

Porównanie wybranych parametrów morfometrycznych i czynnościowych obu komór serca i zastawek tętnic głównych u pacjentów ze złożoną wadą aortalną po operacji metodą Rossa w grupach wiekowych dzieci przedszkolnych i starszych



Comparison of some morphometric and functional parameters for both ventricles and great vessel valves in children (below 7 years of age and older) who underwent Ross procedure for congenital complex aortic valve disease

Marek Kopala¹, Jadwiga Anna Moll², Katarzyna Młudzik², Jacek Jan Moll¹

¹Klinika Kardiologii Instytutu Centrum Zdrowia Matki Polki, Łódź

²Klinika Kardiologii Instytutu Centrum Zdrowia Matki Polki, Łódź

Kardiologia i Torakochirurgia Polska 2008; 5 (1): 22–26

Streszczenie

Wstęp: Korekcja wady lewego ujścia tętniczego metodą autograftu płucnego została po raz pierwszy wykonana w 1967 roku w Guy's Hospital w Londynie przez Donalda Rossa. Operacja ta polega na zastąpieniu zdegenerowanej zastawki aortalnej autogenną zastawką pnia płucnego, a rekonstrukcja drogi odpływu prawej komory jest wykonywana za pomocą homograftu. Przewagę operacji Rossa nad innymi formami wymiany zastawki aortalnej stanowi optymalny profil hemodynamiczny autograftu oraz możliwość jego wzrostu wraz z rozwojem somatycznym dziecka.

Materiał i metody: W latach 1995–2002 w Klinice Kardiologii ICZMP w Łodzi operację metodą Rossa wykonano u 45 pacjentów. Wiek pacjentów w czasie operacji wynosił od 0,5 roku do 22 lat (średnio 12,26±6,43 roku). Okres obserwacji pacjentów po operacji wynosił od 1 roku do 7 lat, średnio 2,49±1,65 roku. Złożoną wadę zastawki aortalnej (zwężenie zastawki z jej niedomykalnością) rozpoznano u 30 dzieci, które podzielono na 2 grupy wiekowe.

Pierwszą grupę dzieci młodszych stanowili pacjenci w wieku niemowlęcym i przedszkolnym, natomiast drugą grupę dzieci starszych tworzyli pacjenci powyżej 7. roku życia.

Transtorakalne badanie echokardiograficzne w technice *M-mode* oraz w prezentacji 2D było badaniem podstawowym i niezbędnym w niniejszej pracy do oceny wyników leczenia. Badania te były wykonywane przed korektą kardiologiczną oraz po tygodniu od operacji, po 1 roku i 2–5 latach od korekcji wady.

Wyniki: Parametry morfometryczne komór serca porównywano względem siebie, analizując odchylenie od normy wieko-

Abstract

Background: Aortic valve replacement with pulmonary autograft was first performed in 1967 by D. Ross in Guy's Hospital in London. Ross operation's advantages over other forms of aortic valve replacement are optimal haemodynamic pattern of blood flow and autograft growth potential.

Material and methods: From 1995 to 2002 45 pts underwent Ross operation at the Cardiosurgery Department of the Polish Memorial Hospital – Research Institute in Łódź. Age of patients ranged from 0.5 yr to 22 yrs (mean 12.26±6.43 yr). Follow-up was from 1 yr to 7 yrs (mean 2.49±1.65 yr). Combined aortic valve disease (AS+AI) was revealed in 30 pts and all patients were divided into 2 groups: 7 years old or below, and over 7 yrs of age. Transthoracic echocardiographic examination (M-mode and 2-D technique) was basic and obligatory to assess the results of the operation in this paper. Echocardiographic assessment was performed prior to Ross procedure and 1 week, 1 year and 2-5 yrs after the operation.

Results: Morphometric and functional parameters of both ventricles and great vessel valves were assessed based on ECHO exams. RVEDD diameter was statistically higher and exceeded normal values in older children, although it was in the normal range before operation. Statistically significant relations of compared parameters were obtained in both groups in all follow-up periods.

