

# Krążenie pozaustrojowe w operacjach tętniaków aorty

## Extracorporeal circulation in aortal aneurysms operations

Zofia Bartczak<sup>1</sup>, Aleksandra Walasik<sup>1</sup>, Barbara Roehrich<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Uniwersytecki Szpital Kliniczny nr 3 im. dra Seweryna Sterlinga, Łódź

<sup>2</sup>Centrum Serca, Klinika Chirurgii Serca, Duisburg, Niemcy

Kardiochirurgia i Torakochirurgia Polska 2008; 5 (1): 81–87



### Streszczenie

Autorzy omawiają techniki prowadzenia perfuzji przy użyciu krążenia pozaustrojowego w różnego rodzaju operacjach tętniaków aorty. W pracy przedstawiono szereg praktycznych wskazówek dla perfuzjonistów, jak postępować w tych trudnych i długo trwających operacjach.

Praca jest skierowana przede wszystkim do tej grupy zawodowej, która ma bardzo ograniczony dostęp do literatury fachowej w języku polskim.

**Słowa kluczowe:** krążenie pozaustrojowe, perfuzja, hipotermia, tętniak aorty.

### Abstract

Authors present principles of techniques of extracorporeal circulation in various types of aortal aneurysms operations. This paper is intended for perfusionists trained and educated specifically as a member of an open-heart, surgical team.

**Key words:** extracorporeal circulation, perfusion, hypothermia, aortal aneurysm.

### Wstęp

Tętniaki aorty są bardzo często zagrożeniem dla życia pacjenta i wymagają operacji w trybie natychmiastowym. Leczenie tych schorzeń jest bardzo trudne i złożone i wymaga olbrzymiego doświadczenia całego zespołu biorącego udział w tej operacji. Sprawnie wykonana operacja oraz dopasowana do rozległości tętniaka perfuzja ciała pacjenta pozwala na uratowanie życia wielu osobom w tej śmiertelnej w swym naturalnym przebiegu chorobie. Prowadzenie krążenia pozaustrojowego w tych operacjach jest trudne i wymaga szczególnych umiejętności od perfuzjonisty.

### Rys historyczny

Tętniaki po raz pierwszy opisał Galen (129–216) w II wieku n.e. Był on lekarzem olimpijczyków i gladiatorów, a opisane przez niego tętniaki były tętniakami pourazowymi, powstałymi u gladiatorów. Ambroży Pare (1509–1590), chirurg francuski, wynalazca kleszczyków do tamowania krwawień, tzw. peanów, po raz pierwszy opisał tętniaki aorty pochodzenia kiłowego. Leczenie chirurgiczne tętniaków w ubiegłych wiekach polegało na ich obliteracji poprzez podwiązanie naczyń doprowadzających krew lub na ich podktuwanie. Chirurgiczne leczenie tętniaków aorty wstępującej we

współczesnym rozumieniu rozpoczęli Cooley i DeBakey w 1956 roku.

Rozwój techniki krążenia pozaustrojowego, wprowadzenie protez naczyniowych oraz doskonalenie techniki chirurgicznej spowodowały, że zaczęto operować coraz skuteczniej coraz rozleglejsze tętniaki aorty. Jednak mimo tego postępu chirurgiczne leczenie tętniaków aorty wymaga olbrzymiego doświadczenia chirurgicznego oraz bardzo zgranego zespołu ludzi biorących udział w operacji. Nie wolno przy tym jednak zapominać, że są to stany, w których dzisiejsze techniki medyczne i nasza wiedza dotykają granic swych możliwości.

### Etiologia i patogeneza

Tętniakiem nazywamy ograniczone poszerzenie światła tętnicy. Tętniaki mogą powstawać we wszystkich tętnicach oraz w sercu. Ściana tętnicy zbudowana jest z 3 warstw: błony wewnętrznej (śródbłonna), błony środkowej i błony zewnętrznej (przydanki). Za utrzymanie struktury tętnicy odpowiedzialne są białka: kolagen i elastyna, zlokalizowane w błonie środkowej i przydancie. Kolagen (głównie typu I i III) jest produkowany przez mięśnie gładkie ściany tętnicy. Syntetyzowany jest przez całe życie. Jego włókna są ma-

**Adres do korespondencji:** Zofia Bartczak, Dział Perfuzji, Uniwersytecki Szpital Kliniczny nr 3 im. dra Seweryna Sterlinga Uniwersytetu Medycznego w Łodzi, 91-425 Łódź, ul. Sterlinga 1/3, tel./faks +48 42 633 15 58, e-mail: zofia.bartczak@wp.pl

to podatne na rozciąganie i stanowią szkielet naczyń tętniczego. Elastyna natomiast jest białkiem bardzo rozciągliwym, co sprawia, że naczynie tętnicze może ulegać poszerzeniu na skutek dużej objętości krwi pompowanej przez serce, a następnie wracając do swojej prawidłowej średnicy, powodować przesunięcie jej do dalszych partii ciała. Dzięki równowadze zachowanej pomiędzy udziałem kolagenu i elastyny w ścianie naczyń tętniczego ulega ono poszerzeniu i powraca do pierwotnego wymiaru, zgodnie z fazami skurczu i rozkurczu mięśnia sercowego. W przeciwieństwie do kolagenu elastyna nie jest syntetyzowana w ścianie aorty u osób dorosłych. Okres półtrwania tego białka wynosi 70 lat. Na skutek działania siły mechanicznej w postaci ciśnienia tętniczego dochodzi do stopniowego poszerzenia światła tętnicy i powstawania tętniaka. Występowanie tętniaków w głównej mierze jest związane z wiekiem chorych. Pomijając niewielką liczbę pacjentów, u których poszerzenie naczyń tętniczych jest uwarunkowane genetycznie, ryzyko wystąpienia tętniaka jest wprost proporcjonalne do wieku pacjenta.

