

Hemodialýza je založena na přechodu látek mezi dvěma prostory, oddělenými semipermeabilní membránou. Hnací silou transferu akumulovaných katabolitů a retinované vody z organismu do dialyzačního roztoku je rozdíl koncentrací a hydrostatický tlak neboli veličiny, které umíme nejen zajistit, ale i kvantifikovat (index Kt/V , velikost ultrafiltrace).

Transfer přes hemodialyzační membránu však není omezen na molekuly. Přes membránu prochází i tepelná energie. Až do nedávné doby zůstávala tepelná bilance během hemodialýzy a možnosti jejího ovlivnění stranou zájmu a teplota dialyzačního roztoku byla rutinně nastavována na 37 °C. Tato teplota byla arbitrárně zvolena již v období počátků dialyzační léčby s úvahou, že určité ohřátí krve, které nastane v dialyzátoru, se vyrovná v návratovém setu mimotělního okruhu. Pozorovaný nárůst teploty těla vyústil postupně v používání teplot nižších. Avšak i hemodialýza s teplotou dialyzačního roztoku nižší, než je tělesná teplota na začátku hemodialýzy, může ve skutečnosti znamenat akumulaci tepla. Jak ukázaly práce sledující tepelnou bilanci, ohřev krve nastane i při teplotách dialyzačního roztoku 36,5 °C, ba dokonce i 36 °C (van der Sande et al., 1999; Lopot et al., 2003; Pizzarelli, 2007).

Positivní tepelná bilance je nefyziologická a přispívá k hemodynamické nestabilitě (při akumulaci tepla nenastane vazokonstrikční odpověď na úbytek intravaskulárního objemu). Dlouho byla souvislost mezi tepelnou bilancí mimotělní eliminace a hemodynamickou stabilitou podceňována. Bergstromovo náhodné zjištění z poloviny 70. let 20. století, že tzv. izolovaná ultrafiltrace je spojena s vyšší hemodynamickou stabilitou (hemodialýzy s ultrafiltrací byly dobře tolerovány, a až po jejich ukončení se zjistilo, že proběhly v „by-passu“), bylo ve své době vysvětlováno mnoha způsoby (včetně kdysi slavné Hendersonovy a Shaldonovy interleukinové hypotézy). Maggiore a další však již na počátku 80. let upozornili na význam ochlazení mimotělního okruhu. Ukázali, že při izolované ultrafiltraci, neboli při vynechání ohřevu krve v dialyzátoru, je teplota krve v návratovém setu snížena až na 34 °C, a přesto během procedury nedochází k poklesu tělesné teploty pacienta. Jinými slovy, pokud mimotělní okruh nezajistí odvedení vytvářeného tepla během hemodialýzy z organismu, toto teplo se akumuluje a přispívá k hemodynamické nestabilitě.

Následovaly studie, byť nečetné, které srovnávaly tzv. „studenou“ a tzv. „teplou“ hemodialýzu. Pojmy „studená“ a „teplá“ hemodialýza nejsou pevně dané, neboť každá práce si zvolila srovnávanou teplotu dialyzačního roztoku individuálně (např. 35 °C vs. 37 °C, či jinak). Hemodialýza s vyšší zvolenou teplotou se označovala jako „teplá“, s nižší teplotou jako „studená“. Všechny práce vyzněly ve prospěch nižších teplot dialyzačních roztoků z hlediska hemodynamické stability (kompenzační odpovědi kardiiovaskulárního systému na ultrafiltraci) a navíc ukázaly dobrou subjektivní snášenlivost nižších teplot dialyzačního roztoku, a to až do 35 °C (Maggiore et al., 2002; Selby et al., 2006).