Conclusions: Ross operation improved clinical status of patients at any time of life, but 1 yr after operation normalization of IVS thickness and LVPWD diameter was achieved in 50% of patients under 7 yrs of age. In older children normalization of

Adres do korespondencji: dr n. med. Marek Kopala, Klinika Kardiologii Instytutu Centrum Zdrowia Matki Polki, 94-011 Łódź, ul. Rzgowska 281/289, tel./faks +48 42 271 20 12, e-mail: mkopala@wp.pl

wej. W obu grupach wiekowych (I – do 7. roku życia oraz II – powyżej 7 lat) analizowano wybrane parametry morfometryczne i czynnościowe komór serca oraz zastawki autograftu i homograftu. Stwierdzono, że wymiar końcoworozkurczowy prawej komory (RVEDD), utrzymujący się przed operacją w normie w obu grupach wiekowych, statystycznie częściej przekraczał normę u starszych dzieci. We wszystkich okresach pooperacyjnych uzyskano statystycznie istotne zależności u dzieci powyżej 7. roku życia w porównaniu z dziećmi młodszymi.

Wnioski: Operacja Rossa poprawia stan kliniczny dzieci w każdym wieku, a po roku od operacji dochodzi do normalizacji grubości przegrody międzykomorowej i tylnej ściany lewej komory u 50% operowanych dzieci poniżej 7. roku życia. U dzieci starszych natomiast normalizacja postępuje znacznie wolniej. Wymiar końcoworozkurczowy lewej komory normalizuje się u wszystkich dzieci starszych w obserwacji średnio odległej i tylko u 50% dzieci młodszych. Dalszych badań wymaga natomiast problem poszerzania się prawej komory u dzieci starszych.

Słowa kluczowe: operacja Rossa, parametry morfometryczne komór serca.

these parameters became slower. LVEDD was normalized in all older children and only in half of younger ones at mid-term follow-up. Problems concerning RV enlargement in patients after Ross operation are going to be analyzed to explain this phenomenon.

Key words: Ross operation, morphometric parameters of ventricles.

Wstęp

Korekcja wady lewego ujścia tętniczego metodą autograftu płucnego została po raz pierwszy wykonana w 1967 roku w Guy's Hospital w Londynie przez Donalda Rossa [1]. Operacja ta polega na zastąpieniu zdegenerowanej zastawki aortalnej autogenną zastawką pnia płucnego, a rekonstrukcja drogi odpływu prawej komory jest wykonywana za pomocą homograftu. Przewagę operacji Rossa nad innymi formami wymiany zastawki aortalnej stanowi optymalny profil hemodynamiczny autograftu oraz możliwość jego wzrostu wraz z rozwojem somatycznym dziecka [2]. Dzieci po operacji metodą Rossa nie muszą przyjmować leków przeciwkrzepiających, jak to jest konieczne w wypadku wymiany zastawki aortalnej na sztuczną, co przy aktywnym stylu życia i urazowości wśród dzieci ma niezwykle znaczenie. Do trudności leczenia pochodnymi kumaryny należy dodać osobniczo zmienną farmakokinetykę leków przeciwkrzepiających i związane z tym trudności w ustaleniu INR, wpływ diety na wchłanianie i dystrybucję ustrojową doustnych antykoagulantów oraz przestrzeganie przez pacjenta zaleceń lekarza. Z danych *International Ross Registry* w Montanie wynika, że 30-dniowa śmiertelność po

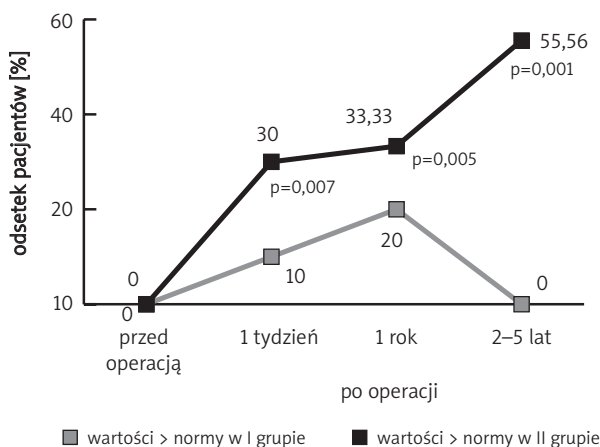
operacji nie przekracza 2,5%, a ryzyko operacyjne w metodzie Rossa jest porównywalne z ryzykiem związanym z wszczęciem sztucznej zastawki [3]. Odległe wyniki operacji metodą autograftu płucnego u 339 pacjentów operowanych w różnym wieku i różnymi technikami zostały przedstawione przez Rossa [4]. Wykazują one bardzo dużą skuteczność korekcji wady aortalnej, gdyż przeżycie w obserwacji 20-letniej sięga 80%, a 85% pacjentów nie było ponownie operowanych.

