

Kaválny filter a komplikácie súvisiace s jeho používaním

(The inferior vena cava filter and complications associated with its use)

Marek Hudák, Martin Koščo, Lucia Dekanová, Veronika Pavlíková,
Eva Szabóová, Mária Rašiová

Klinika angiologie, Lekárska fakulta Univerzity Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach a Východoslovenský ústav srdcových a cievnych chorôb, a. s., Košice, Slovensko

INFORMACE O ČLÁNKU

Historie článku:

Vložen do systému: 2. 10. 2023

Přijat: 23. 2. 2024

Dostupný online: 21. 5. 2024

Klíčové slová:

Hlboká žilová trombóza

Kaválny filter

Neskoré komplikácie

Plúcna embólia

Včasné komplikácie

Keywords:

Deep vein thrombosis

Early complications

Inferior vena cava filter

Late complications

Pulmonary embolism

SÚHRN

Kaválny filter umožňuje zabrániť pľúcnej embólii mechanickým zachytením embolu v dolnej dutej žile. Mal by byť prísne indikovaný a implantovaný len vo vybranej skupine pacientov s hlbokou žilovou trombózou. Avšak zavedenie plejády relatívnych indikácií významne zvýšilo mieru implantácie kaválneho filtra v poslednej dekáde, čo samozrejme viedlo aj k neúmernému nárastu komplikácií. Účelom tohto článku je zosumari-zovať možné komplikácie súvisiace s používaním kaválneho filtra, predstaviť čitateľovi ich klinickú manifestáciu, nakoľko sú často prehliadané, a zároveň ukázať možnosti riešenia a liečby jednotlivých komplikácií.

© 2024, ČKS.

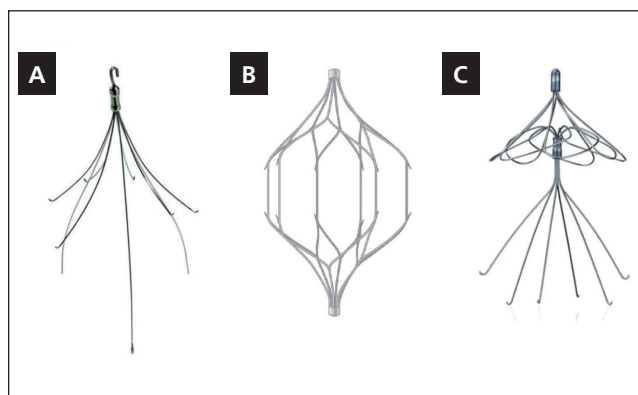
ABSTRACT

The inferior vena cava filter prevents pulmonary embolism by mechanically trapping the embolus in the inferior vena cava. It should be strictly indicated and implanted only in a selected group of patients with deep vein thrombosis. However, the introduction of a plenty relative indications significantly increased the rate of caval filter implantation in the last decade and it led consequently to dramatic increase of complications rate, too. The purpose of this article is to summarize the possible complications related to the use of the caval filter, to present the reader clinical manifestation of these complications, as they are often overlooked, and to show the possibilities of solving and treating individual complications.

Úvod

Kaválny filter je zariadenie, ktoré sa implantuje do dolnej dutej žily u vybranej skupiny pacientov za účelom prevencie embolizácie do pľúcnice mechanickým zachytením embolu v dolnej dutej žile. Napriek deklarovanej efektívnosti v prevencii pľúcnej embólie je používanie kaválnych filtrov v posledných rokoch spojené s určitými pochybnosťami, respektíve obavami týkajúcimi sa najmä ich nadužívaní a s tým spojenou zvýšenou mierou komplikácií.

Kaválne filtre je možné deliť podľa viacerých kritérií, avšak z pohľadu výskytu komplikácií je najvýznamnejšie delenie podľa geometrie a konštrukčného riešenia. Geometria filtra je charakterizovaná tvarom. Rozoznávame niekoľko základných tvarov: kónický, cylindrický, podobný dáždniku a kombinácie týchto základných tvarov (obr. 1). Z hľadiska konštrukcie a tým



Obr. 1 – Príklady filtrov podľa geometrie. (A) Kónický tvar (ALN Filter); (B) kombinácia cylindrického + 2x kónického tvaru (OP-TEASE™ filter); (C) kombinácia dáždnikovitého tvaru a kónického tvaru v spodnej časti filtra (Simon Nitinol filter).

Adresa pre korešpondenciu: MUDr. Marek Hudák, PhD., Klinika angiologie, Lekárska fakulta Univerzity Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach a Východoslovenský ústav srdcových a cievnych chorôb, a. s., Ondavská 8, 040 11 Košice, Slovensko, e-mail: mhudak@vussh.sk, marek.hudak@upjs.sk

DOI: 10.33678/cor.2024.015

možnosti extrakcie ich delíme na filtre extrahovateľné (niektorými autormi nazývané aj dočasné) a trvalé (permanentné). Konštrukcia extrahovateľných filtrov umožňuje relatívne rutinnú endovaskulárnu extrakciu pomocou zariadenia – extraktora na to určeného. Konštrukcia trvalých filtrov neumožňuje extrakciu bežným spôsobom, avšak v nevyhnutných situáciách je extrakcia možná, buď endovaskulárne, alebo chirurgicky, pričom si vyžaduje skúsených pracovníkov a špeciálne inštrumentárium. Extrakcia trvalého filtra sa preto bežne neindikuje, ale len vo výnimočných situáciách, najmä v prípade závažných a symptomatických komplikácií. Konštrukčné riešenie filtrov je úzko prepojené s klinickou indikáciou k implantácii, t. j. extrahovateľný filter v prípade predpokladu ohrozeného a relatívne krátkeho intervalu pôsobenia klinickej indikácie, trvalý filter v prípade neohrozeného a pravdepodobne dlhého intervalu pôsobenia klinickej indikácie. Niektorí výrobcovia produkujú extrahovateľné filtre, ktoré je možné v prípade potreby ponechať v dolnej dutej žile dlhodobo. Extrahovateľný filter sa tak stane trvalým. Niektorí autori nazývajú takýto typ extrahovateľných filtrov ako „voliteľné“. Okrem extrahovateľných a trvalých filtrov je k dispozícii i najnovšia generácia filtrov nazývaná konvertibilné filtre. Tieto filtre možno konvertovať krátkou endovaskulárnou procedúrou z uzavretej, filtrujúcej na otvorenú, nefiltrujúcu konfiguráciu (podobnú vaskulárnemu stentu), ak už pominula indikácia k ich implantácii. Iný typ konvertibilných filtrov umožňuje spontánnu konverziu (bez vonkajšieho zásahu) po približne 60 dňoch od implantácie.

Konvertibilné filtre boli vyvinuté s cieľom obmedziť potrebu invazívnej extrakcie filtra, pretože po konverzii filter ostáva *in situ* v dolnej dutej žile.

Cieľom tohto článku je priniesť komplexný prehľad komplikácií súvisiacich s používaním kavalných filtrov, pričom mnohé z nich sú závažné a môžu bezprostredne ohroziť život pacienta.

Komplikácie kavalných filtrov

Implantácia kavalného filtra sa všeobecne považuje za bezpečnú. Miera úmrtnosti v súvislosti s implantáciou je uvádzaná na úrovni 0,12 %.^{1,2} Napriek tomu je používanie kavalného filtra spojené s početnými komplikáciami.

Podľa fázy „životného cyklu“ filtra a typu filtra so zreteľom na konštrukčné riešenie môžeme komplikácie v súvislosti s použitím kavalného filtra rozdeliť na tri základné skupiny: **včasné (periprocedurálne) komplikácie**, **neskoré komplikácie – súvisiace so zotrvaním filtra v dolnej dutej žile** a **komplikácie súvisiace s extrahovaním filtra**. Tento článok sa zameriava len na včasné a neskoré, nakoľko komplikácie v priebehu extrakcie filtra predstavujú samostatnú, mimoriadne zložitú kapitolu.

