

Význam perfuzních a konzervačních roztoků v perioperační medicíně

Navrátil P.^{1,2,3}, Břízová P.^{2,4}, Astapenko D.^{2,5,6}

¹Urologická klinika, Fakultní nemocnice Hradec Králové

²Lékařská fakulta v Hradci Králové, Univerzita Karlova

³Mezioborové transplantační centrum, Fakultní nemocnice Hradec Králové

⁴Kardiochirurgická klinika, Fakultní nemocnice Hradec Králové

⁵Klinika anesteziologie, resuscitace a intenzivní medicíny, Fakultní nemocnice Hradec Králové

⁶Fakulta zdravotnických studií, Technická univerzita v Liberci

Perfuzní a konzervační roztoky jsou nezastupitelné v perioperační medicíně v kardiochirurgii a transplantologii. Tyto roztoky, vyvinuté k ochraně a uchování orgánů během chirurgických výkonů, jsou klíčové pro udržení jejich životaschopnosti a zlepšení výsledků operací. V kontextu kardioplegie poskytují ochranu srdce při kardiochirurgických operacích, umožňují řízenou srdeční zástavu při minimalizaci metabolické aktivity myokardu. V transplantologii zajišťují udržení funkčnosti orgánů během skladování a transportu. Výzkum se zaměřuje na vývoj nových roztoků a technik k dalšímu zlepšení ochrany orgánů a efektivity transplantací.

Klíčová slova: perfuzní roztok, konzervační roztok, transplantace, kardioplegie.

The importance of perfusion and preservation solutions in perioperative medicine

Perfusion and preservation solutions are indispensable in the field of cardiothoracic surgery and transplantation. These solutions, developed to protect and maintain organs during surgical interventions, are crucial for preserving their viability and improving surgical outcomes. In the context of cardioplegia, they provide heart protection during cardiothoracic surgeries, enabling controlled cardiac arrest while minimizing myocardial metabolic activity. In transplantation, they maintain organ functionality during storage and transport. Research focuses on developing new solutions and techniques to further improve the organ protection and efficiency of transplantations.

Key words: perfusion solution, preservation solution, transplantation, cardioplegia.

Úvod

Perfuzní roztoky představují neodmyslitelnou součást perioperační medicíny, obzvláště ve světle jejich kritické role v kardiochirurgii a transplantologii. Tyto roztoky, vyvinuté k ochraně a uchování orgánů a tkání během a po chirurgických výkonech, jsou klíčem k udržení životaschopnosti orgánů a ke zlepšení výsledků operací.

Konzervace orgánů je esenciální pro úspěšnou transplantaci. Poskytuje kritický časový rámec pro selekci vhodných příjemců a zajištění bezpečného transportu orgánů a jejich transplantaci do těla příjemce. Primárním cílem konzervace je zajistit, aby po implantaci do těla příjemce došlo k okamžitému nástupu funkce transplantovaného orgánu. Po zastavení cirkulace a při nástupu anoxie je tkáň vystavena riziku buněčné smrti, která nastává během 20 až 60 minut v závislosti na

typu tkáně. Je způsobena nedostatkem kyslíku, buněčných substrátů, energie, a také hromaděním produktů anaerobního metabolismu. V tomto období jsou konzervační roztoky nezbytné pro zachování životaschopnosti orgánů.

V oblasti kardioplegie jsou perfuzní roztoky nezbytné pro ochranu srdce během operací na otevřeném srdci na mimotělním oběhu, jako jsou operace koronárních arterií, chlopní, zkratových vad a další. Používají se ke kontrolovanému zastavení elektrické i mechanické srdeční revoluce v diastole, minimalizují metabolické požadavky a chrání myokard před ischemickým poškozením. Kardioplegická zástava srdce současně významně redukuje metabolické nároky myokardu a spotřebu kyslíku. Tento přístup umožňuje chirurgům provádět potřebné výkony na stojícím srdci, zatímco udržují jeho strukturu a funkce po operaci

KORESPONDENČNÍ ADRESA AUTORA:

MUDr. Pavel Navrátil, FEBU, pavel.navratil2@fnhk.cz

Článek přijat redakcí: 5. 5. 2024; Článek přijat k tisku: 15. 7. 2024

Cit. zkr: Anest intenziv Med. 2024;35(3):176-181

neporušené. Základem pro úspěch těchto operací je efektivní ochrana myokardu před poškozením způsobeným ischemií. Jednou z preferovaných metod ochrany je využití studené krevní kardioplegie, která je široce akceptována pro svou účinnost.