Materiał i metody

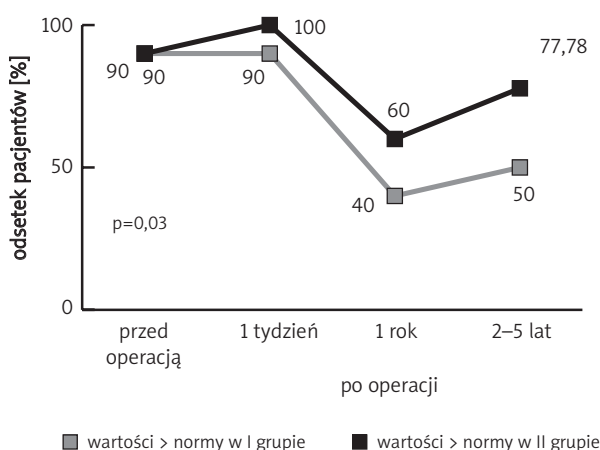
W latach 1995–2002 w Klinice Kardiologii ICZMP w Łodzi operację metodą Rossa wykonano u 45 pacjentów. Wiek pacjentów w czasie operacji wynosił od 0,5 roku do 22 lat (średnio $12,26 \pm 6,43$ roku). Okres obserwacji pacjentów po operacji wynosił od 1 roku do 7 lat, średnio $2,49 \pm 1,65$ roku. Złożoną wadę zastawki aortalnej (zwężenie zastawki z jej niedomykalnością) rozpoznano u 30 dzieci, które podzielono na 2 grupy wiekowe. Pierwszą grupę dzieci młodszych stanowili pacjenci w wieku niemowlęcym i przedszkolnym, natomiast drugą grupę dzieci starszych – pacjenci powyżej 7. roku życia (tab. I).

Tab. I. Liczba dzieci ze złożoną wadą zastawki aortalnej w 2 grupach wiekowych w zależności od okresu obserwacji

| SA+IA | Liczba dzieci przed operacją | | Liczba dzieci tydzień po operacji | | Liczba dzieci po roku od operacji | | Liczba dzieci po 2–5 latach od operacji | |
|----------|------------------------------|-----|-----------------------------------|-----|-----------------------------------|-----|---|-----|
| | N | % | N | % | N | % | N | % |
| I grupa | 10 | 33 | 10 | 33 | 5 | 25 | 2 | 18 |
| II grupa | 20 | 67 | 20 | 67 | 15 | 75 | 9 | 82 |
| razem | 30 | 100 | 30 | 100 | 20 | 100 | 11 | 100 |



Ryc. 1. Wymiar końcoworozkurczowy prawej komory u dzieci powyżej i poniżej 7. roku życia ze złożoną wadą zastawki aortalnej przed operacją i w obserwacji pooperacyjnej



Ryc. 2. Grubość mięśnia przegrody międzykomorowej u dzieci ze złożoną wadą zastawki aorty w wieku poniżej i powyżej 7. roku życia przed operacją i w analizowanych okresach pooperacyjnych

Transtorakalne badanie echokardiograficzne w technice *M-mode* oraz w prezentacji 2D było badaniem podstawowym i niezbędnym w niniejszej pracy do oceny wyników leczenia metodą Rossa. Wykonano je aparatem Sonos 1000 i 2500 firmy Hewlett-Packard z głowicami 2,7 MHz i 3,5 MHz oraz od 1999 roku również aparatem Sequoia 512 Acuson. Aparaty te są wyposażone w system kolorowego odwzorowania przepływu krwi metodą Dopplera.

Badania były wykonywane przed korekcją kardiologiczną oraz po tygodniu od operacji, po 1 roku i 2-5 latach od korekcji wady.

Na ich podstawie oceniano zarówno parametry morfometryczne, jak i czynnościowe obu komór serca i zastawek tętnic głównych. Parametry morfometryczne komór serca porównywano względem siebie, analizując odchylenie od normy wiekowej.