Dalším stupínkem ve vývoji poznatků a jejich klinické aplikace bylo zavedení modulu BTM („blood temperature monitor“). Znamenalo nejen možnost kvantifikovat energetický transfer v mimotělním okruhu (zobrazení množství odebrané, resp. převedené energie na displeji monitoru), ale i tento transfer, resp. tepelnou bilanci na principu zpětné vazby regulovat. Obsluha má možnost

volby režimu T či E (T = regulace tělesné teploty pacienta; E = regulace energetického transferu, resp. tepelné bilance procedury). Při aktivním zapojení BTM se termínem „studená“ hemodialýza rozuměl režim $dT = 0$ neboli hemodialýza s udržením konstantní teploty těla, tj. vždy s negativním transferem tepelné energie (dnes se takováto hemodialýza označuje jako „izotermická“, viz dále). Termínem „teplá“ hemodialýza se rozuměl režim $dE = 0$ neboli hemodialýza s nulovým energetickým transferem (Schneditz et al., 2003).

V klinické praxi se režim $dE = 0$ nepoužívá (je nevýhodný, ohřívá pacienta; byť se někdy označuje jako termoneutrální). Režim $dT = 0$ naopak naznal široké uplatnění právě pro stabilní tělesnou teplotu během hemodialýzy. Takto vedená hemodialýza se označuje jako izotermická (Maggiore et al., 2003; Lopot et al., 2003; Selby et al., 2006; Pizzarelli, 2007).

Izotermická hemodialýza znamená minimalizaci teplotní nerovnováhy během hemodialýzy. Na rozdíl od „studené“ dialýzy, kdy teplota dialyzačního roztoku je nízká již od počátku procedury, zde klesá postupně. Teplota dialyzačního roztoku může být na počátku hemodialýzy nastavena například na 36,5 °C, přístroj ji pak automaticky a kontinuálně snižuje tak, aby akumulované teplo bylo z krve přeneseno v dialyzátoru do dialyzačního roztoku. Podle literárních i našich zkušeností se dialyzační roztok postupně ochlazuje až na méně než 35,5 °C (Schneditz et al., 2003; Horáček et al., 2007) a podle očekávání má stejnou teplotu i krev v návratovém venózním setu. Krev v arteriálním setu, která při vyloučení recirkulace v cévním systému odpovídá teplotě „tělesného jádra“, zůstává konstantní po celou dobu dialýzy (Schneditz et al., 2003).

Velikost odevzdaného tepla v mimotělním okruhu (tj. zobrazeném na displeji modulu BTM) je pochopitelně u různých pacientů různá. Je dána nejen produkcí tepla, ale i disipací tepla z organismu (s odhlédnutím na transfer tepla v mimotělním okruhu). Odhadem představuje 6 % klidového energetického výdeje.

V literatuře je často zvažována možnost, že během dialýzy se zvyšuje produkce tepla v organismu. Sami jsme však naměřili nezměněné hodnoty REE v průběhu hemodialýzy, a to jak izotermické ($dT = 0$), tak termoneutrální ($dE = 0$) (Horáček et al., 2007). Hemodialýza sama o sobě tedy neovlivňuje množství tepla, které je potřeba z organismu odstranit k udržení stálé tělesné teploty. Faktorem, který však potřebný energetický transfer významně ovlivňuje, je ultrafiltrace.

Množství tepla, které je při izotermické hemodialýze potřeba z organismu odstranit, je tím vyšší, čím vyšší je ultrafiltrace (Schneditz et al., 2003; Horáček et al., 2007). Toto zjištění poměrně silně, byť nepřímě, ukazuje na vazokonstrikci jako základní odpověď kardiiovaskulárního systému na ultrafiltraci (vazokonstrikce by mohla vysvětlit, proč se akumuluje teplo během hemodialýzy při použití stejné teploty dialyzačního roztoku, jako je teplota krve pacienta před dialýzou).

Ve srovnání se „studenou“ hemodialýzou v klasickém slova smyslu (tj. s použitím konstantní nízké teploty dialyzačního roztoku) je izotermická hemodialýza kvalitativně vyšším krokem, a to právě pro individualizaci tepelných ztrát a minimalizaci výkyvů tělesné teploty. V letošním roce byly publikovány evropské „guidelines“ pro hemodynamickou stabilitu během dialýzy. Tepelnou bilanci procedury považují za velmi významný prvek ochrany

kardiovaskulární reaktivity v odpovědi na ultrafiltraci. Přesto však neuvažují v první linii doporučených opatření o izotermické dialýze, ale o fixním snižování teploty dialyzačního roztoku. Vysvětlení je jednoduché: podle textu doporučení je izotermická dialýza hůře dostupná (tj. doporučení by nebylo možné splnit) (Kooman et al., 2007).