Perfuzní a konzervační roztoky tak představují nenahraditelný nástroj v arzenálu perioperační péče. Přispívají k záchraně životů a zlepšení kvality života pacientů po celém světě. Tento nesystematický přehledový článek popisuje v současnosti používané typy roztoků, jejich složení, mechanismus účinku a klinické použití.

Metodika

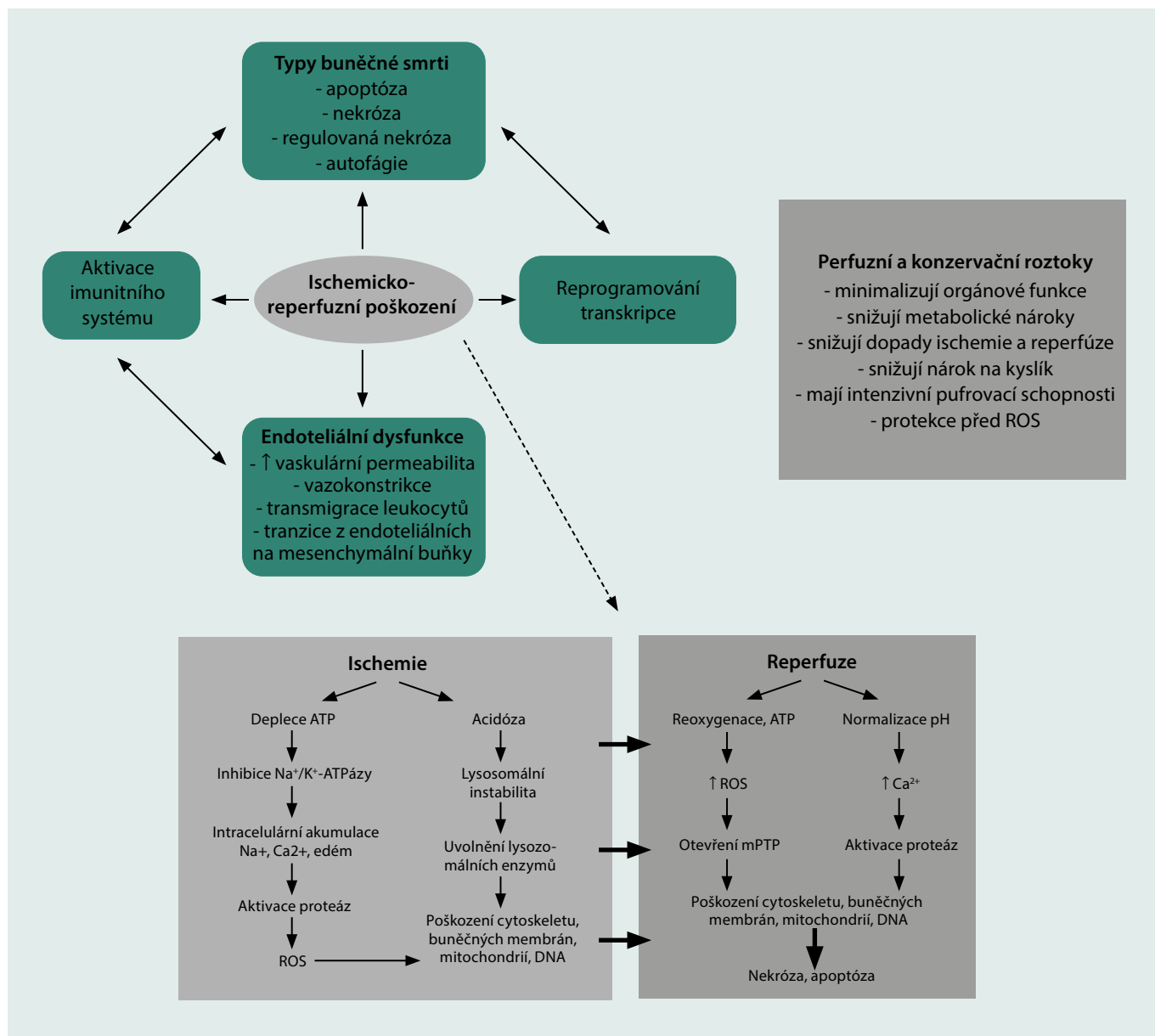
Tento přehledový článek vychází z literární rešerše dostupných odborných zdrojů na téma perfuzních a konzervačních roztoků, se zvláštním zaměřením na jejich význam v perioperační medicíně, kardiocirurgii a transplantologii. Pro shromažďování relevantních informací byla využita databáze PubMed, přičemž nebyla stanovena žádná časová omezení pro vyhledávané články, aby bylo zajištěno co nejširší pokrytí

tématu. Byla použita klíčová slova „perfusion solution“, „conservation solution“, „transplantation“, „cardioplegy“, „Euro-Collins“, „University of Wisconsin“, „HTK“, „Custodiol“ a „del Nido“. Kritéria pro zařazení článků do přehledu zahrnovala relevanci pro dané téma, s důrazem na inovace v složení a aplikaci roztoků, jejich protektivní účinky a klinické využití.