Wykonując badanie echokardiograficzne przed operacją i w opisanych okresach pooperacyjnych, określano wartość następujących parametrów:

- wymiar końcoworozkurczowy prawej komory (RVEDD),
- wymiar końcoworozkurczowy lewej komory (LVEDD),
- grubość przegrody międzykomorowej w fazie rozkurczu (IVSD),
- grubość tylnej ściany lewej komory (LVPWD),
- stopień niedomykalności zastawki aortalnej wyrażony w skali czterostopniowej,
- stopień niedomykalności zastawki autograftu płucnego oraz homograftu,
- wielkość maksymalnego gradientu ciśnień przez zastawkę aortalną ocenianego na podstawie szybkości przepływu krwi przez tę zastawkę,
- wielkość gradientu ciśnień przez zastawkę autograftu i homograftu po korekcji wady.

Uzyskane w badaniu echokardiograficznym bezwzględne wartości parametryczne porównywano ze sobą, stosując odpowiednie testy statystyczne. Dla oceny częstości występowania poszczególnych kategorii zmiennych jakościowych w 2 grupach lub w tej samej grupie w 2 okresach zastosowano testy:

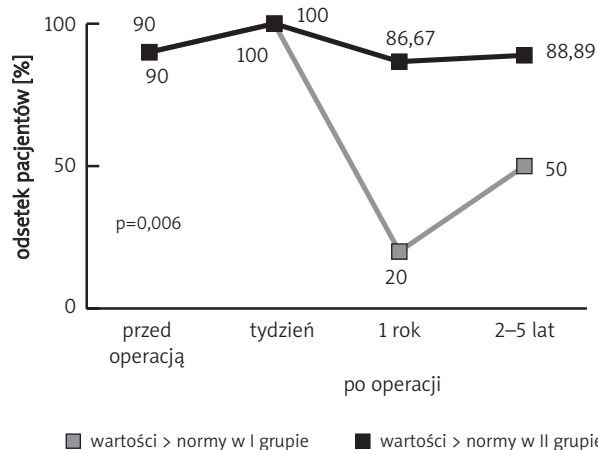
- niezależności chi-kwadrat (χ^2),
- niezależności chi-kwadrat (χ^2) z poprawką Yatesa lub test dokładny Fishera.

Charakter rozkładu zmiennych ilościowych oceniono za pomocą testu Shapiro-Wilka. Dla oceny różnic wartości przeciętnych w 2 grupach zastosowano test Manna-Whitneya (w wypadku gdy rozkład cech odbiegał od rozkładu normalnego) bądź test dla 2 prób niezależnych (gdy rozkład cech zbliżony był do rozkładu normalnego). Ostatni z wymienionych testów stosowany był po uprzednim sprawdzeniu założenia o równości wariancji za pomocą testu Fishera-Snedecora.

Wyniki

W obu grupach wiekowych (I – do 7. roku życia oraz II – powyżej 7 lat) analizowano wybrane parametry morfometryczne i czynnościowe komór serca oraz zastawki autograftu i homograftu. Stwierdzono, że wymiar końcoworozkurczowy prawej komory (RVEDD), utrzymujący się przed operacją w normie w obu grupach wiekowych, statystycznie częściej przekraczał normę u starszych dzieci. We wszystkich okresach pooperacyjnych uzyskano statystycznie istotne zależności u dzieci powyżej 7. roku życia w stosunku do dzieci młodszych (ryc. 1).

Jak wynika z ryc. 2., grubość mięśnia przegrody międzykomorowej przed operacją była powyżej normy u 90% dzieci zarówno w I, jak i w II grupie badanych. Podobne wartości stwierdzono tydzień po operacji. W obserwacji rocznej wartości prawidłowe grubości mięśnia przegrody międzykomorowej wystąpiły u większej liczby dzieci poniżej 7. roku życia (60% dzieci) niż u dzieci starszych (40% dzieci), co stanowiło istotną statystycznie zależność ($p=0,03$). Różnic tych nie spostrzegano w okresie 2-5 lat od operacji, w którym 50% dzieci do 7. roku życia i 77,28% dzieci starszych miało grubość przegrody międzykomorowej powyżej normy.