1. Včasné (periprocedurálne) komplikácie

Včasné komplikácie sú identické pre extrahovateľné aj trvalé filtre. Súvisia bezprostredne s implantačnou procedúrou, avšak časť z nich môže mať vplyv na výskyt niektorých neskorých komplikácií, respektíve sťažovať extrakciu filtra. Do skupiny včasných komplikácií zaraďujeme: **lokálne**

ne komplikácie v mieste vpichu, neúplné otvorenie filtra, sklon filtra – tilt a iné komplikácie.

a) Lokálne komplikácie v mieste vpichu

Medzi najčastejšie lokálne komplikácie patrí krvácanie z miesta vpichu s mierov výskytu 6 až 15 %.³ Na zavedenie filtra sa využíva hlboký žilový systém, a to vena jugularis interna alebo vena femoralis communis. Preto, hoci je krvácanie pomerne bežné, dá sa pri punkcii správnej cievy ľahko zastaviť aplikovaním priameho tlaku, nakoľko ide o venózne krvácanie. Avšak neúmyselná punkcia tepny môže viesť k významnému krvácaniu a vytvoreniu artériovenózneho fistuly.⁴

Okrem krvávacích komplikácií môžeme do tejto skupiny zaradiť aj trombózu miesta vpichu. V súčasnosti je jej incidencia nízka.⁵ Avšak na začiatku 90. rokov sa pohybovala na úrovni 3–10 %.⁶ Toto zníženie sa pripisuje najmä technickému pokroku vedúcemu k zlepšeniu inštrumentária a tým aj procedúry implantácie kavalného filtra.¹ Medzi raritné lokálne komplikácie patri infekcia.

b) Neúplné otvorenie filtra

Dizajn filtra, použitý materiál na jeho výrobu ako aj chyby lekára implantujúceho filter patria medzi najvýznamnejšie príčiny neúplného otvorenia.

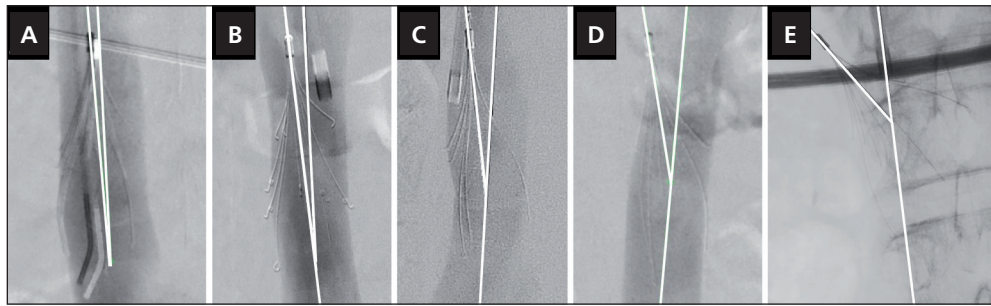
Filtre staršieho dizajnu, najmä Greenfield filter (titánový), boli často náchylné na neúplné otvorenie, a to až v 71 %.^{7,8} Murphy a spol. vo svojej, už dávnejšie publikovanej práci dokumentovali 6% mieru neúplného otvorenia v prípade použitia LGM filtra (Vena Tech, Evanston, IL) vyrobeného z materiálu nazývaného Phynox, čo je zliatina niklu, chrómu a kobaltu.⁹

Redukciu výskytu neúplného otvorenia filtra prinieslo až vylepšenie dizajnu a zmena použitého materiálu na výrobu. Vznikli tak filtre novej generácie, ktoré sú vyrobené z nitinolu (zliatina niklu a titánu), nehrdzavejúcej ocele alebo zo zliatiny titánu. Ich použitie je spojené s nižšou mierou neúplného otvorenia na úrovni 0,4–0,5 %.^{4,10} Avšak neúplné otvorenie filtra môže postihnúť aj filtre novej generácie. Medzi najčastejšie príčiny patrí trombóza v závädzači („sheath-e“), implantácia filtra v časti dolnej dutej žily s nespoznanou nástenou trombózou alebo aj implantáciou filtra na nesprávnom mieste (napr. v iliakálnych, renálnych a mezenterických vénach) – chyba implantéra.^{1,8}

Klinicky môže neúplné otvorenie filtra viesť k výraznému zníženiu účinnosti filtra. Korbin a spol. vo svojej práci preukázali, že neúplné otvorenie filtra môže viesť k väčším medzerám medzi konštrukčnými časťami filtra – „nohami filtra“, čo znížilo účinnosť zachytenia embolu o viac ako 80 % pre malý embolus.¹¹ Časť prípadov neúplného otvorenia filtra je možné zvládnuť ešte počas procedúry implantácie, a to manipuláciou pomocou katétra a vodiaceho drôtu.^{12,13}

c) Sklon filtra – tilt

Sklon filtra je najčastejšie definovaný ako uhol, ktorý zvierá dlhá os filtra s dlhou osou dolnej dutej žily (**obr. 2**). Najčastejšie je meraný v antero-posteriórnej projekcii. Za optimálny sklon filtra sa považuje uhol v rozmedzí 0 až 5°. So zväčšujúcim sa uhlom sklonu sa zvyšuje riziko malfunkcie filtra ako aj riziko neskorých komplikácií.^{14,15} Za veľmi nepriaznivý sklon sa považuje uhol väčší ako 15°.



Obr. 2 – Kavografia demonštrujúca rôzny stupeň naklonenia filtra. (A) Tilt 2°, (B) tilt 5°, (C) tilt 9°, (D) tilt 15°, (E) tilt 35°.

V literatúre sa uvádza, že asi 33 % implantácii kaválneho filtra je komplikovaných uhlom sklonu viac ako 5°, pričom významnejší sklon, t. j. 15–20°, sa vyskytuje približne v 3–9 % prípadov.¹⁶ Sklon filtra má niekoľko nepriaznivých klinických dôsledkov. Uhol sklonu v rozmedzí 5 a 15° zvyšuje približne 2,4-násobne pravdepodobnosť komplikovanej extrakcie filtra. Sklon > 15° je asociovaný so 7,9 až 33-krát vyššou pravdepodobnosťou komplikovanej extrakcie,^{14,15} zároveň tiež zvyšuje pravdepodobnosť penetrácie kotviacich elementov filtra. Okrem iného, teoretické experimenty preukázali, že filter s nesprávnym sklonom bol menej účinný pri zachytávaní menších embolov (*in vitro* štúdie).¹⁶

Wang a spol. využili výpočtovú dynamiku tekutín s modelom Carreau na simuláciu ne-newtonských krvných tokov a dokázali, že zväčšovaním uhla naklonenia filtra sa zvyšuje aj veľkosť stagnačnej zóny pri stene vény. Ďalej došlo k teoretickému zvýšeniu šmykového napätia. Oba javy môžu viesť k trombóze *in situ*.¹⁷

Klinicky sa zdá, že zvýšený uhol naklonenia filtra koreluje so zvýšeným výskytom rekurentnej pľúcnej embólie. Takýto trend zaznamenali viaceré klinické štúdie, aj keď výsledky neboli štatisticky významné.^{18,19}

Významný sklon filtra je možné vyriešiť dvojako. Prvá možnosť je okamžitá extrakcia filtra – ihneď po vypustení a zistení chybného sklonu a následne ďalší pokus o opätovnú implantáciu. Ďalšou možnosťou je repozícia filtra vyžitím špeciálneho Sosa katétra, ktorým je možné úspešne reponovať až 96,4 % prípadov významného sklonu filtra.²⁰

d) Iné komplikácie

Medzi ďalšie komplikácie počas implantácie kaválneho filtra patrí nesprávne **umiestnenie filtra a nesprávna orientácia filtra**. Jedná sa o veľmi raritné komplikácie. Nesprávne umiestnenie sa rozumie implantácia filtra mimo cieľovej zóny v infrarenálnej časti dolnej dutej žily za predpokladu, že je priechodná. Nesprávne umiestnený filter je nutné extrahovať a následne správne umiestniť nový do cieľovej zóny. Nesprávna orientácia filtra znamená otočenie filtra okolo horizontálnej osi, teda „hore nohami“. Príčinou nesprávnej orientácie filtra je chybná voľba filtra z hľadiska výrobcom predpísaného spôsobu jeho implantácie, t.j. implantácia filtra určeného pre transjugulárny prístup transfemorálne a opačne. Opačne orientovaný filter musí byť extrahovaný.²¹

e) Neskoré komplikácie

Neskoré komplikácie vznikajú po implantácii kaválneho filtra a súvisia so zotrvaním filtra v dolnej dutej žile.