Patofyziologie ischemie

Ischemie orgánu nastává, když je přerušeno nebo významně sníženo průtok krve do tkáně, což vede k nedostatečnému zásobování kyslíkem a živinami. Tento stav spouští kaskádu patofyziologických změn, které mohou vést k trvalému poškození orgánu. Mezi klíčové procesy patří hypoxie, která způsobuje přechod buněk z aerobního na anaerobní metabolismus, v důsledku čehož se hromadí laktát a snižuje se pH v tkáních. Acidóza spolu s nedostatkem ATP způsobených hypoxií narušuje iontovou homeostázu, což vede k edému buněk a poškození buněčných membrán. Aktivace anaerobního metabolismu rovněž spouští produkci volných kyslíkových radikálů (reactive oxygen species,

Obr. 1. Hlavní patofyziologické mechanismy negativního působení ischemie a reperfuze versus pozitivní vliv perfuzních a konzervačních roztoků



ROS), které při reperfuzi způsobují další poškození tkání prostřednictvím oxidativního stresu. Imunitní odpověď, spuštěná uvolňováním prozá-
nětlivých cytokinů a adhezivních molekul, dále zhoršuje poškození
tkáně způsobené ischemií a reperfuzí [1].

Deplece kyslíku během ischemie snižuje produkci ATP, což vede
k poklesu aktivity Na⁺/K⁺-ATPázy a následnému intracelulárnímu
hromadění sodíku. Toto zvýšení sodíku snižuje membránový potenciál,
otevřít napětově řízené vápníkové kanály a zvyšuje koncentraci vápníku
v buňce. Anaerobní metabolismus, resp. anaerobní glykolýza, vede
k hromadění laktátu a poklesu pH, což aktivuje Na⁺/H⁺-antiport, který
způsobuje další akumulaci sodíku. Vysoká koncentrace sodíku pak přes
3Na⁺/1Ca²⁺-antiport zvyšuje intracelulární vápník.

Během reperfuze dochází k pomalému obnovení aktivity Na⁺/
K⁺-ATPázy, což spolu s reoxygenací vede k tvorbě volných kyslíkových
radikálů. Stále vysoká intracelulární koncentrace vápníku způsobuje
hyperkontraktilitu a poškození myokardu. Zvýšená koncentrace vápníku
spolu s oxidačním stresem navíc otevírá mitochondriální pór přechodné
propustnosti (mPTP) na vnitřní membráně mitochondrií, což je pova-
žováno za důležitou příčinu buněčné smrti [2].

Perfuzní a konzervační roztoky jsou navrženy tak, aby tyto patofyzi-
ologické procesy minimalizovaly nebo přerušily (Obr. 1). Obsahují různé
složky, jako jsou pufrы, které stabilizují pH, antioxidantní činidla, která
neutralizují ROS, a substráty, které podporují energetický metabolismus
buněk i při absenci kyslíku. Tyto roztoky také obsahují elektrolyty a další
molekuly, které pomáhají udržovat iontovou a osmotickou rovnováhu,
a tím chrání buňky proti nadměrnému otoku a poškození. V závislosti
na jejich složení mohou být roztoky specificky upraveny pro různé
typy tkání a orgánů, čímž maximalizují jejich ochranný účinek proti
ischemickému a reperfuznímu poškození.

Použití v transplantologii

Využití perfuzních roztoků v transplantologii představuje kritický
prvek úspěchu v oblasti transplantace orgánů. Umožňuje zachování
životaschopnosti a funkčnosti darovaných orgánů od okamžiku
jejich odebrání až po transplantaci. Tyto roztoky (Tab. 1), včetně
hypotermických, normotermických a subnormotermických metod
[3], hrají důležitou roli v minimalizaci ischemického poškození tkání
a orgánů, což je klíčové pro zlepšení výsledků transplantací. Studená
ischemie nastává, když je orgán uchováván při nízké teplotě (0–4 °C)
po jeho odebrání z těla dárce, což zpomaluje metabolické procesy
a minimalizuje buněčné poškození. Teplá ischemie nastává, když
je orgán při tělesné teplotě, ale průtok krve je přerušen, což vede
k rychlému vyčerpání energetických zásob a akumulaci škodlivých
metabolitů.