Tętniaki dzielimy na tętniaki prawdziwe (łac. *aneurysma verum*), gdy poszerzenie obejmuje wszystkie warstwy ściany tętnicy, tętniaki rzekome (łac. *aneurysma spurium*), gdy ściana tętnicy pęka i krew wylewa się do tkanki otaczającej, która ulega przebudowie i stanowi ścianę tętniaka, oraz tętniaki rozwarstwiające (łac. *aneurysma dissecans*), gdy ściana tętnicy pęka częściowo i krew wylewa się śródściennie i rozwarstwia ścianę tętnicy. Czynniki usposabiającymi są: nadciśnienie tętnicze, palenie papierosów, dyslipidemia, ciąża, uzależnienie od kokainy, amfetaminy, dwupłatkowa zastawka aortalna, koarktacja aorty, schorzenia tkanki łącznej, wrodzone fibrillinopatie (zespół Marfana, zespół Ehlers-Danlosa), schorzenia zapalne naczyń (*giant cell arteritis*, *Takayasu arteritis*, kiła), urazy deakceleracyjne (wypadki samochodowe, samolotowe, upadki z wysokości), czynniki jatrogenne, cewnikowanie serca, interwencje naczyniowe, chirurgia serca.

Leczeniu kardiochirurgicznemu podlegają tętniaki serca, tętniaki aorty wstępującej, tętniaki łuku aorty i tętniaki aorty zstępującej.

Tętniaki rozwarstwiające aorty dzieli się w zależności od miejsca wystąpienia rozwarstwienia i w zależności od rozległości rozwarstwienia. Obecnie używa się zamiennie podziału wprowadzonego przez DeBakeya oraz klinikę w Stanford.

Typ I wg DeBakeya obejmuje tętniaki, gdzie rozwarstwienie dotyczy aorty wstępującej, łuku aorty oraz aortę zstępującą.

Typ II wg DeBakeya obejmuje tętniaki, gdzie rozwarstwienie dotyczy tylko aorty wstępującej.

Typ III wg DeBakeya dotyczy tętniaków, gdzie rozwarstwienie obejmuje tylko aortę zstępującą. W zależności od rozległości rozwarstwienia w zakresie aorty zstępującej rozróżnia się jeszcze podtyp IIIa (sięgający od t. podobojczykowej lewej do przepony) i IIIb (sięgający od t. podobojczykowej lewej poniżej przepony).

Według podziału kliniki w Stanford, rozróżniamy 2 typy tętniaków rozwarstwiających aorty – typ A (DeBakey I oraz II) oraz typ B (DeBakey III).

## Podłączenie krążenia pozaustrojowego

Sposób podłączenia krążenia pozaustrojowego ma bardzo istotne znaczenie dla zachowania perfuzji narządów oraz wyniku operacji. Zależy to od rozległości tętniaka, rodzaju wykonywanej operacji oraz doświadczenia kardiochirurga. Perfuzjonista powinien to omówić zawsze wspólnie z kardiochirurgiem i anestezjologiem przed operacją. Po przygotowaniu pola operacyjnego, a przed nacięciem skóry, należy podać drenaż aparatu do krążenia pozaustrojowego; dotyczy to linii tętniczej, linii żyłnej, ssania wieńcowego oraz drenów do podania kardioplegii. Aparat do krążenia pozaustrojowego musi być przygotowany do natychmiastowego użycia.

O czasie podania heparyny decyduje kardiochirurg. Linia tętnicza podłączana jest do różnych tętnic (może to być aorta, t. podobojczykowa, t. szyjna wspólna, t. pachowa, t. udowa). Perfuzję można rozpocząć przez t. udową, a następnie prowadzić ją przez protezę aorty wstępującej, co wymaga odpowiedniej konfiguracji drenów maszyny płuc-serca. Najczęściej do tych tętnic przyszywane są protezy, do których wprowadzane są kaniule tętnicze. Po wprowadzeniu tych kaniul do światła protezy i ich umocowaniu perfuzjonista powinien przetoczyć ok. 100 ml płynu z maszyny, aby sprawdzić, czy kaniula jest drożna i czy perfundowane jest właściwe światło naczynia tętniczego. W tym czasie należy zwracać baczną uwagę na ciśnienie w linii tętniczej oraz na ciśnienie systemowe, które z reguły po szybkim przetoczeniu 100 ml płynu z maszyny wzrasta o kilka mmHg. Ryzyko kaniulacji niewłaściwego światła aorty lub naczynia tętniczego w przypadku tętniaków rozwarstwiających jest bardzo duże. Może się zdarzyć, że w przypadku skaniulowania tętnicy lub aorty śródściennie następuje nadmierny wzrost ciśnienia w linii tętniczej i dochodzi do dalszego rozwarstwienia, co z reguły widzi chirurg, obserwując w tym czasie skaniulowane naczynie. Zdarza się, że skaniulowanie tzw. „światła fałszywego” naczynia przebiega bezobjawowo i stwierdza się to dopiero w dalszym czasie operacji lub podczas sekcji.