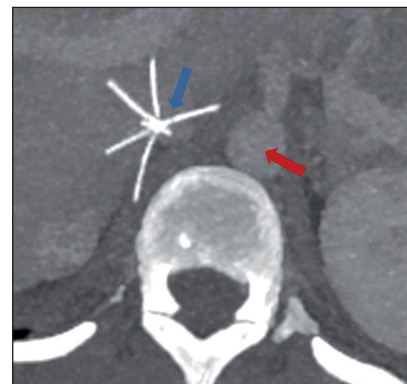
Čas zotrvania je významným faktorom zvyšujúcim ich výskyt, preto sú trvalé filtre logicky náchylnejšie na vznik neskorých komplikácií. V prípade extrahovateľných filtrov sa odporúča extrahovať filter čo najskôr, ak pominie indikácia k ich implantácii. FDA (The Food and Drug Administration) zdôrazňuje potrebu extrakcie extrahovateľných filtrov v intervale 29 až 54 dní po implantácii, keď už nie sú klinicky potrebné.

Medzi najvýznamnejšie neskoré komplikácie kaválnych filtrov zaraďujeme: **penetráciu, fraktúru, migráciu a trombózu filtra** a dolnej dutej žily v súvislosti s implantovaným filtrom.

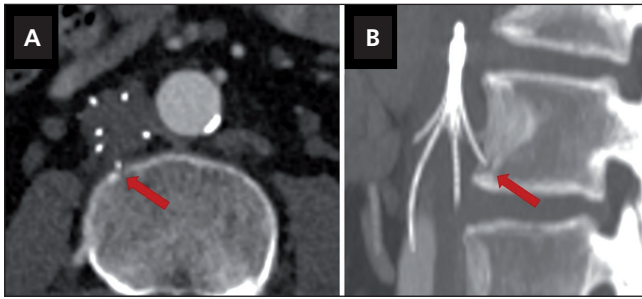
f) Penetrácia

Penetráciu charakterizujeme ako prienik nožičky/nožičiek kaválneho filtra, teda kotviacich elementov, cez stenu dolnej dutej žily do okolitých štruktúr, t. j. do retroperitoneálneho priestoru (tuku, väziva) (**obr. 3**), do kostí – stavcov (**obr. 4**), do aorty a jej vetiev (**obr. 5 a 6**), do svalov a do viscerálnych orgánov, napr. čriev, pankreasu. V skutočnosti je každá implantácia kaválneho filtra sprevádzaná určitou mierou penetrácie, nakoľko penetrácia kotviacich elementov kaválneho filtra do steny dolnej dutej žily je nevyhnutná na udržanie žiaducej pozície, a teda prevencie migrácie filtra.

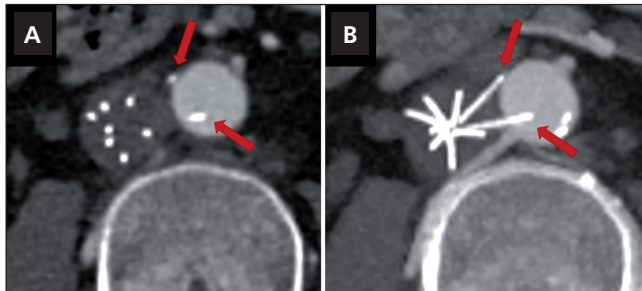
Tento typ penetrácie, pri ktorej kotviace elementy filtra neprenikajú viac ako 3 mm za stenu dolnej dutej žily, nazývame limitovaná.^{22,23} Za patologickú penetráciu



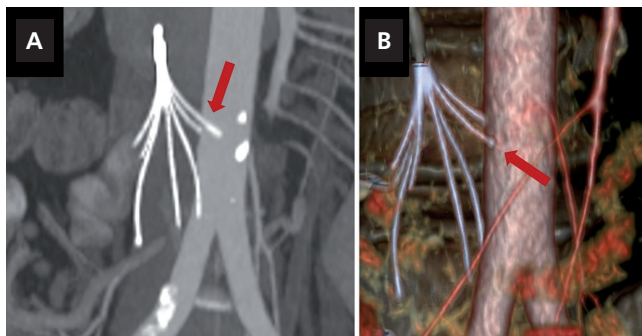
Obr. 3 – CT angiografické vyšetrenie brušných ciev – následne spracovaný (post-processing) axiálny rez. Vyšetrenie zobrazuje penetráciu kotviacich elementov kaválneho filtra do retroperitoneálneho priestoru a okolitých štruktúr. Červená šípka označuje aortu, modrá dolnú dutú žilu.



Obr. 4 – CT angiografické vyšetrenie brušných ciev zobrazujúce penetráciu kaválneho filtra do stavca. (A) Axiálny rez, (B) sagitálny rez. Červené šípky označujú penetráciu kotviacich elementov filtra (nožičiek) do stavca.



Obr. 5 – CT angiografické vyšetrenie brušných ciev zobrazujúce penetráciu kaválneho filtra do aorty a do retroperitoneálneho priestoru pred aortou. (A) Axiálny rez, (B) axiálny, následne spracovaný (post-processing) rez. Červené šípky označujú miesto penetrácie.



Obr. 6 – CT angiografické vyšetrenie brušných ciev zobrazujúce penetráciu kaválneho filtra do aorty. (A) Sagitálny, následne spracovaný (post-processing) rez, (B) objemová rekonštrukcia (3D). Červené šípky označujú miesto penetrácie kotviacich elementov filtra do aorty.

označujeme prienik kotviacich elementov filtra o viac ako 3 mm za stenu dolnej dutej žily do okolitého priestoru a štruktúr.^{22,23} Ide o relatívne častú komplikáciu s výskytom 19 až 34 %, ktorá je často klinicky prehliadaná. Približne 19 % zo všetkých penetrácií vykazuje prienik kotviacich elementov do okolitých štruktúr.²³ Mechanizmus penetrácie filtra nie je dostatočne objasnený, avšak ide s veľkou pravdepodobnosťou o nevyhnutný dôsledok kotviaceho mechanizmu filtra. Robustný kotviaci mechanizmus je dôležitý na zabránenie migrácie filtra s následnou embolizáciou, vrátane embolizácie do srdca a nevyhnutnými fatálnymi dôsledkami.^{24–26}

Geometria filtra, najmä kónicky tvarované filtre s voľnými nožičkami, radiálna sila vyvolaná filtrom pôsobiaca

na stenu dolnej dutej žily, ostrosť a tuhosť nožičiek filtra, výrazný sklon filtra ($> 15^\circ$), malý priemer dolnej dutej žily a mechanické vlastnosti natívnej steny dolnej dutej žily predstavujú najdôležitejšie rizikové faktory penetrácie filtra.^{23,27} Geometriu filtra možno v zásade charakterizovať tvarom. Niektoré štúdie ukázali všeobecnú tendenciu k vyššej miere penetrácie pre kónicky tvarované filtre.²⁸ Abdominálna trauma alebo fyzický tlak na dolnú dutú žilu, kardio-respiračný pohyb a posturálne zmeny môžu spôsobiť tlak na filter a sú ďalšími faktormi, ktoré prispievajú k penetrácii.²³

Klinické príznaky penetrácie sa môžu líšiť a závisia od anatomických charakteristík penetrácie, t. j. miesta, hĺbky a príslušných štruktúr. Avšak prenikanie do susedných orgánov a štruktúr býva častejšie symptomatické a môže byť sprevádzané bolesťou chrbta/brucha, teplotou, slabosťou, nauzeou, zvracaním, nechutenstvom a chudnutím, hnačkou alebo zápchou. K objektívnym príznakom a komplikáciám penetrácie môžeme zaradiť melénu, gastrointestinálne krvácanie, pankreatitídu, pseudocystu pankreasu, pseudoaneurizmu aorty, retroperitoneálny hematóm, duodeno-kaválnu fistulu, spodylodiscitídu, sepsu, volvulus alebo obštrukciu čriev a v neposlednom rade smrť.²³

Manažment penetrácie filtra závisí od symptómov, prítomnosti klinických indikácií pre filter, t. j. či je filter ešte klinicky indikovaný, a od závažnosti penetrácie, t. j. druhu postihnutých prílehlých orgánov a štruktúr.