V kontextu transplantace ledvin, jater, srdce a dalších orgánů (pulmo-
plegie u plic) se perfuzní roztoky používají k udržení metabolických funkcí
a prevenci poškození orgánů během jejich skladování a přepravy. Čím
dál více se také využívá technologií přístrojové perfuze, což umožňuje
lepší hodnocení kvality a životaschopnosti orgánů před transplantací
a významně přispívá k rozšíření možného dárcovství i využití orgánů
dárců s rozšířenými kritérii (u transplantací ledvin jsou to dárce starší 60 let
nebo mezi 50–59 lety za předpokladu dvou rizikových faktorů: úmrtí pro
cerebrovaskulární příhodu, anamnéza hypertenze či diabetu a sérová
koncentrace kreatininu > 133 μmol/l).

Navzdory technologickým výzvám a vyšším nákladům spojeným
s některými metodami perfuze, jejich potenciál pro zlepšení výsledků
transplantací a zvýšení úspěšnosti využití dárcovských orgánů převažuje.
Výzkum v této oblasti pokračuje ve vývoji nových roztoků a technik,
které by mohly dalšími způsoby přispět k efektivitě transplantací.

Tab. 1. Složení konzervačních roztoků používaných u transplantací orgánů [mmol/l] (upraveno podle Mohr et al. [14])

	UW	HTK (Custodiol)	EC
Glukóza	-	-	195
Laktobionát	100	-	-
Rafinóza	30	-	-
Manitol	-	30	-
Glutamát	-	-	-
Ketoglutarát	-	1	-
Tryptofan	-	2	-
Fosfátový pufr	25	2	57,5
Sulfátový pufr	5	-	30
Histidinový pufr	-	198	-
Glutation	3	-	-
Alopurinol	1	-	-
Adenozin	50	-	-
Hydroxyetylškrob	50 g/l	-	-
Na ⁺	30	15	10
K ⁺	125	9	115
Cl ⁻	-	50	15
Ca ²⁺	-	0,02	-
Mg ²⁺	5	4	-
Inzulin	100 j	-	-
Penicilin	40 j	-	-
Dexametazon	8	-	-
Osmolarita	320	310	406

Konzervační roztoky u transplantací orgánů

University of Wisconsin

Roztok University of Wisconsin (UW), vyvinutý v roce 1987 Belzerem a Southardem [4], představoval zásadní průlom v oblasti konzervace pankreatu a dalších orgánů. Tento roztok byl speciálně navržen tak, aby minimalizoval intracelulární a intersticiální edém, což je klíčové pro udržení strukturální integrity orgánů během konzervačního procesu. Díky svému složení efektivně snižuje acidózu a inhibuje formaci ROS, které přispívají k ischemickému poškození.

Unikátnost roztoku UW spočívá v jeho viskozitě a bohatém minerálním složení, které imituje intracelulární prostředí s vysokou koncentrací draslíku (135 mmol/l), nízkou koncentrací sodíku (35 mmol/l) a pH udržovaným na fyziologické hodnotě 7,40. Tento balancovaný iontový profil je doplněn přidáním magnézia, sulfátu a laktobionátu, které fungují jako efektivní chelátory vápníku, a tím přispívají k udržení membránového potenciálu. Další složky roztoku, jako hydroxyetylskrob, laktobionát a rafinóza, jsou zvoleny pro jejich neschopnost přestupu přes buněčnou membránu, což přispívá k ochraně proti edému během hypotermických podmínek. Adenozin je přidán pro podporu regenerace ATP, zatímco glutathion slouží jako obrana proti oxidativnímu stresu způsobenému ROS.

Orgány konzervované roztokem UW mají vysokou toleranci vůči studené ischemii – 18 hodin pro játra, 12 hodin pro pankreas a až 36 hodin pro ledviny. Tento roztok nejenže byl primárně vyvinut pro konzervaci pankreatu, ale díky svým unikátním vlastnostem se rychle stal preferovanou volbou pro široké spektrum orgánů [5]. Jeho složení, poskytující rovnováhu mezi koloidními a krystaloidními elementy, ho činí ideálním pro použití v kontinuální přístrojové perfuzi, zvláště u ledvin pocházejících od dárců s rozšířenými kritérii [6].

Histidin-tryptofan-ketoglutarát

Roztok histidin-tryptofan-ketoglutarát (HTK, komerčně známý jako Custodiol, Dr. Franz Köhler Chemie GmbH, Bensheim, Německo), jehož vývoj inicioval Bretschneider, se již od roku 1971 etabloval pro kardioplegii [7]. Charakterizuje se nízkým obsahem draslíku, což snižuje riziko hyperkalemie při aplikaci. Klíčovými složkami roztoku jsou aminokyseliny histidin a tryptofan spolu s α -ketoglutarátem, které společně vykazují osmotickou aktivitu, fungují jako pufrý, a vychytávají ROS.