Przekrój używanych kaniul tętniczych powinien zapewnić możliwość przetoczenia odpowiedniego rzutu pompy tętniczej, kaniule te nie mogą ulegać zaginaniu. Dlatego też warto używać kaniul zbrojonych, które są jednak znacznie droższe od kaniul niezbrojonych.

Wybierając kaniule tętnicze, można kierować się następującymi rozmiarami kaniul w zależności od powierzchni ciała pacjenta:

- kaniula o rozmiarze 18 F – do kaniulacji pacjenta o powierzchni ciała do 1,7 m<sup>2</sup>,
- kaniula o rozmiarze 20 F – do kaniulacji pacjenta o powierzchni ciała do 2,0 m<sup>2</sup>,
- kaniula o rozmiarze 22 F – do kaniulacji pacjenta o powierzchni ciała do 2,5 m<sup>2</sup>.

Kaniulacja żylna nie przedstawia z reguły większego problemu. Z reguły kaniulowane są obie żyły główne osobno, co umożliwia użycie wstecznej perfuzji mózgu przez kaniulę umieszczoną w żyłę głównej górnej lub kaniulowany jest prawy przedsionek jedną kaniulą (tzw. *Two Stage Cannula*), co prowadzi niekiedy przy manipulacjach na ser-

cu do zagięcia żyły głównej górnej i zmniejszenia napływu krwi żyłnej do oksygenatora. Czasem w przypadku olbrzymich tętniaków aorty wstępującej, uciskających na prawy przedsionek i żyły główne, kaniulacja żył głównych jest trudna lub niemożliwa. Wówczas można skaniulować tętnicę płucną lub też żyłę udową i w ten sposób rozpocząć perfuzję. Dlatego też należy zwracać uwagę na spływ żylny.

Ciśnienie tętnicze monitorowane jest z reguły przez nakłucie lewej tętnicy promieniowej. Zapewnia to dobry pomiar ciśnienia nawet przy klemowaniu w zakresie łuku aorty. Dodatkowy pomiar ciśnienia przez nakłucie tętnicy udowej pozwala na jeszcze dokładniejszą ocenę hemodynamiki w czasie perfuzji.

Temperatura pacjenta mierzona jest z reguły w odbyciu. Jest to pomiar wystarczający do oceny temperatury pacjenta w tych operacjach, co nie znaczy, że mierzenie temperatury w innych miejscach jest błędem, ale wymaga to odpowiedniego doświadczenia.

Otwarcie klatki piersiowej w czasie operacji tętniaków aorty jest zawsze momentem krytycznym i wymaga współpracy kardiochirurga, anestezjologa i perfuzjonisty. Istotną rzeczą w tym okresie jest odpowiednie sterowanie farmakologiczne ciśnieniem tętniczym przez anestezjologa, tak aby unikać zwwyżek ciśnienia. Ssanie wieńcowe musi być całkowicie sprawne. Warto też zawsze pomyśleć o wczesnym podaniu heparyny.

Pomimo tych wszystkich zabiegów tętniaki, niestety, pękają też w czasie torakotomii i może zdarzyć się, że poziom krwi w klatce piersiowej przekroczy poziom skóry. Z reguły tego rodzaju masywne krwawienia są do opanowania, gdy się możliwie wcześniej o tym pomyśli i odpowiednio do tego przygotowuje – zachowanie spokoju jest jedyną drogą do sukcesu w tych sytuacjach.

Perfuzję rozpoczynamy, powoli zwiększając rzut pompy tętniczej i zwracając baczną uwagę na zachowania się ciśnienia w linii tętniczej, ciśnienia tętniczego oraz spływu żylnego.

Niekiedy zdarza się, że dodatkowo niedomykalna jest zastawka aortalna i po rozpoczęciu perfuzji dochodzi do znacznego obciążenia objętościowego lewej komory i jej znacznego rozdęcia. Efekt ten pogłębia hipotermia oraz zwiększony opór naczyń obwodowych. Prowadzi to z reguły do wystąpienia migotania komór. Dlatego też wczesne założenie tzw. *ventu* do lewej komory w tych przypadkach pozwala na częściowe odbarczenie lewej komory.

Kardioplegię podajemy rutynowo, z tym że należy jednak pomyśleć o tym, że czas zamknięcia aorty, a tym samym niedokrwienia mięśnia serca, jest znacznie dłuższy niż przy innych operacjach i protekcję mięśnia serca należy wykonać wyjątkowo starannie. Metodami ograniczającymi uszkodzenia mięśnia sercowego w kardiochirurgii jest zarówno hipotermia, jak i kardioplegia.

Wybór rodzaju protekcji serca zależy od standardów panujących w danym ośrodku kardiochirurgicznym. Głęboka hipotermia pozwala na ograniczenie ilości podawanej kardiopleginy, której wielokrotne dawki wypływają z mięśnia sercowego substraty potrzebne do resyntezy wysoko-

energetycznych fosforanów w okresie reperfuzji. To z kolei zmniejsza częstość występowania zaburzeń rytmu i niewydolności mięśnia sercowego w okresie pooperacyjnym powstającym na skutek niedotlenienia.