Ryc. 3. Grubość mięśnia tylnej ściany lewej komory u dzieci powyżej i poniżej 7. roku życia ze złożoną wadą zastawki aorty przed operacją i w okresach pooperacyjnych

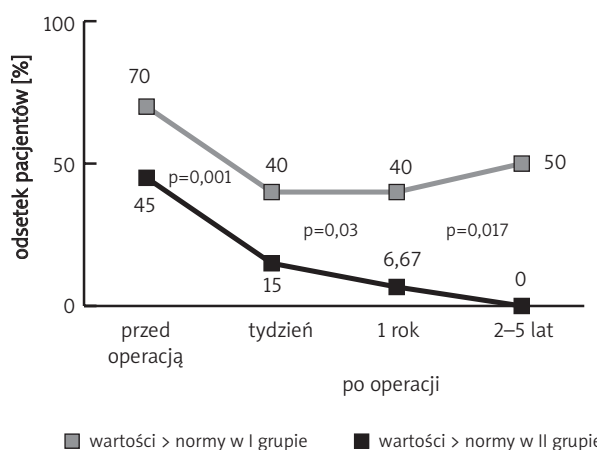
Wartość grubości mięśnia tylnej ściany lewej komory przed operacją była podwyższona w obydwu grupach u 90% pacjentów i tydzień po operacji wzrosła do 100%. W obserwacji rocznej normę osiągnęło 80% dzieci w wieku do 7 lat ($p=0,006$) i tylko 13,33% dzieci starszych (ryc. 3.). Między tymi grupami w tym okresie obserwacji istniała zależność statystyczna ($p=0,004$). Natomiast w okresie 2–5 lat po operacji u 50% dzieci poniżej 7. roku życia i tylko u 11% dzieci starszych stwierdzono prawidłowe wartości grubości tylnej ściany lewej komory.

Wymiar końcoworozkurczowy lewej komory przed korekcją przekraczał normę u 70% dzieci poniżej 7. roku życia i u 45% dzieci starszych (ryc. 4.). Tydzień po operacji wymiar ten znormalizował się u 85% dzieci starszych ($p=0,001$) i u 60% dzieci w wieku poniżej 7. roku życia. Podobne wartości uzyskano w 1. roku od operacji.

W okresie 2–5 lat po korekcji wymiar LVEDD osiągnął normę u wszystkich dzieci starszych ($p=0,017$) i tylko u 50% dzieci poniżej 7. roku życia. W tym okresie obserwacji między obiema grupami dzieci istnieje statystycznie istotna zależność ($p=0,018$).

Z wyników badań echokardiograficznych przedstawionych w tym rozdziale wynika, że grubość mięśnia przegrody międzykomorowej i tylnej ściany lewej komory osiąga normę w krótszym czasie po operacji w grupie dzieci młodszych (do 7. roku życia), natomiast normalizację wielkości jamy lewej komory szybciej osiągają dzieci starsze (po 7. roku życia). Równocześnie w tej ostatniej grupie spostrzega się tendencję do poszerzania się prawej komory po operacji metodą Rossa.

Maksymalny gradient ciśnień przez zastawkę aortalną wynosił przed korekcją u dzieci młodszych średnio 50 ± 4 mmHg, a u dzieci starszych 62 ± 5 mmHg. Tydzień po operacji gradient przez zastawkę autograftu zmniejszył się u dzieci młodszych średnio do 6 mmHg, a u starszych do 5 mmHg. W dalszej obserwacji pooperacyjnej gradient ciśnień nie zmienił się w grupie dzieci starszych, a nieznacz-



Ryc. 4. Wymiar końcoworozkurczowy lewej komory u dzieci powyżej i poniżej 7. roku życia ze złożoną wadą zastawki aortalnej przed operacją i po operacji

nie wzrósł, średnio do 10 mmHg, w grupie dzieci młodszych. We wszystkich okresach pooperacyjnych stwierdzono w obu grupach istotną statystycznie różnicę między gradientem ciśnień przed operacją i po operacji ($p=0,0001$).

W grupie dzieci młodszych przed operacją niedomykalność aortalną II stopnia stwierdzono u 4 dzieci (40%), a III stopnia u 6 pacjentów (60%). W grupie dzieci starszych niedomykalność II stopnia stwierdzono u 9 dzieci (45%), a III stopnia u 11 pacjentów (55%). Między tymi grupami nie było istotnej statystycznie różnicy.