Roztok HTK je založen na principu ekvibrace extracelulárního prostředí, což je metoda zaměřená na udržení iontové a osmotické rovnováhy v okolních tkáních. Od poloviny 80. let minulého století se roztok HTK stal preferovanou volbou při transplantacích srdce, kde je schopen udržet toleranci studené ischemie až do 6 hodin. Krátce poté byl roztok adaptován i pro konzervaci ledvin a jater, rozšiřující tak svůj dosah v transplantační medicíně [8].

Přestože roztok HTK nabízí mnoho výhod, jeho limitací je relativně nižší schopnost bránit vzniku buněčného edému při delších obdobích studené ischemie oproti roztoku UW. Zejména pokud je ischemie delší než 24 hodin. Toto omezení je způsobeno gradujícím přestupem manitolu a histidinu do buněk, což může vést k narušení buněčné homeostázy. Přesto zůstává HTK roztokem volby pro mnoho multiorgánových odběrů díky jeho všestranné aplikaci a vysoké bezpečnosti [9].

Euro-Collins

Na sklonku 60. let 20. století přišel Collins s inovativním přístupem v oblasti konzervace orgánů, když vyvinul hyperosmolární konzervační roztok, jehož iontové složení bylo optimalizováno tak, aby odpovídalo intracelulárnímu prostředí. Tento roztok umožnil hypotermické uskladnění ledvin po dobu až 48 hodin, což představovalo významný pokrok ve zvyšování životaschopnosti transplantovaných orgánů [10].

Charakteristickým rysem prvních generací tohoto Collinsova roztoku byla vysoká koncentrace draslíku, magnézia a glukózy, jež byly doplněny o prokain působící jako inhibitor vstupu sodíku do buněk a fenoxibenzamin, který působil vazodilataci. V následujících letech se zrodil roztok Euro-Collins (EC), který byl zbaven nefrotoxického prokainu a stal se jednodušší a ekonomičtější verzí svého předchůdce. Tato modifikace přispěla k tomu, že EC roztok získal v 70. a 80. letech status standardu pro konzervaci některých orgánů [7]. V současné době je roztok EC využíván především při získávání plic a ledvin, kde je schopen udržet orgány v stavu studené ischemie v rozmezí 6 až 8 hodin [11].

Kontinuální pulzatívni perfuze

Mimo tradiční metodu hypotermické konzervace ledvin, která představuje v našem prostředí standardní přístup, existuje také možnost využití přístrojové kontinuální perfuzní pumpy (KPP, Obr. 2). Tento inovativní systém je sestaven z chladicího recirkulačního čerpadla, sterilní kazety umožňující napojení na ledvinu, monitorovací jednotky a teplotního senzoru. Jeho základním principem je kontrolovaná perfuze konzervačním roztokem, který je pod tlakem 30 mmHg pumpován do renálních cév odebrané ledviny. V tomto hermeticky uzavřeném a sterilním prostředí cirkuluje mezi 800 a 1 200 ml roztoku, jehož teplota je stabilně udržována v rozmezí 4 až 10 °C. K okysličení roztoku slouží membránový oxygenátor [12].

Obr. 2. Kontinuální pulzatívni perfuze pomocí systému LifePort (archiv CKTCH Brno, publikováno se svolením autorů)



Renální tlak je měřen přímo v renální arterii, což umožňuje přesné sledování perfuzního tlaku během celého procesu. Díky této metodě je možné neustále monitorovat zásadní parametry, jako jsou teplota perfuzního roztoku, průtok přes orgán a renální tlak, což umožňuje přesně predikovat funkčnost ledvinového štěpu před jeho transplantací. I přes finanční náročnost a technickou složitost spojenou s provozem tohoto zařízení, se přístrojová kontinuální perfuze stává čím dál tím více rozšířenou praxí. Tato metoda nachází uplatnění zejména u ledvin od dárců

Tab. 2. Složení kardioplegických roztoků [mmol/l] (upraveno podle Brzeska et al. [21])

	St. Thomas 2	HTK (Custodiol)	del Nido
Na ⁺	110	15	136–152
Cl ⁻	160	50	126–132
K ⁺	16	9	13–24
Mg ²⁺	32	4	2–13
Ca ²⁺	25	0,02	0–1
Lidocain	-	-	27
Manitol	-	30	0–12
Ketoglutarát	-	1	-
Tryptofan	-	2	-
Histidin	-	198	-
Osmolarita	304	300	304–320

s rozšířenými kritérii, včetně těch s nebijícím srdcem. Rovněž je využívána pro transport orgánů na dlouhé vzdálenosti [13].