Dalszą perfuzję prowadzimy w sposób rutynowy, rozpoczynając chłodzenie pacjenta, czyli stosując hipotermię. Terminem hipotermia określa się obniżenie ciepłoty ciała lub narządu poniżej temperatury 36,6°C. Podstawowym celem hipotermii jest:

- zmniejszenie zapotrzebowania komórek na tlen,
- zwolnienie metabolizmu komórkowego.

Obniżenie temperatury rzędu kilku stopni następuje wskutek ekspozycji rozległego pola operacyjnego. Wymuszoną ogólnoustrojową hipotermię uzyskujemy za pomocą różnych metod chłodzenia, takich jak:

- powierzchniowe chłodzenie – za pomocą specjalnych materacy, przez które przepływa oziębiona woda,
- wymiennikiem ciepła, połączonym z krążeniem pozaustrojowym wbudowanym do oksygenatorów i połączonym z urządzeniem chłodząco-grzewczym. Wymienniki te powinny być zawsze wbudowane po stronie „żyłnej” oksygenatora, co jest istotne o tyle, że w czasie ogrzewania krwi tworzące się niekiedy pęcherzyki gazu zostają wyfiltrowane.

W zależności od stopnia obniżenia temperatury centralnej hipotermię dzieli się na:

- płytką – do 32°C;
- umiarkowaną – do 28°C;
- głęboką – do 18°C;
- bardzo głęboką – poniżej 18°C.

Czas bezpiecznego zatrzymania krążenia w zależności od temperatury przedstawia się następująco:

- dla temp. 30°C wynosi 10 min;
- dla temp. 22°C wynosi 20 min;
- dla temp. 20°C wynosi 30 min;
- dla temp. 16°C wynosi 40 min;
- dla temp. 15°C wynosi do 1 godz.;
- dla temp. 10°C wynosi 80 min;
- dla temp. 6°C wynosi do 160 min.

Krążenie pozaustrojowe z użyciem głębokiej hipotermii i zatrzymaniem krążenia określa się jako HCA (ang. *hypothermic circulatory arrest*). Stosuje się ją najczęściej w operacjach kompleksowych wad wrodzonych u noworodków i niemowląt, gdzie zatrzymanie krążenia i usunięcie kaniul z małego pola operacyjnego poprawia dostęp do struktur serca. W operacjach u dorosłych technika HCA zarezerwowana jest dla operacji tętniaków i rozwarstwień aorty wstępującej i łuku aorty.

Obniżenie temperatury prowadzi do szeregu zaburzeń w organizmie człowieka, takich jak:

- zaburzenia świadomości – występują po schłodzeniu do temp. 32,5°C; przy 30°C dochodzi do zaburzenia zdolności organizmu do utrzymania stałej temperatury;
- przy temp. 28,5°C dochodzi do migotania przedsionków;
- w temp. 25°C dochodzi do migotania komór;

- poniżej 25°C dochodzi do śpiączki i wygaszenia czynności odruchowej OUN.

Główne zmiany fizjologiczne występujące w hipotermii to:

- obniżenie aktywności metabolicznej i zużycia tlenu z jednoczesnym ułatwieniem uwalniania tlenu przez hemoglobinę (z powodu przesunięcia krzywej dysocjacji w lewo);
- zwiększenie rozpuszczalności tlenu, dwutlenku węgla i anestetyków wziewnych oraz innych leków we krwi;
- zmiany hematologicznych i reologicznych właściwości krwi, które są niekorzystnym efektem ubocznym hipotermii; obniżenie temp. o 1°C powoduje zwiększenie lepkości krwi o 2%, dochodzi do wydłużenia czasu krwawienia oraz obniżenia aktywności fibrynogenu;
- zmiany w układzie sercowo-naczyniowym, polegające głównie na wzroście oporu obwodowego, zwolnieniu rytmu serca i niespecyficznych zmianach w EKG;
- obniżenie fizjologicznych funkcji narządów wewnętrznych (głównie nerek i wątroby), spowodowane obniżeniem przepływu tkankowego, a co za tym idzie spowolnieniu metabolizmu leków, glukozy oraz zmniejszeniem diurezy;
- hipotermia, która jest silnym bodźcem do uwalniania katecholamin w odpowiedzi na niską amplitudę tętna i stymulację układu alfa-adrenergicznego; początkowo obniżone ciśnienie tętnicze krwi stopniowo wzrasta i stabilizuje się; wzrost poziomu wazopresyny, a także aktywacja układu renina-angiotensyna-aldosteron powodują obkurczenie naczyń krwionośnych i stopniowy wzrost ciśnienia tętniczego krwi, jednocześnie wywołując wzrost oporu naczyniowego; stały poziom lub paradoksalny wzrost przedsiorkowego hormonu natriuretycznego ANF (pomimo braku działania najsilniejszego bodźca do uwalniania ANF, jakim jest rozciągnięcie przedsiorków) decyduje o wielkości diurezy podczas ECC i po zabiegu;
- w czasie krążenia pozaustrojowego obserwowany jest stały spadek pH, stopniowe nasilenie metabolizmu beztlenowego, wzrost zawartości mleczanów oraz wzrost stężenia sodu wewnątrzkomórkowego;
- zaburzenia przepływu w organach peryferyjnych (np. uszy, nos, palce), gdzie może dojść do martwicy z powodu niedokrwienia.