Konzervatívna liečba, analgézia a sledovanie, môže byť liečebnou možnosťou pre nekomplikované (iba izolovaný prienik cez stenu dolnej dutej žily, bez postihnutia okolitých orgánov), život neohrožujúce prípady.²⁹

U asymptomatických pacientov je potrebné zvážiť extrakciu filtra najmä u pacientov s penetráciou do prílehlých orgánov/štruktúr. Je to dané tým, že penetrácia nie je stabilná, ale má tendenciu sa časom zhoršovať.^{30–32} U symptomatických pacientov by sa mala extrakcia filtra vždy zvážiť.

Vo všeobecnosti možno povedať, že extrakcia filtra by sa mala zvážiť vo všetkých prípadoch penetrácie bez ohľadu na symptómy, keď indikácia pre kaválny filter skončí. Môže byť realizovaná endovaskulárne alebo chirurgicky.

Endovaskulárna extrakcia je vždy možnosťou voľby u extrahovateľných filtrov. Ide o pomerne rutinný výkon s vysokou úspešnosťou. Viaceré štúdie dokazujú vysokú úspešnosť a nízku mieru komplikácií i v prípade penetrácie do aorty^{23,30,33} a tenkého čreva.³⁴

Chirurgická revízia a extrakcia môže byť indikovaná najmä u symptomatických pacientov s komplexným orgánovým/štruktúrnym poranením, po zlyhaní endovaskulárnej extrakcie a tiež u pacientov s trvalými, neextrahovateľnými filtermi.^{23,35}

g) Fraktúra

Zlomenie filtra je definované ako strata štruktúrnej integrity, čo vedie k fragmentácii, migrácii a potencionálnej embolizácii fragmentu (obr. 7).^{1,36} V databáze MAUDE (Manufacturer and User Facility Device Experience) je zlomenie filtra najčastejšou komplikáciou spojenou s extrahovateľnými filtermi s asi 24% podielom na všetkých hlásených komplikáciách. Pre porovnanie zlomenie permanentného filtra predstavuje asi 7,5 % všetkých kom-

plikácií.^{1,38} Skutočná miera fraktúr filtra sa však značne líši a podľa rôznych autorov varíruje medzi 0 % až 21%.^{39,40}

Fraktúru filtra môžeme rozdeliť na akútnu a chronickú. Akútna vzniká silným, priamym tupým poranením alebo náhlym zvýšením intra-abdominálneho tlaku, pričom filtre nekónického tvaru sú náchylnejšie na akútne zlomenie.³⁶

Chronická fraktúra filtra vzniká na podklade cyklického, dynamického zaťaženia vedúceho k únave materiálu a únavovému lomu. Totižto počas srdcového cyklu a dýchania podlieha dolná dutá žila cyklickej expanzii a kolapsu, teda zmenám v priemere lúmenu, čo vystavuje filter opakovanému radiálnemu mechanickému namáhaniu.

So zreteľom na vyššie uvedenú skutočnosť je nutné dodať, že novšia generácia extrahovateľných filtrov je subtlínejšia v porovnaní so staršou generáciou trvalých filtrov, a preto tento „tenší“ dizajn pravdepodobne robí filtre náchylnejšími na mechanické preťaženie a následnú fraktúru.^{36,37} Chronická fraktúra je typickejšia pre kónické filtre.²⁸

Na mieru výskytu fraktúry filtra vplýva geometria (tvar), významný sklon filtra (tilt), ktorý tiež neadekvátne zvyšuje mechanické namáhanie kotviacich elementov a čas zotrvania v dolnej dutej žile.

Fraktúra filtra je proporcionálna času zotrvania filtra v dolnej dutej žile, nakoľko dlhší čas povedie ku kumulácii mechanického zaťaženia, čo povedie k únave kovu a zlomeniu filtra.^{36,39} Napríklad Vijay a spol. vo svojej práci nezaznamenali žiadnu fraktúru extrahovateľného filtra pred 61. dňom. Avšak po 1 až 2 rokoch od implantácie bola miera fraktúry 8,2 % a po 3 rokoch až 30,8 %.³⁹

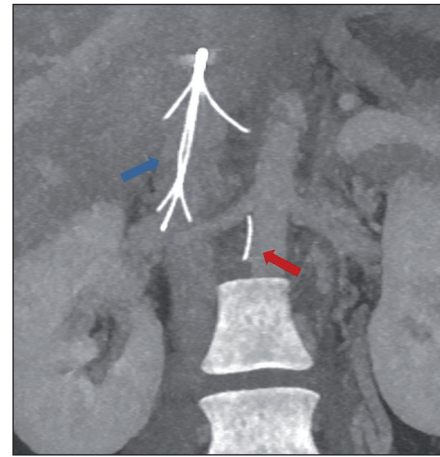
Z klinického hľadiska zlomené filtre majú zníženú účinnosť v prevencii pľúcnej embólie pre redukcii filtračnej účinnosti. Navyše oddelené fragmenty filtra môžu potenciálne embolizovať a spôsobiť fatálne komplikácie.

Manažment pacienta s fraktúrou filtra je náročný a vyžaduje si prísne individuálne posúdenie prípadu od prípadu. Musí sa zhodnotiť typ filtra, lokalizácia fragmentu, klinické prejavy prípadnej migrácie a embolizácie, a pretrvávajúce indikácie filtra.

Lokalizácia fragmentu filtra je kľúčová v manažmente fraktúry filtra a má byť determinovaná využitím prierezového zobrazovania (cross sectional imaging), napríklad CT. Fragment filtra môže byť podľa lokalizácie charakterizovaný ako **lokálny, intrakardiálny a intrapulmonálny**.³⁶

Lokálny fragment ostáva lokalizovaný v blízkosti hlavnej časti filtra a môže byť intra- alebo extravaskulárny (obr. 7). Intravaskulárny fragment je lokalizovaný v lúmene dolnej dutej žily, pričom je zachytený v stene dolnej dutej žily a často fixovaný organizovanou fibrózou jazvou. Existuje aj typ lokálneho intravaskulárneho fragmentu, ktorý je tzv. parciálny s lúmenom dolnej dutej žily, t.j. jedna časť je lokalizovaná intraluminálne a druhá časť penetruje do okolitých štruktúr. Extravaskulárny fragment nekomunikuje s lúmenom dolnej dutej žily.³⁶

Intrakardiálny fragment je najzávažnejšou komplikáciou fraktúry filtra. Ide o fragment filtra, ktorý embolizoval do srdcových dutín a veľkých ciev, kde ostáva zachytený. Fragment filtra môže poškodiť endokard, penetrovať do myokardu alebo kompletne perforovať stenu srdcových dutín.



Obr. 7 – CT angiografické vyšetrenie – frontálny rez. Červená šípka ukazuje lokálny, extravaskulárny fragment filtra. Modrá šípka ukazuje reziduálny, zlomený a významne deformovaný kaválny filter, navyše aj s perforáciou kotviacich elementov filtra cez stenu dolnej dutej žily do retroperitoneálneho priestoru.

Intrapulmonálny fragment je vo všeobecnosti najmenej závažný, často asymptomatický s najslabšou indikáciou k invazívnej liečbe – extrakcii. Fragment je lokalizovaný hlboko v pľúcnom parenchýme.

Symptómy fraktúry filtra závisia od lokalizácie fragmentu. Lokálny intravaskulárny fragment nemá symptómy.