Co tedy rozumíme pojmem izotermická hemodialýza a co o ní v současné době víme?

Izotermická hemodialýza znamená hemodialýzu s mimotělní tepelnou bilancí o takové velikosti, která udrží stálou tělesnou teplotu. Takto minimalizovaná nefyziologičnost hemodialýzy z hlediska teplotní rovnováhy je spojena s vyšší hemodynamickou stabilitou. Izotermická hemodialýza nemá žádná negativa. Spočívá ve využití principu biofeedbacku, kdy je souběžně snímána teplota krve v arteriálním i venózním setu mimotělního oběhu a v dialyzátu, přitom teplota dialyzačního roztoku se automaticky mění tak, aby krev v arteriálním setu měla stále stejnou teplotu. Protože během hemodialýzy organismus stále produkuje teplo, které je třeba odebrat, je krev v návratovém systému chladnější než v setu arteriálním. Tepelná energie během dialýzy proudí nejen v dialyzátoru, resp. v mimotělním oběhu, ale na celkovém transferu se podílí i disipace z kožního povrchu a další fyziologické mechanismy. Pravděpodobně vlivem vazokonstrikce se při ultrafiltraci sníží transfer tepla fyziologickou cestou, pro což svědčí korelace mezi množstvím tepla, které je třeba odebrat při izotermické hemodialýze, a velikostí ultrafiltrace.

Pokud technické vybavení umožní izotermickou hemodialýzu provést, je metodou volby. Pokud však pracujeme s konstantní

teplotou dialyzačního roztoku, jsou dřívější názory o volbě teploty roztoku 37 °C překonány a doporučovaná teplota je maximálně 36,5 °C, eventuálně i méně, klinicky bezpečné jsou i teploty dialyzačního roztoku 35,5–35 °C (Selby et al., 2006; Pizzarelli, 2007).

Stručně shrnuto, teplota dialyzačního roztoku je důležitou komponentou dialyzační strategie, dříve doporučovaná teplota 37 °C je opuštěna (příklon k nižším teplotám). Stabilní tělesnou teplotu zajistí izotermická dialýza, jejíž tepelná bilance je negativní a velikost tepelné energie, kterou je potřeba v mimotělním okruhu odebrat, je úměrná velikosti ultrafiltrace.

VZ MSM 0021620819 „Nábrada a podpora funkce některých životně důležitých orgánů“

Literatura

- Horáček J, Dusilová Sulková S, Fořtová M, et al. Resting energy expenditure and thermal balance during isothermic and thermoneutral haemodialysis: heat production does not explain increased body temperature during haemodialysis. *Nephrol Dial Transplant* 2007;22:3553–3560.
- Kooman J, Basci A, Pizzarelli F, et al. EBP guideline on haemodynamic instability. *Nephrol Dial Transplant* 2007;22(Suppl 2):ii22–ii44.
- Lopot F, Sulková S, Fořtová M, et al. Temperature and thermal balance monitoring and control in dialysis. *Hemodial Int* 2003;7:177–183.
- Maggiore Q, Pizzarelli F, Santoro A, et al. The effects of control of thermal balance on vascular stability in hemodialysis patients. Results of the European randomized clinical trial. *Am J Kidney Dis* 2002;40:280–290.
- Pizzarelli F. From cold dialysis to isothermic dialysis: a twenty five year voyage. *Nephrol Dial Transplant* 2007;22:1007–1012.
- Schneditz D, Ronco C, Levin N. Temperature control by the blood temperature monitor. *Semin Dial* 2003;16:477–482.
- Selby NM. A systemic review of the clinical effects of reducing dialysate fluid temperature. *Nephrol Dial Transplant* 2006;21:1883–1898.
- van der Sande FM, Kooman JP, Burema JH, et al. Effect of dialysate temperature on energy balance during hemodialysis. Quantification of extracorporeal energy transfer. *Am J Kidney Dis* 1999;33:1115–1121.