### Ochrona mózgu

Mózg posiada autoregulację miogenną i metaboliczną, która utrzymuje przepływ mózgowy na stałym poziomie, w granicach średniego ciśnienia perfuzyjnego 50–140 mmHg. Szczególnie wrażliwe na niedotlenienie jest mózgowie chorych na nadciśnienie, u których zakres autoregulacji jest zmieniony i wymaga wyższych ciśnień perfuzyjnych.

Niezwykle istotne jest miejscowe ciśnienie parcjalne dwutlenku węgla ( $p\text{CO}_2$ ). Wzrost  $p\text{CO}_2$  powoduje rozszerzenie łożyska naczyniowego i wzrost przepływu, natomiast spadek  $p\text{CO}_2$  powoduje obkurczenie łożyska naczyniowego i spadek przepływu mózgowego krwi.

Mózg człowieka w warunkach normotermii otrzymuje 15% (tj. ok. 750–900 ml) całkowitego rzutu minutowego serca, co odpowiada zużyciu 20% spoczynkowego zapotrzebowania tlenowego organizmu. 40–60 ml/min/100 g to

średni przepływ przez tkankę mózgową, a obniżenie tego przepływu progowego poniżej 10 ml/min/100 g w temp. 37°C prowadzi do nieodwracalnej śmierci neuronów. W warunkach hipotermii próg ten jest znacznie niższy i jest on różny dla poszczególnych części mózgu (zużycie tlenu przez cały mózg wynosi 3,5 ml/min/100 g, a w istocie szarej jest dwukrotnie wyższe).

Operacje łuku aorty wykonywane są z użyciem głębokiej hipotermii z zatrzymaniem krążenia. Technika ta polega na doprowadzeniu temperatury chorego do 20°C mierzonej w odbycie i zatrzymaniu krążenia pozaustrojowego. Następnie chorego układa się w pozycji Trendelenburga i zbiera się krew pacjenta do zbiornika żylnego oksygenatora poprzez odkleszczoną linię żylną. Krew znajdująca się w aparacie do krążenia pozaustrojowego winna krążyć poprzez połączenie (tzw. *shunt*) między linią tętniczą a żylną, można ją też nieco podgrzać, ale tak, aby jej tempertura nie była wyższa od aktualnej temperatury pacjenta o ok. 8°C. Krew ta powinna mieć też odczyn lekko zasadowy, by zneutralizować kwasicę narastającą w czasie zatrzymania krążenia w ciele pacjenta (przez podanie  $\text{NaHCO}_3$  lub obniżenie  $p\text{CO}_2$ ).

W przypadku kiedy czas zatrzymania przepływu mózgowego może znacznie przekroczyć 1–1,5 godz., wykorzystuje się tzw. techniki niskich przepływów (ang. *low flow perfusion*). Jedną z nich jest selektywna perfuzja mózgową (ang. *antegrade selective cerebral perfusion*, ASCP). Po raz pierwszy współcześnie wykonał ją Bachet. Perfundował on pień ramiennie-główny i lewą tętnicę szyjną wspólną krwią o temp. 6–12°C i przepływie 100–600 ml/min.

Jedną z metod jest prowadzenie ASCP jedynie przez pień ramiennie-główny lub jedynie przez lewą tętnicę szyjną wspólną. Mózg perfundowany jest krwią o temp. 18–20°C. Przepływ krwi powinien wynosić 10 ml/kg/min. Lewa tętnica podobojczykowa jest zakleszczona, a ciśnienie krwi w tętnicy promieniowej prawej powinno oscylować w granicach 40–70 mmHg.

Krążenie ogólnoustrojowe możemy prowadzić przy użyciu pompy centryfugalnej, a krążenie mózgowie stosując separowaną pompę rolkową. Drugą możliwością jest prowadzenie krążenia ogólnoustrojowego za pomocą pompy rolkowej, a po zatrzymaniu krążenia po osiągnięciu temperatury 18–20°C wykorzystanie tej samej pompy rolkowej do wybiórczej perfuzji mózgu. Jeżeli naczynia domózgowe perfundowane są selektywnie, ciśnienie perfuzji powinno wynosić od 30 do 60 mmHg, a przepływ od 0,3 do 0,35 l/min/m<sup>2</sup>.

Do zalet ASCP należą:

- fizjologiczny kierunek przepływu krwi;
- znaczne wspomaganie metabolizmu mózgowego;
- lepsza wizualizacja pola operacyjnego (powrót krwi żyłą główną górną).

Do wad ASCP należy wysokie ryzyko wystąpienia zatorów powietrznych i miażdżycowych.

### Wsteczna perfuzja mózgową (ang. *retrograde cerebral perfusion*, RCP)

Pierwsze udane operacje tętniaków rozwarstwionych łuku aorty z zastosowaniem RCP wykonał i opisał Ueda.

Podczas RCP mózg jest perfundowany poprzez żyłę główną górną zimną krwią o temp. 18–20°C. Jest to możliwe dzięki zamontowaniu przed przystąpieniem do krążenia połączenia między linią tętniczą a linią żylną. Perfuzję wykonuje się pod ciśnieniem 20–30 mmHg. Przepływ krwi waha się w granicach 100–500 ml/min i zależy przede wszystkim od podatności ścian żył. Podczas RCP aorta jest otwarta, a krew opuszcza krążenie mózgowe naczyniami odchodzącymi od łuku aorty i musi być odprowadzana (wentowana) do maszyny płuco-serce.