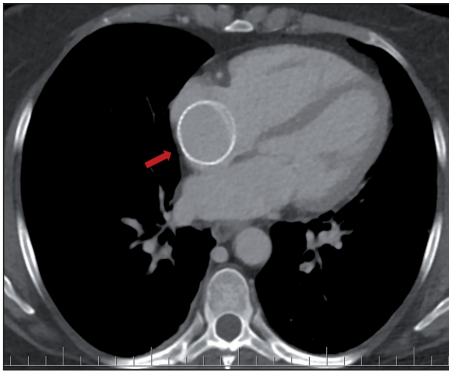
Lokálny, parciálny intravaskulárny a lokálny extravaskulárny fragment sa prejavuje veľmi podobne ako penetrovaný filter, symptómy závisia od penetrovaného orgánu. Symptómy intrapulmonálneho fragmentu sú raritné, charakteru pleurálneho syndrómu. Najvýznamnejšie symptómy sú typické pre intrakardiálny fragment a môžu zahŕňať bolesť na hrudníku, arytmiu, hemoperikard pri perforácii steny srdcových dutín a potencionálne aj smrť.^{41,42}

Manažment pacienta s fraktúrou filtra je náročný, predstavuje do určitej miery hlavolam, nakoľko neexistuje jednoznačný konsenzus. Spôsob liečby by tak mal byť posudzovaný od prípadu k prípadu, pričom sa musia zohľadniť symptómy pacienta a lokalizácia fragmentu. V určitých prípadoch, najmä u asymptomatických pacientov je možný aj konzervatívny postup, sledovanie pacienta klinicky aj zobrazovacími metódami aspoň 1x ročne.^{36,43}

Avšak vzhľadom na riziko spojené s embolizáciou intravaskulárneho fragmentu filtra z dolnej dutej žily do srdcových dutín, zlyhanie filtračnej schopnosti (teda stratu základnej funkcie), možnú ďalšiu fraktúru či iné mechanické komplikácie, ako aj psychosociálny faktor – strach pacienta sa preferuje extrakcia aj u asymptomatických pacientov. U symptomatických pacientov sa preferuje extrakcia.

Extrakcia pozostáva z dvoch fáz: **extrakcia tela zlomeného filtra** a **extrakcia fragmentu**. Extrakcia tela zlomeného filtra sa môže realizovať endovaskulárne, nakoľko viaceré práce dokumentovali 100 % úspešnosť.^{44–46}

Takáto extrakcia je komplexná, vyžaduje si použitie špeciálnych pomôcok ako napríklad endobronchiálnych klieští, laserovej ablácie alebo pomocou slučky, respektíve ich kombinácie. Extrakcia fragmentu závisí predovšetkým na symptómoch a lokalizácii. Lokálny, kompletne



Obr. 8 – CT angiografické vyšetrenie – axiálny rez. Červená šípka ukazuje migráciu kaválneho filtra intrakardiálne, do dutiny pravej predsene.

intravaskulárny fragment je možné extrahovať najčastejšie endobronchiálnymi kliešťami, poprípade slučkou s 90–100% úspešnosťou.^{45–47} Manažment lokálneho, parciálne intravaskulárneho fragmentu je identický ako penetrácia kaválneho filtra do okolitých štruktúr. Lokálny extravaskulárny fragment je endovaskulárne nedosiahnuteľný. Ak je asymptomatický, môže sa observovať.⁴³ V prípade symptómov a penetrácie do viscerálnych orgánov je nutná chirurgická revízia. Intrapulmonálny fragment je zväčša asymptomatický, stabilný, ma najslabšiu indikáciu k invazívnej extrakcii, a môže sa teda len sledovať,⁴³ aj keď sa v literatúre udáva miera úspešnej extrakcie intrapulmonálneho fragmentu asi 71 %.⁴⁶

Manažment intrakardiálneho fragmentu je najkontroverznejší a najzložitejší. Vyžaduje si multidisciplinárnu spoluprácu, do ktorej okrem intervenčného lekára musí byť prizvaný aj kardiochirurg. V literatúre sa však uvádzajú prípady úspešnej komplexnej endovaskulárnej extrakcie intrakardiálneho fragmentu z pravej komory alebo pľúcnice využitím slučky alebo klieští na biopsiu myokardu.^{46,47}

h) Migrácia

Migrácia filtra je obzvlášť znepokojujúcou komplikáciou a je definovaná ako posun filtra o viac ako 2 cm z pôvodnej polohy (obr. 8). Miera migrácie sa pohybuje od 0 do 11,8 %.^{31,48,49} Môže nastať v dôsledku predošlej fraktúry filtra – kotviaceho elementu.

Medzi ďalšie rizikové faktory patrí nesprávne dimenzovanie, to znamená implantáciu príliš malého filtra vzhľadom na rozmer dolnej dutej žily majúcu za dôsledok nedostatočné ukotvenie filtra do steny dolnej dutej žily. Je potrebné mať na zreteli, že priemer dolnej dutej žily sa môže výrazne zmeniť s dýchacím cyklom. Ďalej sa môže dramaticky zmeniť v určitej klinickej situácii, napríklad u pacienta s deficitom intravaskulárneho objemu sa priemer znižuje a u pacienta so srdcovým zlyhaním alebo pri Valsalvovom manévri sa priemer dolnej dutej žily zväčšuje.¹ Materiál, z ktorého je filter vyrobený, môže tiež prispieť k migrácii filtra. Napríklad niektoré extrahovateľné filtre sú vyrábané z titánu, ktorý je poddajnejší, čo umožňuje zložiť filter do zavedača s menším kalibrom, inštrumentárium je teda subtilnejšie, poddajnejšie, znižuje riziko komplikácií v mieste vpichu. Avšak v porovnaní s tvrdšími zliatinami, ako je titán, nehrdzavejúca oceľ, vyvíjajú kotviace elementy filtrov z titánu menšiu

radiálnu silu proti stene cievy, čo zvyšuje riziko migrácie.⁵⁰ V literatúre je popísaná aj iatrogénna migrácia filtra v dôsledku zachytenia filtra vodičom alebo katétrom, napríklad počas elektrofyziológického vyšetrenia srdca alebo pri zavedení centrálného venózneho katétra cez femorálny prístup.⁵¹

Podľa rozsahu migrácie filtra môžeme rozoznať rôzne anatomicke oblasti migrácie od prostej migrácie kraniálne z infrarenálnej časti dolnej dutej žily do suprarenálnej až po migráciu filtra do pravej predsene (obr. 8), trikuspidálnej chlopne, pravej komory alebo pľúcnice.⁵²

Symptómy migrácie sú značne rôznorodé a môžu variovať od asymptomatickej migrácie až po asystómiu a smrť. Minimálna migrácia môže zostať asymptomatická. Migrácia kraniálne z infrarenálnej lokalizácie do suprarenálnej lokalizácie môže viesť k silným bolestiam v oblasti dierkovej chrbtice.⁵³

Hypotenzia, synkopa a/alebo dyspnoe môžu sprevádzať migráciu filtra do pravej komory alebo pravej predsene. Migrácia filtra do oblasti trikuspidálnej chlopne môže byť sprevádzaná srdcovými arytmiami.⁵²

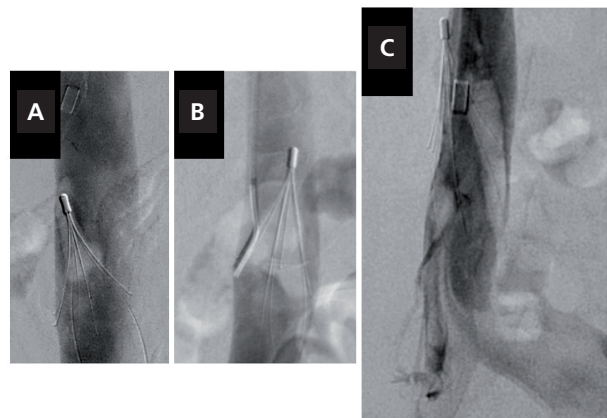
Manažment asymptomatickej migrácie zostáva nejasný a kontroverzný. V prípade symptómov je indikovaná extrakcia filtra. Tá môže byť realizovaná chirurgicky – kardiochirurgom alebo endovaskulárne – predovšetkým u pacientov vysokorizikových k operácii pre komorbiditu.⁵³

i) Trombóza filtra a dolnej dutej žily v súvislosti s implantovaným filtrom

Kaválny filter je navrhnutý tak, aby zachovával dobrý prietok cez dolnú dutú žilu a minimálne ovplyvňoval lokálne reologické podmienky. Napriek tomu predstavuje trombogénne cudzie teleso v dolnej dutej žile, ktoré môže iniciovať trombogénu *in situ* s následnou tvorbou trombu v oblasti filtra a dolnej dutej žily. Trombóza filtra je však v skutočnosti omnoho častejšie spôsobená úspešným zachytením zrazeniny ako tvorbou trombu „*de novo in situ*“.