Jednou z výhod použití KPP je výrazné snížení rizika opožděného nástupu funkce a primární afunkce transplantovaných ledvin, což je důležité u štěpů považovaných za hraniční z hlediska kvality. Tato pokročilá technika tak přispívá k rozšíření spektra využitelných orgánů a zvyšuje šance na úspěšnou transplantaci.

Použití v kardiochirurgii

V oblasti kardioplegie jsou perfuzní roztoky nezbytné pro ochranu srdce během operací na otevřeném srdci, jako jsou bypassové operace koronárních arterií nebo operace chlopní. Tyto roztoky se podávají přímo do koronárních tepen nebo koronárního sinu, což umožňuje distribuci roztoku přímo do srdečního svalu. Používají se k zastavení srdce v kontrolovaném stavu – srdce je úmyslně a dočasně zastaveno za předem stanovených podmínek, což minimalizuje jeho metabolické požadavky a chrání myokard před ischemickým poškozením. Tento přístup umožňuje chirurgům provádět potřebné zákroky na stojícím srdci, zatímco udržují jeho struktury a funkce po operaci neporušené. Základem pro úspěch těchto operací je efektivní ochrana myokardu před poškozením způsobeným ischemií. Jednou z preferovaných metod ochrany je využití studené krevní kardioplegie, která je široce akceptována pro svou účinnost. Kardioplegická zástava srdce současně významně redukuje metabolické nároky myokardu a spotřebu kyslíku.

V praxi existuje několik variant kardioplegických roztoků (Tab. 2), které se liší nejen svým přesným složením, ale i frekvencí, s jakou musí být během operace aplikovány, aby se zajistila optimální ochrana myokardu a úspěšné provedení zákroku. Rozdělujeme je na kardioplegické roztoky extracelulární (např. St. Thomas, del Nido) a intracelulární (např. HTK) podle toho, zda dodáváme vysoký obsah draslíku do buněk (extracelulární) nebo se draslík z buněk dostává (intracelulární).

Kardioplegické roztoky

St. Thomas kardioplegický roztok

Historicky je krevní kardioplegie s použitím St. Thomas roztoku považována za zlatý standard. Výzkum tohoto přístupu začal na konci 19. století, kdy bylo zjištěno, že vysoká koncentrace draslíku

může zastavit srdce v diastole. Melrose ve 50. letech 20. století dále rozvinul tuto metodu zkoumáním roztoku citrátu draselného, který vedl k reverzibilní srdeční zástavě bez poškození myokardu. Vývoj pokračoval i přes počáteční komplikace jako refrakterní fibrilace a poruchy kontraktility. V 70. letech byl vyvinut St. Thomas 1 a později modifikován na St. Thomas 2, který obsahoval nižší koncentraci draslíku a byl efektivnější ve zlepšení ochranných a antiarytmických účinků. St. Thomas 2 se stal celosvětově uznávaným roztokem a je aplikován v pravidelných intervalech každých 20–30 minut, což přináší výhody i nevýhody, jako je vyšší spotřeba roztoku a delší doba srdeční zástavy [15].

Histidin-tryptofan-ketoglutarát

Roztok HTK je používán také jako kardioplegický roztok [16], který umožňuje podání v jedné dávce, což je atraktivní volba pro dlouhotrvající složité kardiochirurgické operace. Bylo prokázáno, že jeho použití je jednoduché, bezpečné a praktické. Navíc se považuje za dostatečně účinné v poskytování ochrany myokardu po dobu více než 2 hodin srdeční zástavy [17].

Kardioplegie del Nido

Kardioplegie del Nido, původně vyvinutá speciálně pro použití u pediatrických pacientů, si našla cestu i do praxe u dospělých díky svým výjimečným vlastnostem. Základem této metody je roztok Plasmalyte, obohacený o vybraná aditiva, který je poté kombinován s krevní složkou v poměru 4 : 1 (krev : roztok), vytvářející krystaloidní roztok [18]. Jednou z klíčových výhod kardioplegie del Nido je nutnost opakování až po 90 minutách, což často eliminuje potřebu další aplikace během operace. Tato „single-dose“ strategie výrazně ovlivňuje průběh chirurgického zákroku tím, že zkracuje dobu ischemické zástavy a celkovou délku použití mimotělního oběhu. Díky menšímu objemu podaného roztoku a jeho efektivitě se také snižuje celková potřeba transfuzí v perioperačním období [19].