Do zalet RCP należą:

- zapewnienie oziębiania tkanek i dostarczanie substancji odżywczych;
- zapewnienie wyłukiwania produktów metabolizmu;
- wydłużanie bezpiecznego czasu zatrzymania krążenia;
- poprawa zapisu EEG;
- zmniejszanie ryzyka embolizacji blaszkami miażdżycowymi pochodzącymi z aorty.

Do wad RCP należy stopniowo narastający obrzęk mózgu, którego tempo zależy od ciśnienia perfuzyjnego. Im wyższe ciśnienie, tym bardziej znaczący wzrost wody w tkance mózgowej.

### Krążenie pozaustrojowe a hipotermia

Reakcje organizmu podczas operacji w krążeniu pozaustrojowym są wypadkową działania hipotermii, leków krążeniowych i anestetycznych oraz wpływu samego krążenia pozaustrojowego na składniki krwi.

Temperaturę organizmu w trakcie krążenia pozaustrojowego dyktują potrzeby wynikające z konieczności ochrony, przede wszystkim mózgu, a także serca oraz wytworzenie optymalnych warunków w polu operacyjnym.

Podczas operacji w hipotermii istotne jest precyzyjne monitorowanie temperatury. Praktyczne zastosowanie znalazł pomiar temperatury w:

- przełyku – wykładnik schłodzenia serca;
- odbycie (temp. centralna) – określa stopień schłodzenia narządów trzewnych i całego ustroju;
- jamie nosowo-gardłowej – temp. zbliżona do temp. śródczaszkowej;
- uchu – zbliżona do temp. mózgu;
- na skórze – świadczy o temp. tkanek obwodowych;
- przegrodzie międzykomorowej serca – świadczy o jego protekcji.

Szybkość schładzania i ogrzewania różnych organów i tkanek organizmu jest zmienna i zależy od wielkości przepływu minutowego. Tkanki i narządy o dużej masie, jak np. mięśnie szkieletowe lub tkanka tłuszczowa, wymagają długiego chłodzenia i ogrzewania, natomiast małe narządy o stosunkowo dużym przepływie schładzają i ogrzewają się szybko. Są to narządy, tj. serce, nerki, nadnercza. Na bezpieczeństwo stosowanej hipotermii wpływa również zmienna wrażliwość tkanek na niedotlenienie w zależności od temperatury.

Chłodzenie powinno odbywać się nie szybciej niż 1°C/min. Ogrzewanie powinno odbywać się nie szybciej niż 1°C/3–5 min.

Maksymalna temp. wody w wymienniku ciepła nie powinna przekraczać 42,5°C, natomiast różnica temperatur między krwią a wodą chłodzącą powinna wynosić maksymalnie 7–10°C.

Zbyt szybkie prowadzenie procesów chłodzenia i ogrzewania prowadzi do:

- nierównego i nieadekwatnego schłodzenia poszczególnych struktur mózgu, które są istotnymi przyczynami zaburzeń neurologicznych;
- termicznego uszkodzenia krwinek na granicy krew-powierzchnia wymiennika;
- złej perfuzji tkankowej, zamknięcia części mikrokrążenia, narastania kwasicy metabolicznej, uszkodzenia wielu narządów;
- uwalniania pęcherzyków powietrza przy zbyt szybkim ogrzewaniu.

Pacjent, u którego doszło do centralizacji krążenia, będzie się źle schładzał, a co za tym idzie, będzie u niego narastała kwasica metaboliczna świadcząca o złej perfuzji tkankowej. Można poprawić tę sytuację, podając do krążenia izofluran, sevofluran lub inne leki rozkurczające łożysko naczyniowe, np. NTG.

Utrzymanie prawidłowych parametrów równowagi kwasowo-zasadowej odgrywa zasadniczą rolę w przypadku hipotermii. Zmiana równowagi kwasowo-zasadowej wywołana hipotermią i jej wpływ na funkcję narządów nie są jeszcze dokładnie poznane. Podobnie nie ma do tej pory zgody co do tego, czy parametry badania gazometrycznego, mierzone przez aparat w temp. 37°C, należy korygować do aktualnej temperatury pacjenta czy też nie.

Z tego powodu parametry równowagi kwasowo-zasadowej w czasie operacji przebiegającej w hipotermii można prowadzić wg tzw. protokołu pH-stat lub alfa-stat. W protokole pH-stat, niezależnie od głębokości hipotermii, utrzymywany jest stały poziom pH=7,4. Wahania pH są niwelowane przez dodawanie do płynu perfuzyjnego wodorowęglanu sodu. Dawniej stosowano także podawanie CO<sub>2</sub> do oksygenatora, by utrzymać PaCO<sub>2</sub> ok. 40 mmHg. W protokole pH-stat poziom przepływu mózgowego jest wprost proporcjonalny do ciśnienia krwi, natomiast mechanizmy autoregulacyjne krążenia mózgowego zostają wyłączone.

Powstająca hiperkapnia w modelu pH-stat wywołuje rozkurcz łożyska naczyniowego, co zwiększa przepływ mózgowy 1,5–2-krotnie. Ciśnienie parcjale dwutlenku węgla oraz stężenie jonów H<sup>+</sup> odgrywają zasadniczą rolę w regulacji przepływu mózgowego zarówno w warunkach normo-, jak i hipotermii. W protokole alfa-stat mamy do czynienia z postępowaniem ignorującym zmiany pH.