Incidencia značne varíuje v štúdiách a závisí na type filtra z hľadiska geometrie a konštrukčného riešenia.

Filtre cylindrického a dáždnikovitého tvaru majú vyššiu mieru trombózy.²⁸ Extrahovateľné filtre sú asoci-



Obr. 9 – Kavografia demonštrujúca rôznu závažnosť trombózy kaválneho filtra a dolnej dutej žily. (A) Minimálna trombóza filtra v oblasti vrcholu filtra, (B) rozsiahlejšia trombóza zaberajúca takmer celý objem filtra, (C) masívna trombóza celej dolnej dutej žily s prechodom na iliakálne veny.

ované asi s 0,6 až 8%^{48,54,55} a trvalé s 1,6 až 33% mierou trombózy.^{54,56-59}

Rozsah trombózy filtra je variabilný a zahrňuje situácie od malého nevýznamného trombu až po kompletnú oklúziu dolnej dutej žily (**obr. 9**), ktorá sa môže vyskytnúť až u 2 % prípadov.⁶¹ Z časového hľadiska môže prebiehať akútne alebo chronicky. Úmerne veľkosti trombu, závažnosti oklúzie dolnej dutej žily a rýchlosti vzniku trombu varíruje aj klinický obraz, ktorý môže prebiehať asymptomaticky alebo symptomaticky, akútne alebo chronicky.

Asymptomatická trombóza

V literatúre sa uvádza, že viac ako 98 % pacientov je asymptomatických^{60,61} a trombus je diagnostikovaný náhodne, napríklad CT angiografickým vyšetrením realizovaným z úplne iného dôvodu alebo angiografickým vyšetrením – kavogramom pred samotnou extrakciou filtra. Keďže je trombus asymptomatický, môže byť v čase diagnózy akútny alebo chronický.

U pacienta s asymptomatickou trombózou filtra/dolnej dutej žily by mala byť, ak je to možné, ordinovaná antikoagulačná liečba za účelom prevencie extenzie a progresie trombózy s následným kompletným uzáverom dolnej dutej žily vedúcim až k život ohrozujúcej situácii (viď symptomatická trombóza). Podávanie antikoagulačnej liečby u pacientov s extrahovateľným filtrom je zvyčajne možné, pretože interval absolútnej kontraindikácie antikoagulačnej liečby je spravidla krátky.

U pacientov s implantovaným trvalým filtrom to môže byť problematické. Napriek tomu je vždy nutné dôkladne zvážiť riziká a prínosy ordinácie antikoagulačnej liečby u takehoto pacienta.^{62,63}

Trombus vo filtri nemá len hemodynamické dôsledky, ale môže sťažiť extrakciu extrahovateľného filtra, respektíve môže viesť k pľúcnej embólii počas extrakcie. Za medznú hodnotu veľkosti trombu, pri ktorej stúpa riziko komplikovanej extrakcie alebo embólie pri extrakcii, sa považuje trombus o veľkosti asi 25 % z objemu filtra.^{63,64} Ak objem trombu vo filtri prekročí túto hodnotu, potom sa má extrakcia postponovať, ordinovať antikoagulačná liečba na 6 týždňov a následne zopakovať zobrazenie trombu (buď CT angiografia, alebo pred-extrakčný kavogram). Ak sa potvrdí regresia trombu, respektíve stabilita v polohe a objeme, pričom pretrváva indikácia k extrakcii, potom sa môže pristúpiť k extrakcii.^{63,64}

Symptomatická trombóza – akútna

Medzi symptómy signifikantnej akútnej trombózy filtra a dolnej dutej žily môžeme zaradiť bolesť dolnej časti chrbta, sedacej oblasti alebo dolných končatín sprevádzanú symetrickým opuchom dolných končatín a brušnej steny. Navyše, ak dôjde k extenzii trombu kraniálne, môže dôjsť k obmedzeniu venózneho návratu z obličiek alebo pečene, čo môže mať za následok obličkové alebo hepatálne zlyhanie.^{65,66}

Pri propagácii trombózy z dolnej dutej žily na iliakálne vény a nižšie etáže hlbokého žilového systému dolných končatín sa môže rozvinúť phlegmasia coerulea dolens, ktorá má vysokú, až 40 % úmrtnosť.⁶⁷

Základom liečby je podobne ako v prípade asymptomatickej trombózy antikoagulačná liečba za predpokladu, že je možná.

Nakolko u pacienta so symptomatickou trombózou filtra/dolnej dutej žily hrozia závažné komplikácie a následky, je potrebné antikoagulačnú liečbu rozšíriť o techniky priamo odstraňujúce trombus. Chirurgická trombektómia sa realizuje raritne, pretože bola nahradená endovaskulárnymi technikami.

Tradične, trombóza dolnej dutej žily v bežnej populácii je liečená endovaskulárne, t. j. katétrovo – riadenou trombolýzou, ktorá však môže mať u pacientov s kavalným filtrom katastrofálne krvácavé komplikácie vzhľadom na rizikovosť tejto populácie pacientov.

Súčasný endovaskulárne techniky na odstránenie trombu sú preto založené na mechanickom odstránení trombu, bez použitia rizikového trombolýtika. Využívajú sa rôzne metódy mechanickej trombektómie, napríklad aspirácia (Indigo System alebo AngioVac) – trombus sa odstraňuje stabilným odsávaním cez aspiračný katéter s veľkým lúmenom alebo recirkulačná mechanická trombektómia (reolytická), pri ktorej sa trombus odstraňuje *in situ* s použitím zariadení generujúceho hydrodynamický vír, ktorým sa trombus zachytí a rozdrví na mikroskopické fragmenty pôsobením vysokých strihových síl (AngioJet).^{60,61,63}

Symptomatická trombóza – chronická

Medzi klinicky najzávažnejšie formy chronickej symptomatickej trombózy patrí chronická iliako-kaválna obštrukcia, ktorá vedie k rozvoju posttrombotického syndrómu. Najčastejšie sa prejavuje bolesťou dolných končatín a edémom, avšak môžu sa rozvinúť všetky symptómy a znaky pokročilých štádií chronickej venózne insuficiencie.^{65,68}

Je preukázané, že rekanalizácia chronickej oklúzie vedie k zmierneniu morbidítu pacientov asociovanej s posttrombotickým syndrómom. Rekanalizácia sa realizuje endovaskulárne a uplatňujú sa dve možnosti. Prvá možnosť rekanalizácie predpokladá ponechanie filtra *in situ* a prekrytie filtra stentom. Uzáver sa najprv predilatuje balónom, čo vedie k jeho zmlaždeniu, a v druhom kroku sa implantuje stent.

