania

Ďakujeme za pomoc pri korektúre nášho rukopisu od pána Johna Martina.

Financovanie

Autori nemajú čo hlásiť.

Etické vyhlásenie

Etické schválenie nebolo potrebné, pretože táto štúdia zahŕňala iba zariadenia in vitro bez údajov o ľuďoch.

Súhlas

Požiadavka informovaného súhlasu bola upustená, pretože išlo o štúdiu s použitím zariadenia in vitro bez ľudských účastníkov alebo identifikovateľných údajov.

Konflikty záujmov

YI získal poplatky za prednášky od spoločností Medtronic, Japonsko a Biotronik, Japonsko. Kardiologické oddelenie získalo grantovú podporu od spoločností Boston Scientific, Japonsko a Abbott Medical, Japonsko. Ostatní autori vyhlasujú, že nemajú žiadny konflikt záujmov.

Vyhlásenie o dostupnosti údajov

Údaje, ktoré sú základom tohto článku, budú zdieľané na základe odôvodnenej žiadosti s príslušnými autormi.

Referencie

1. RJ Russo, HS Costa, PD Silva a kol., „Posúdenie rizík spojených s magnetickou rezonanciou u pacientov s kardiostimulátorom alebo defibrilátorom“, *Časopis medicíny Nového Anglicka*376 (2017): 755–764.

2. S. Nazarian, R. Hansford, AA Rahsepar a kol., „Bezpečnosť zobrazovania magnetickou rezonanciou u pacientov so srdcovými zariadeniami“,*Časopis medicíny Nového Anglicka*377, č. 26 (december 2017): 2555–2564.

3. AN Bhuva, R. Moralee, T. Brunker a kol., „Dôkazy podporujúce podmienené označovanie magnetickou rezonanciou všetkých elektród kardiostimulátora a defibrilátora u pacientov s implantovateľnými elektronickými zariadeniami srdca“,*Európsky časopis o srdci*43, č. 26 (2022): 2469–2478.

4. H. Lanz, K. Strauß, J. Höpler a kol., „Bezpečnosť zobrazovania magnetickou rezonanciou u pacientov s implantovateľnými elektronickými zariadeniami do srdca“,*Časopis kardiovaskulárneho vývoja a chorôb*11, č. 10 (2024): 313.

5. JH Indik, JR Gimbel, H. Abe a kol., „Vyhlásenie expertov HRS z roku 2017 o zobrazovaní magnetickou rezonanciou a ožiarení u pacientov s kardiovaskulárnymi implantovateľnými elektronickými zariadeniami“, *Srdcový rytmus*14, č. 7 (júl 2017): s. 97 – s. 153.

6. M. Glikson, JC Nielsen, MB Kronborg a kol., „Pokyny ESC pre srdcovú stimuláciu a srdcovú resynchronizačnú terapiu“,*Európsky časopis o srdci*42, č. 35 (september 2021): 3427–3520.

7. D. Anand, MD Shah, A. Mike a kol., „Bezpečnosť zobrazovania magnetickou rezonanciou u pacientov s nepodmieneným kardiostimulátorom a defibrilátorom: Metaanalýza a systematický prehľad“,*Srdcový rytmus*15, č. 7 (2018): 1001–1008.

8. DA Munawar, JEZ Chan, M. Emami a kol., „Zobrazovanie magnetickou rezonanciou u nepodmienených kardiostimulátorov a implantovateľných kardioverterov-defibrilátorov: Systematický prehľad a metaanalýza“, *EP Europace*22, č. 2 (2020): 288–298.

9. JR Gimbel, „Neočakávaná asystólia počas 3T magnetickej rezonancie u pacienta závislého od kardiostimulátora s „moderným“ kardiostimulátorom,“*Europace*11, č. 9 (september 2009): 1241–1242.

10. JR Gimbel, „Zobrazovanie magnetickou rezonanciou implantovateľných zariadení srdcového rytmu pri 3,0 Tesla,“*Stimulácia a klinická elektrofyziológia* 31, č. 7 (2008): 795–801.

11. N. Fluschnik, E. Tahir, J. Erley a kol., „3 Tesla magnetická rezonancia u pacientov s implantovateľnými elektronickými zariadeniami do srdca: skúsenosti z jedného centra“,*EP Europace*25, č. 2 (február 2023): 571–577.

12. JV Higgins, SH Sheldon, RE Watson, ml. a kol., „„Resetovanie pri zapnutí“ v implantovateľných elektronických zariadeniach srdca počas zobrazovania magnetickou rezonanciou“,*Srdcový rytmus*12, č. 3 (2015): 540–544.

13. AM Ferreira, F. Costa, A. Tralhão, H. Marques, N. Cardim a P. Adragão, „MRI – podmienené kardiostimulátory: súčasné perspektívy“, *Zdravotnícke pomôcky (Auckland, Nový Zéland)*7 (máj 2014): 115 – 124.

14. A. Bhuva, G. Charles-Edwards, J. Ashmore a kol., „Spoločné konsenzuálne odporúčania Britskej spoločnosti pre zobrazovanie magnetickou rezonanciou u pacientov s implantovateľnými elektronickými zariadeniami do srdca“,*Srdce*110 (2024): e3.

15. H. Okamura, D. Padmanabhan, RE Watson, ml. a kol., „Zobrazovanie magnetickou rezonanciou u pacientov s nezávislým kardiostimulátorom s kardiostimulátormi a defibrilátormi s takmer vybitou batériou“,*Stimulácia a klinická elektrofyziológia*40, č. 5 (máj 2017): 476–481.

16. S. Aoki, T. Hirai, T. Hiraki a kol., „Prevádzkové pokyny pre vyšetrenie magnetickou rezonanciou u pacientov s implantovateľnými srdcovými zariadeniami: Spoločné vyhlásenie troch spoločností“ [v japončine],jhrs.or.jp/pdf/guideline/ mri_kensashishin202401.pdf.

17. R. Kanai, Y. Terazaki, H. Mori a kol., „Postupná aktivácia režimu MRI u pacienta s elektródou VDD, ktorá nie je určená pre MRI“,*Časopis o arytmii* 41 (2025): 1–4.

15408167, 2026, 8, Stiahnuté z https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jce.70397 spoločnosťou Cochrane Slovakia, Wiley Online Library dňa [01.09.2026]. Pravidlá používania nájdete v zmluvných podmienkach (https://onlinelibrary.wiley.com/terms-and-conditions) na stránke Wiley Online Library; články OA sa riadia príslušnou licenciou Creative Commons.