Utrzymanie odpowiedniego poziomu pH jest realizowane przez endogenne bufory białkowe.

W schemacie alfa-stat poziom przepływu mózgowego obniża się, występują mniejsze zaburzenia autoregulacji krążenia mózgowego oraz rzadziej występują pooperacyjne incydenty neurologiczne.

Ostatnie badania wykazują, iż optymalnym sposobem utrzymania pH podczas głębokiej hipotermii jest połączenie

obu protokołów. Ale należy tutaj zauważyć, że nie ma jednoznacznych badań wskazujących na istotne różnice w zakresie stanu klinicznego pacjentów operowanych z użyciem tych schematów. Pierwszą fazę chłodzenia należy prowadzić wg protokołu pH-stat, a następnie na kilka minut przed zatrzymaniem krążenia przejść do protokołu alfa-stat i prowadzić pacjenta dalej wg tego schematu w czasie ogrzewania.

Wraz z obniżaniem temperatury ciała pacjenta maleje zapotrzebowanie tlenowe; w zależności od tego można regulować rzut pompy tętniczej i przepływu gazów. Fizjologicznie indeks sercowy, czyli rzut minutowy naszej pompy biologicznej, czyli serca (ang. *cardiac index*, CI), wynosi 2,7–3,2 l/min/m<sup>2</sup>. Przy zastosowaniu krążenia pozaustrojowego rzutu pompy tętniczej może on zostać bezpiecznie zmniejszony do 2,2–2,4 l/min/m<sup>2</sup> w temperaturze 36°C, w temp. 28°C do 1,6 l/min/m<sup>2</sup>, a w temp. 20°C do 1,2 l/min/m<sup>2</sup>.

Średnio rzut pompy tętniczej jest obniżany podczas ECC o 0,1 l/min/m<sup>2</sup>/1°C.

Wraz z obniżaniem temperatury ciała prawie liniowo maleje zapotrzebowanie tlenowe organizmu. Hipotermia wpływa ochronnie na mózg poprzez redukcję zużycia tlenu i glukozy.

W bardzo niskich temperaturach metabolizm komórkowy zależy przede wszystkim od ilości tlenu rozpuszczonego w osoczu, który w miarę oziębiania wzrasta. Dlatego też w miarę obniżania temperatury stopniowo pozwalamy sobie na zmniejszenie rzutu pompy, a co za tym idzie przepływu gazów i stężenia tlenu w nich zawartej.

W fazie ogrzewania natomiast obserwowano jednak zwiększone zapotrzebowanie metaboliczne, co również musimy uwzględnić, regulując rzut pompy i przepływ gazów.

### Hemodylucja a hipotermia

Operacje w krążeniu pozaustrojowym, zarówno te standardowe, jak i te w hipotermii, wykonuje się z użyciem hemodylucji, tzn. z obniżeniem hematokrytu, np. z 40% do 20%, co jest skutkiem rozcieńczenia krwi krążącej pacjenta przez objętość krystaloidu i koloidu wypełniającego aparat do krążenia pozaustrojowego.

W wypadku głębokiej hipotermii wskazane jest rozcieńczenie krwi takie, aby wartość hemoglobiny wynosiła 6–7 g%, co zapobiega agregacji krwi w niskiej temperaturze.

Hemodylucja zmniejsza lepkość krwi, umożliwia odpowiednią dystrybucję przepływu w tkankach oraz zapobiega wewnątrznaczyniowemu wykrzepianiu w mikrokrążeniu i minimalizuje uszkodzenia elementów morfotycznych krwi.

Nie bez znaczenia jest również utrzymanie właściwego ciśnienia koloidosmotycznego, które w wypadku zastosowania tak dużej hemodylucji spada i w połączeniu ze wzrostem przepuszczalności naczyń włosowatych spowodowanym aktywacją mediatorów zapalnych, zmianą ciśnień w naczyniach włosowatych (ochłodzenie organizmu) powoduje, że płyny zaczynają przechodzić do przestrzeni śródmiąższowej, powodując obrzęk tkanek.

Obrzęki natomiast powodują zmniejszenie powrotu żylnego, a w konsekwencji prowadzą do kwasicy metabolicznej.

Istotne jest więc przygotowanie odpowiedniego *primingu*, który będzie zapobiegał przesiąkaniu płynów do tkanek, np. 1000 ml voluvenu + 500 ml PWE.

Uzasadnione jest również dodanie 20% albumin (ok. 200 ml) w celu utrzymania odpowiedniego ciśnienia onkotycznego i zachowanie równowagi między ciśnieniem onkotycznym krwi i hydrostatycznym w naczyniach włosowatych.

W razie konieczności dodawania płynów do krążenia pozaustrojowego proponujemy zastosowanie voluvenu, dla którego bezpieczna dawka dobową wynosi 50 ml/kg/dobę u dorosłych. W okresie ogrzewania pacjenta możemy stopniowo zmniejszać stopień hemodylucji poprzez zastosowanie hemofiltracji.