Štúdie ukázali, že sa jedná o bezpečnú a úspešnú metódu,^{65,69} aj keď existujú teoretické komplikácie. Keďže filter ostáva *in situ*, stent sa nemusí kompletne otvoriť, čo zhoršuje priechodnosť, alebo môže dôjsť k fraktúre filtra a penetrácii.⁶⁸ Druhou možnosťou je najprv filter extrahovať – ak to je možné, a potom rekanalizovať uzáver implantáciou stentu podobne ako v prvom prípade. Oba výkony je možné realizovať v jednom sedení.^{68,70}

Po rekanalizácii sa vyžaduje antitrombotická liečba na prevenciu re-uzáveru, najčastejšie kombinácia antiagregačnej a antikoagulačnej liečby. Avšak na jej konkrétnu formu nie je jednoznačný konsenzus. Antiagregačná liečba nasleduje odporúčania týkajúce sa implantácie stentu do arteriálneho riečiska, i keď sa jedná o žilový systém. Počiatočná fáza antikoagulačnej liečby je zvyčajne vo forme LMWH s následným prechodom na DOAK alebo warfarin.⁷⁰ Dĺžka antikoagulačnej liečby nie je jasná, dlhodobá?

Záver

Každý medicínsky výkon prináša aj komplikácie, pričom ich výskytu nie je možné úplne zabrániť. Cieľom zdravotníkov by malo byť zníženie ich výskytu. V prípade kavalných filtrov je to možné doceliť najmä správnu indikáciou filtra, čím sa zníži miera neopodstatnenej implantácie filtra a tým pádom aj miera komplikácií. Zároveň je nutné poznať komplikácie a myslieť na ne ako v priebehu implantácie, tak aj po implantácii.

Prehlásenie autorov o možnom stretu záujmov

Autori prehlasujú, že nemajú konflikt záujmu.

Financovanie

Na prípravu tohto článku neboli použité finančné prostriedky od tretích strán.

Prehlásenie autorov o etických aspektoch publikácie

Štúdia je v súlade s princípmi Helsinskej deklarácie a usmernení pre správnu klinickú prax.

Literatúra

- Li X, Haddadin I, McLennan G, et al. Inferior vena cava filter – comprehensive overview of current indications, techniques, complications and retrieval rates. *Vasa* 2020;49:449–462.
- Kinney TB. Update on inferior vena cava filters. *J Vasc Interv Radiol* 2003;14:425–440.
- Van Ha TG. Complications of inferior vena caval filters. *Semin Intervent Radiol* 2006;6:632–641.
- Giannoudis PV, Pountos I, Pape HC, Patel JV. Safety and efficacy of vena cava filters in trauma patients. *Injury* 2007;38:7–18.
- Johnson MS, Nemcek AA, Benenati JF, et al. The safety and effectiveness of the retrievable option inferior vena cava filter: A United States prospective multicenter clinical study. *J Vasc Interv Radiol* 2010;21:1173–1184.
- Caplin DM, Nikolic B, Kalva SP, et al. Quality improvement guidelines for the performance of inferior vena cava filter placement for the prevention of pulmonary embolism. *J Vasc Interv Radiol* 2011;22:1499–1506.
- Sweeney TJ, Van Aman ME. Deployment problems with the titanium Greenfield filter. *J Vasc Interv Radiol* 1993;4:691–694.
- Grewal S, Chamarthy MR, Kalva SP. Complications of inferior vena cava filters. *Cardiovasc Diagn Ther* 2016;6:632–641.
- Murphy TP, Dorfman GS, Yedlicka JW, et al. LGM vena cava filter: Objective evaluation of early results. *J Vasc Interv Radiol* 1991;2:107–115.
- Pancione L, Pieri S, Agresti P, et al. Use of the ALN permanent/removable vena cava filter: A multi-centre experience. *Minerva Chir* 2006;61:501–507.
- Korbin CD, Van Allan RJ, Andrews RT, et al. Strut interlocking of Titanium Greenfield vena cava filters and its effect on clot capturing: An in vitro study. *Cardiovasc Intervent Radiol* 1994;17:204–206.
- Greenfield LJ, Cho KJ, Proctor M, et al. Results of a multicenter study of the modified hook-titanium Greenfield filter. *J Vasc Surg* 1991;14:253–257.
- Danikas D, Constantinopoulos GS, Stratoulas C, Ginalis EM. Use of a Fogarty catheter to open an incompletely expanded vena Tech-LGM vena cava filter: A case report. *Angiology* 2001;52:283–286.
- Quencer KB, Smith TA, Deipolyi A, et al. Procedural complications of inferior vena cava filter retrieval, an illustrated review. *CVIR Endovasc* 2020;3:23.
- Clements W, Moriarty HK, Paul E, Goh GS. Stratification of Pre-procedure Risk Factors Associated with Difficult-to-remove Inferior Vena Cava (IVC) Filters: A 6-year Retrospective Analysis at a Tertiary Center. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2020;43:238–245.
- Günther RW, Neuerburg J, Mossdorf A, et al. New optional IVC filter for percutaneous retrieval - In vitro evaluation of embolus capturing efficiency. *Rofo* 2005;177:632–636.
- Wang J, Huang W, Zhou Y, et al. Hemodynamic Analysis of VenaTech Convertible Vena Cava Filter Using Computational Fluid Dynamics. *Front Bioeng Biotechnol* 2020;8:556110.
- Rogers FB, Strindberg G, Shackford SR, et al. Five-year follow-up of prophylactic vena cava filters in high-risk trauma patients. *Arch Surg* 1998;133:406–411.
- Greenfield J, Proctor MC, Cho KJ, Wakefield TW. Limb asymmetry in titanium Greenfield filters: Clinically significant? *J Vasc Surg* 1997;26:770–775.
- Laroia ST, Guan JJ, Laroia AT, et al. A new catheter technique to correct severe IVC filter tilt during placement. *J Clin Interv Radiol* 2019;4:27–30.
- Bajda J, Park AN, Raj A, et al. Inferior Vena Cava Filters and Complications: A Systematic Review. *Cureus* 2023;15:e40038.
- Grassi C, Swan T, Cardella J, et al. Quality improvement guidelines for percutaneous permanent inferior vena cava filter placement for the prevention of pulmonary embolism. *J Vasc Interv Radiol* 2001;12:137–141.
- Jia Z, Wu A, Tam M, et al. Caval Penetration by Inferior Vena Cava Filters: A Systematic Literature Review of Clinical Significance and Management. *Circulation* 2015;132:944–952.
- Laborda A, Lostalé F, Rodríguez JB, et al. Laparoscopic demonstration of vena cava wall penetration by inferior vena cava filters in an ovine model. *J Vasc Interv Radiol* 2011;22:851–856.
- Cunliffe CH, Denton JS. A fatal complication of a vena caval filter associated with pulmonary thromboembolism. *Am J Forensic Med Pathol* 2008;29:173–176.
- Fotiadis NI, Sabharwal T, Dourado R, et al. Technical error during deployment leads to vena cava filter migration and massive pulmonary embolism. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2008;31(Suppl 2):S174–S176.
- Gwon JG. Structural Injury of Adjacent Organs Due to Inferior Vena Cava Filter Penetration. *Ann Phlebology* 2020;18:55–58.
- Deso SE, Idakoji IA, Kuo WT. Evidence-Based Evaluation of Inferior Vena Cava Filter Complications Based on Filter Type. *Semin Intervent Radiol* 2016;33:93–100.
- DuraiRaj R, Fogarty S. A penetrating inferior vena caval filter. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2006;32:737–739.
- Duncan C, Trerotola SO, Stavropoulos SW. Endovascular Removal of Inferior Vena Cava Filters with Arterial Penetration. *J Vasc Interv Radiol* 2018;29:486–490.
- Zhou D, Spain J, Moon E, et al. Retrospective review of 120 elect inferior vena cava filter retrievals: experience at a single institution. *J Vasc Interv Radiol* 2012;23:1557–1563.
- Durack JC, Westphalen AC, Kekulawela S, et al. Perforation of the IVC: rule rather than exception after longer indwelling times for the Günther Tulip and Celect retrievable filters. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2012;35:299–308.
- Holly BP, Gaba RC, Lessne ML, et al. Vena Cava Filter Retrieval with Aorto-Iliac Arterial Strut Penetration. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2018;41:1184–1188.
- Joe WB, Larson ML, Madassery S, et al. Bowel Penetration by Inferior Vena Cava Filters: Feasibility and Safety of Percutaneous Retrieval. *AJR Am J Roentgenol* 2019;213:1152–1156.
- Malgor RD, Labropoulos N. A systematic review of symptomatic duodenal perforation by inferior vena cava filters. *J Vasc Surg* 2012;55:856.e3–861.e3.
- Hong M Jr, Brown MA, Ryu RK. Mechanism and Approach to Fractured Filters. In: Desai KR, Ahmed O, Van Ha T, eds. *Placement and Retrieval of Inferior Vena Cava Filters. A Case-Based Approach*. Cham: Springer Nature Switzerland AG, 2020:113–130.
- Ahmed O, Sheikh S, Tran P, et al. Inferior Vena Cava Filter Evaluation and Management for the Diagnostic Radiologist: A Comprehensive Review Including Inferior Vena Cava Filter-Related Complications and PRESERVE Trial Filters. *Can Assoc Radiol J* 2019;70:367–382.