Výzkumy ukazují, že po použití kardioplegie del Nido dochází k rychlejšímu spontánnímu návratu k sinusovému rytmu po uvolnění aortální svorky, což snižuje nutnost defibrilace po skončení ischemické zástavy. Současně se předpokládá, že nižší celkový objem použitého roztoku a vyšší podíl krystaloidní složky přispívají k redukcí potřeby ultrafiltrace během mimotělního oběhu [20].

Dopady použití roztoků na pacienta v pooperační péči

I když perfuzní roztoky hrají klíčovou roli v ochraně a udržení životaschopnosti orgánů během chirurgických výkonů, jako jsou transplantace a operace srdce, mohou mít také potenciální nežádoucí účinky. Tyto účinky závisí na složení konkrétního roztoku, jeho dávkování a individuálních charakteristikách pacienta. Mezi možné nežádoucí účinky patří elektrolytové nerovnováhy, např. hyperkalemie nebo hypokalemie, což může vést k srdečním arytmiím. Některé roztoky mohou způsobit poruchu acidobazické rovnováhy, případně mohou ovlivnit funkci ledvin a vyvolat otoky díky změnám osmolarity [22]. Výskyt těchto účinků vyžaduje pečlivý monitoring a případnou korekci během a po operaci, aby se minimalizovalo riziko komplikací a zajišťovala optimální ochrana a funkce transplantovaných nebo operovaných orgánů.

Při užití intracelulárních roztoků pro kardioplegii byla pozorována hyponatremie kvůli nízké koncentraci sodíku v roztoku u dětských pacientů [23]. Tato hyponatremie způsobená podáváním HTK není spojena s hypoosmolalitou [24]. Kim a kolegové [25] provedli studii, která ukázala významné výkyvy v koncentraci sodíku v séru po podání HTK. Při poklesu koncentrace sodíku o více než 15 mmol/l prokázali zvýšení pooperačních epileptických záchvatů u dětských pacientů. Subklinické záchvaty identifikované pooperačním elektroencefalogra-

fem měly incidenci 8 % u novorozenců po kardiochirurgickém výkonu s kardiopulmonálním bypasselem [26]. Výskyt záchvatů byl markerem vyšší morbidity a mortality v této populaci. Se zvýšeným rizikem hyponatremie souvisejícím s podáváním HTK by se tedy mělo opatrně pokusit o korekci hyponatremie při měření osmolality [24]. Alternativním řešením hyponatremie během podávání je evakuace HTK z pravé síně u pacientů podstupujících kardiochirurgický zákrok [27].

Závěr

Výzkum a vývoj v oblasti perfuzních a konzervačních roztoků představují klíčovou součást moderní medicíny, zejména v kontextu kardioplegie a transplantologie. Díky pokroku v této oblasti bylo možné významně zlepšit výsledky chirurgických výkonů, prodloužit dobu funkčnosti transplantovaných orgánů a snížit riziko komplikací spojených s ischemií.

Seznam zkratk

EC – Euro-Collins

HTK – Histidin-tryptofan-ketoglutarát

KPP – kontinuální perfuzní pumpa

ROS – reactive oxygen species, volné kyslíkové radikály

UW – University of Wisconsin

PROHLÁŠENÍ AUTORŮ: Prohlášení o původnosti: Práce je původní a nebyla publikována ani není zaslána k recenznímu řízení do jiného média. **Střet zájmů:** Autoři prohlašují, že nemají střet zájmů v souvislosti s tématem práce. **Podíl autorů:** PN 80 %, PB 10 %, DA 10 %. **Financování:** Žádné. **Poděkování:** -. **Registrace:** -. **Projednání etickou komisí:** -. **Práce byla podpořena programem COOPERATIO Univerzity Karlovy, vědní oblast SURG a INCA.**