### Monitorowanie czynności mózgu podczas hipotermii

Operacje wykonywane w głębokiej hipotermii wymagają precyzyjnego monitorowania czynności ośrodkowego układu nerwowego. Aby właściwie ocenić stan energetyczny mózgu i jego aktywność elektryczną, należy rejestrować w sposób ciągły temperaturę (jama nosowo-gardłowa, przełyk) oraz zapis EEG. Wartość potencjału spoczynkowego neuronu i jego amplituda podczas hipotermii ulegają obniżeniu. Czas trwania potencjału wydłuża się, a szybkość przewodzenia we włóknach nerwowych ulega zwolnieniu. Według niektórych chirurgów, schładzanie powinno być kontynuowane co najmniej do chwili wystąpienia ciszy elektrycznej w zapisie EEG. Pomocniczym wskaźnikiem odpowiedniego schłodzenia mózgu jest poziom saturacji krwi pobranej z żyły szyjnej, który powinien wynosić ok. 90–95%. Niższe wartości saturacji sugerują, iż mózg jest nadal aktywny metabolicznie i wymaga dalszego oziębiania. W fazie ogrzewania należy wziąć pod uwagę, że mózg posiada własną szybkość regeneracji czynności elektrycznej, a stopień jej powrotu w dużej mierze zależy od tempa ogrzewania.

W wypadku zastosowania technik niskich przepływów w warunkach głębokiej hipotermii znalazło zastosowanie przezczaszkowe badanie dopplerowskie, które jest nieinwazyjną metodą monitorowania przepływu mózgowego. Szybkość przepływu w tętnicy środkowej mózgu ulega redukcji podczas hipotermii proporcjonalnie do spadku poziomu metabolizmu. Przy ciśnieniu perfuzyjnym 7–9 mmHg przestaje być rejestrowany dopplerowski sygnał przepływu. Ogromne znaczenie ma tu również neuroprotektoryny wpływ anestetyków, który zasadniczo polega na zmniejszeniu mózgowego zużycia tlenu i zwiększeniu dostarczania tlenu do tkanki mózgowej (np. thiopental).

### Kontrola krzepnięcia krwi

W trakcie procesu oziębiania dochodzi do wzmożonej krzepliwości krwi. Hipotermia średnia i głęboka powodują wzrost lepkości krwi, zwiększenie oporów naczyniowych na obwodzie oraz aglutynację krwinek czerwonych. Czynniki te sprzyjają śródnaczyniowemu wykrzepianiu. Dlatego też konieczne jest kontrolowanie poziomu heparynizacji przez częsty pomiar (co 20–30 min) aktywowanego czasu krzep-

nięcia krwi (ACT). Poziom ACT w trakcie krążenia pozaustrojowego powinien utrzymywać się powyżej 480 s.

Udowodniono indywidualną wrażliwość na heparynę, która w różnym stopniu i z różną prędkością inaktywuje się i wydala z moczem w czasie od 1 do 4 godz. od chwili podania.

W czasie ogrzewania chorego następuje szybki spadek liczby płytek krwi, stężenia fibrynogenu oraz protrombiny. Wzmaga się fibrynliza, może również wystąpić uwalnianie się endogennej heparyny (co może mieć wpływ na późniejsze krwawienia pooperacyjne).

### **Kontrola diurezy**

Wiadomo, że wraz z obniżeniem ciśnienia tętniczego krwi spada przepływ i wydzielanie nerkowe. W hipotermii o temp. 30°C przepływ krwi tętniczej przez nerki stanowi ok. 50% wartości wyjściowych. Diureza zmniejsza się w zależności od pogłębiania się spadku temperatury ciała. Uruchomienie krążenia ogólnoustrojowego i wzrost ciśnienia tętniczego po zatrzymaniu krążenia w głębokiej hipotermii oraz ogrzewanie chorego powodują stopniowy powrót czynności wydzielniczej nerek. Ewentualnie w razie konieczności stosuje się leki wymuszające diurezę, takie jak: furosemid, 20-procentowy mannitol, dopamina w dawce diuretycznej. W warunkach normotermii o prawidłowości perfuzji oprócz wyników badania RKZ świadczy diureza

godzinowa. Jeśli przekracza 1 ml/kg/godz., można sądzić, że perfuzja tkankowa jest wystarczająca.

Operacje tętniaków aorty w głębokiej hipotermii stanowią duże zagrożenie dla życia chorego i wymagają ogromnego zaangażowania zarówno ze strony chirurga, anestezjologa, jak i perfuzjonisty. Dla perfuzjonisty są wyzwaniem największym spośród wszystkich zabiegów prowadzonych w krążeniu pozaustrojowym. Wymagają dużego doświadczenia oraz przygotowania merytorycznego i technicznego.

Problemem w Polsce jest brak podręczników dla perfuzjonistów i szkoły, w której mogliby poszerzać swoje wiadomości. Autorzy pracy mają jednak nadzieję, że stałe publikowanie artykułów poruszających różne problemy pracy perfuzjonistów przyczyni się do dalszego ich szkolenia i ułatwi im pracę.

Celem naszej wspólnej pracy było zebranie wszystkich niezbędnych informacji na temat hipotermii oraz technik prowadzenia krążenia w operacjach tętniaków aorty ze wszystkich dostępnych źródeł oraz doświadczeń własnych i zaprezentowanie ich zainteresowanym osobom.

Autorzy zapewniają też, że drogą elektroniczną (zofia.bartczak@wp.pl) odpowiedzą na każde pytanie oraz prześlą każdą pozycję literatury na wskazany temat oraz podzielą się chętnie swym doświadczeniem perfuzyjno-kardiochirurgicznym.