38. Andreoli JM, Lewandowski RJ, Vogelzang RL, Ryu RK. Comparison of complication rates associated with permanent and retrievable inferior vena cava filters: A review of the MAUDE database. *J Vasc Interv Radiol* 2014;25:1181–1185.
39. Vijay K, Hughes JA, Burdette AS, et al. Fractured bard recovery, G2, and G2 express inferior vena cava filters: Incidence, clinical consequences, and outcomes of removal attempts. *J Vasc Interv Radiol* 2012;23:188–194.
40. Wang W, Zhou D, Obuchowski N, et al. Fracture and migration of celect inferior vena cava filters: A retrospective review of 741 consecutive implantations. *J Vasc Interv Radiol* 2013;24:1719–1722.
41. Peters MN, Syed RHK, Katz MJ, et al. Inferior vena cava filter migration to the right ventricle; causing nonsustained ventricular tachycardia. *Texas Hear Inst J* 2013;40:316–319.
42. Nicholson W, Nicholson WJ, Tolerico P, et al. Prevalence of fracture and fragment embolization of Bard retrievable vena cava filters and clinical implications including cardiac perforation and tamponade. *Arch Intern Med* 2010;170:1827–1831.
43. Puller HF, Stavropoulos SW, Trerotola SO. Stability of Retained Inferior Vena Cava Filter Fragments after Filter Removal. *J Vasc Interv Radiol* 2021;32:1457–1462.
44. Kuo WT, Robertson SW, Odegaard JI, Hofmann LV. Complex retrieval of fractured, embedded, and penetrating inferior vena cava filters: a prospective study with histologic and electron microscopic analysis. *J Vasc Interv Radiol* 2013;24:622.e1–630.e1.
45. Dinglasan LA, Trerotola SO, Shlansky-Goldberg RD, et al. Removal of fractured inferior vena cava filters: feasibility and outcomes. *J Vasc Interv Radiol* 2012;23:181–187.
46. Trerotola SO, Stavropoulos SW. Management of Fractured Inferior Vena Cava Filters: Outcomes by Fragment Location. *Radiology* 2017;284:887–896.
47. Kesselman AJ, Hoang NS, Sheu AY, Kuo WT. Endovascular Removal of Fractured Inferior Vena Cava Filter Fragments: 5-Year Registry Data with Prospective Outcomes on Retained Fragments. *J Vasc Interv Radiol* 2018;29:758–764.
48. Nazzal M, Chan E, Nazzal M, et al. Complications related to inferior vena cava filters: A single-center experience. *Ann Vasc Surg* 2010;24:480–486.
49. Zhu X, Tam MDBS, Bartholomew J, et al. Retrievability and device-related complications of the G2 filter: A retrospective study of 139 filter retrievals. *J Vasc Interv Radiol* 2011;22:806–812.
50. Robins JE, Ragai I, Yamaguchi DJ. Differences in radial expansion force among inferior vena cava filter models support documented perforation rates. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord* 2018;6:368–371.
51. Wu A, Helo N, Moon E, et al. Strategies for prevention of iatrogenic inferior vena cava filter entrapment and dislodgement during central venous catheter placement. *J Vasc Surg* 2014;59:255–259.
52. Owens CA, Bui JT, Knuttinen MG, et al. Intracardiac migration of inferior vena cava filters: review of published data. *Chest* 2009;136:877–887.
53. Janvier AL, Hamdan H, Malas M. Bilateral renal vein thrombosis and subsequent acute renal failure due to IVC filter migration and thrombosis. *Clin Nephrol* 2010;73:408–412.
54. Andreoli JM, Thornburg BG, Hickey RM. Inferior Vena Cava Filter-Related Thrombus/Deep Vein Thrombosis: Data and Management. *Semin Intervent Radiol* 2016;33:101–104.
55. Angel LF, Tapson V, Galgon RE, et al. Systematic review of the use of retrievable inferior vena cava filters. *J Vasc Interv Radiol* 2011;22:1522.e–1530.e.
56. Sella DM, Oldenburg WA. Complications of inferior vena cava filters. *Semin Vasc Surg* 2013;26:23–28.
57. Usov F, Hingorani A, Ascher E, et al. Prospective randomized study comparing the clinical outcomes between inferior vena cava Greenfield and TrapEase filters. *J Vasc Surg* 2010;52:394–399.
58. Hajduk B, Tomkowski WZ, Malek G, Davidson BL. Vena cava filter occlusion and venous thromboembolism risk in persistently anticoagulated patients: a prospective, observational cohort study. *Chest* 2010;137:877–882.
59. Caplin DM, Nikolic B, Kalva SP, et al. Society of Interventional Radiology Standards of Practice Committee. Quality improvement guidelines for the performance of inferior vena cava filter placement for the prevention of pulmonary embolism. *J Vasc Interv Radiol* 2011;22:1499–1506.
60. Sildiroglu O, Ozer H, Turba UC. Management of the thrombosed filter-bearing inferior vena cava. *Semin Intervent Radiol* 2012;29:57–63.
61. Ahmad I, Yeddula K, Wicky S, Kalva SP. Clinical sequelae of thrombus in an inferior vena cava filter. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2010;33:285–289.
62. Wadhwa V, Trivedi PS, Ryu RK, Lessne ML. Increasing Anticoagulation Use Among Inpatients Receiving Inferior Vena Cava Filters. *Am J Med* 2017;130:e373–e374.
63. Lessne ML, Holly B. Management of the Acute Thrombus-Bearing IVC Filter, In: Desai KR, Ahmed O, Van Ha T, eds. *Placement and Retrieval of Inferior Vena Cava Filters. A Case-Based Approach*. Cham: Springer Nature Switzerland AG, 2020:177–188.
64. Wang SL, Timmermans HA, Kaufman JA. Estimation of trapped thrombus volumes in retrievable inferior vena cava filters: a visual scale. *J Vasc Interv Radiol* 2007;18:273–276.
65. Chick JFB, Jo A, Meadows JM, et al. Endovascular Iliocaval Stent Reconstruction for Inferior Vena Cava Filter-Associated Iliocaval Thrombosis: Approach, Technical Success, Safety, and Two-Year Outcomes in 120 Patients. *J Vasc Interv Radiol* 2017;28:933–939.
66. McAree BJ, O'Donnell ME, Fitzmaurice GJ, et al. Inferior vena cava thrombosis: a review of current practice. *Vasc Med* 2013;18:32–43.
67. Lessne ML, Bajwa J, Hong K. Fatal reperfusion injury after thrombolysis for phlegmasia cerulea dolens. *J Vasc Interv Radiol* 2012;23:681–686.
68. Desai KR, Xiao N, Karp J, et al. Single-session inferior vena cava filter removal, recanalization, and endovenous reconstruction for chronic iliocaval thrombosis. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord* 2019;7:176–183.
69. Meltzer AJ, Connolly PH, Kabutay NK, et al. Endovascular recanalization of iliocaval and inferior vena cava filter chronic total occlusions. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord* 2015;3:86–89.
70. Klepich ET, Desai KR. Management of Filter-Related Chronic Iliocaval Occlusion, In: Desai KR, Ahmed O, Van Ha T, eds. *Placement and Retrieval of Inferior Vena Cava Filters. A Case-Based Approach*. Cham: Springer Nature Switzerland AG, 2020:189–202.