LITERATURA

- Zhang M, Liu Q, Meng H, et al. Ischemia-reperfusion injury: molecular mechanisms and therapeutic targets. *Signal Transduct Target Ther*. 2024;9(1):12.
- Roček J, Vaněk T, Rogozov V, et al. Del Nido cardioplegia in adult patients. *Cor Vasa*. 2022;64(1):38-45.
- Soo E, Marsh C, Steiner R, et al. Optimizing organs for transplantation; advancements in perfusion and preservation methods. *Transplant Rev (Orlando)*. 2020;34(1):100514.
- Belzer FO, Southard JH. Organ preservation and transplantation. *Prog Clin Biol Res*. 1986;224:291-303.
- Belzer FO, Kalayoglu M, D'Alessandro AM, et al. Organ preservation: experience with University of Wisconsin solution and plans for the future. *Clin Transplant*. 1990;4(2):73-77.
- Moustafellos P, Hadjianastassiou V, Roy D, et al. The influence of pulsatile preservation in kidney transplantation from non-heart-beating donors. *Transplant Proc*. 2007;39(5):1323-25.
- Mühlbacher F, Langer F, Mittermayer C. Preservation solutions for transplantation. *Transplant Proc*. 1999;31(5):2069-70.
- Fridell JA, Mangus RS, Tector AJ. Clinical experience with histidine-tryptophan-ketoglutarate solution in abdominal organ preservation: a review of recent literature. *Clin Transplant*. 2009;23(3):305-12.
- Voigt MR, DeLario GT. Perspectives on abdominal organ preservation solutions: a comparative literature review. *Prog Transplant*. 2013;23(4):383-91.
- Latchana N, Peck JR, Whitson BA, et al. Preservation solutions used during abdominal transplantation: Current status and outcomes. *World J Transplant*. 2015;5(4):154-64.
- Gal YM Le, Scott T, Prabhakaran VM, et al. Heart-lung protection from ischemic injury during 8 hour hypothermic preservation. *Acta Biomed Ateneo Parmense*. 1994;65(3-4):181-98.
- Matsuno N, Konno O, Mejit A, et al. Application of machine perfusion preservation as a viability test for marginal kidney graft. *Transplantation*. 2006;82(11):1425-28.
- Minor T, Sitzia M, Dombrowski F. Kidney transplantation from non-heart-beating donors after oxygenated low-flow machine perfusion preservation with histidine-tryptophan-ketoglutarate solution. *Transpl Int*. 2005;17(11):707-12.
- Mohr A, Brockmann JG, Becker F. HTK-N: Modified Histidine-Tryptophan-Ketoglutarate Solution – A Promising New Tool in Solid Organ Preservation. *Int J Mol Sci*. 2020;21(18):6468.
- Břizová Pavla. Pokroky v ochraně myokardu během kardiochirurgické operace – přehled historie kardioplegických roztoků. *Cor Vasa*. 2024; in press.
- Bretschneider HJ, Hübner G, Knoll D, et al. Myocardial resistance and tolerance to ischemia: physiological and biochemical basis. *J Cardiovasc Surg (Torino)*. 1975;16(3):241-60.
- Hölscher M, Groenewoud AF. Current status of the HTK solution of Bretschneider in organ preservation. *Transplant Proc*. 1991;23(5):2334-37.
- Matte GS, Nido PJ del. History and use of del Nido cardioplegia solution at Boston Children's Hospital. *J Extra Corpor Technol*. 2012;44(3):98-103.
- Ad N, Holmes SD, Massimiano PS, et al. The use of del Nido cardioplegia in adult cardiac surgery: A prospective randomized trial. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2018;155(3):1011-18.
- Garcia-Suarez J, Garcia-Fernandez J, Martinez Lopez D, et al. Clinical impact of del Nido cardioplegia in adult cardiac surgery: A prospective randomized trial. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2023;166(5):1458-67.
- Brzeska B, Karolak W, Zelechowski P, et al. Del Nido cardioplegia versus other contemporary solutions for myocardial protection – a literature review. *Eur J Transl Clin Med*. 2023;6(1):41-57.
- Tan J, Bi S, Li J, et al. Comparative effects of different types of cardioplegia in cardiac surgery: A network meta-analysis. *Front Cardiovasc Med*. 2022;9.
- Ji B, Liu J, Long C, et al. Potential Risk of Hyponatremia Using Histidine-Tryptophan-Ketoglutarate Solution During Pediatric Cardiopulmonary Bypass. *Ann Thorac Surg*. 2012;93(6):2120-21.
- Lindner G, Zapletal B, Schwarz C, et al. Acute hyponatremia after cardioplegia by histidine-tryptophane-ketoglutarate – a retrospective study. *J Cardiothorac Surg*. 2012;7(1):52.
- Kim J-T, Park Y-H, Chang Y-E, et al. The Effect of Cardioplegic Solution-Induced Sodium Concentration Fluctuation on Postoperative Seizure in Pediatric Cardiac Patients. *Ann Thorac Surg*. 2011;91(6):1943-48.
- Naim MY, Gaynor JW, Chen J, et al. Subclinical seizures identified by postoperative electroencephalographic monitoring are common after neonatal cardiac surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2015;150(1):169-80.
- Turner II, Ruzmetov M, Niu J, et al. Scavenging right atrial Bretschneider histidine-tryptophan-ketoglutarate cardioplegia: Impact on hyponatremia and seizures in pediatric cardiac surgery patients. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2021;162(1):228-37.