Jedynie u 3 dzieci w grupie I tydzień po operacji stwierdzono niedomykalność autograftu II stopnia, zaś u pozostałych badanych nie wystąpiła niedomykalność zastawki autograftu lub była ona nieistotna (I stopień). W obu badanych grupach w stosunku do wyników przedoperacyjnych stwierdzono istotną statystycznie różnicę (w grupie I $p=0,016$, w grupie II $p=0,002$).

W obserwacji rocznej niedomykalność autograftu nie narastała w żadnej z grup pacjentów i tylko u 1 dziecka młodszego stwierdzono niedomykalność II stopnia. Podobne tendencje utrzymały się 2–5 lat po operacji, gdy niedomykalność autograftu II stopnia wystąpiła u 1 pacjenta w grupie I i u 1 dziecka w grupie II. Zarówno w obserwacji rocznej, jak i w okresie 2–5 lat po operacji nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic między 2 grupami badanych.

Analizując przepływ przez zastawkę homograftu, stwierdzono, że tydzień po operacji w żadnej z badanych grup nie stwierdzono istotnej niedomykalności zastawki homograftu ani gradientu ciśnień przez tę zastawkę, zaś w pozostałych analizowanych okresach pooperacyjnych nie spostrzegano istotnej statystycznie różnicy między 2 grupami zarówno pod względem wielkości gradientu przez zastawkę homograftu, jak i stopnia jego niedomykalności. Nie obserwowano także narastania gradientu ciśnień przez zastawkę homograftu ani stopnia jego niedomykalności w stosunku do wczesnego okresu pooperacyjnego.

Dyskusja

Wartości parametrów morfometrycznych lewej komory i stopień ich normalizacji po operacji uzależniony jest od stopnia zwężenia zastawki aortalnej lub też jej niedomykalności. Zmniejszanie się grubości przegrody międzykomorowej, jak i tylnej ściany lewej komory jest najbardziej zauważalne w 1. roku po operacji metodą Rossa. Fakt ten znajduje potwierdzenie także w opracowaniach innych autorów [2, 5–7]. Według badań własnych, zmniejszanie się grubości ścian lewej komory i ich normalizacja przebiega szybciej w grupie dzieci młodszych, tj. do 7. roku życia. U dzieci starszych natomiast, tj. powyżej 7. roku życia, szybciej dochodzi do normalizacji wymiaru końcoworozkurczowego lewej komory. Ten aspekt zagadnienia nie był jednak dotychczas poruszany w dostępnym piśmiennictwie.

Zaznaczyć należy, że w piśmiennictwie brak także pogłębionej analizy wymiarów prawej komory po operacji metodą Rossa. W świetle uzyskanych wyników badań własnych problemy te wydają się niezwykle interesujące, gdyż odbiegający od normy wymiar końcoworozkurczowy prawej komory u dzieci ze złożoną postacią wady aortalnej, przy prawidłowo funkcjonującym homograftie po operacji metodą Rossa, jest niezrozumiały. Brak informacji na ten temat w dostępnym piśmiennictwie uniemożliwia wytłumaczenie tego problemu na obecnym etapie własnych badań, zwłaszcza że dotyczy on grupy dzieci starszych po 7. roku życia. Niektórzy uważają, że przyczyną należy szukać w odpowiedzi immunologicznej organizmu biorcy na wszczepiony homograft, a zwłaszcza w niezgodności w zakresie antygenów HLA-DR. Bechtel i wsp., badając wpływ przeciwciał przeciw antygenom HLA klasy I na żywotność homograftu po operacji metodą Rossa u dorosłych pacjentów, również stwierdzili nieznacznie podwyższony wymiar prawej komory [8].

W obserwacjach własnych nie stwierdzono natomiast korelacji w funkcjonowaniu autograftu płucnego, zależnej od rodzaju wady aortalnej czy też wieku operowanych. Podobne dane przedstawił Lupinetti [12], analizując wyniki pooperacyjne u 107 pacjentów. Zaznaczyć należy, że we wszystkich analizowanych rodzajach wady przepływ przez zastawkę autograftu był podobny do fizjologicznego i nie zależał od wieku operowanych. Autograft płucny wszczepiony w pozycję aortalną wykazuje bardzo dużą trwałość, a przepływ przez jego zastawkę jest laminarny i bezgradientowy w obserwacji średnio odległej. Funkcjonowanie homograftu płucnego, podobnie jak to potwierdzają inni autorzy, wymaga dalszych badań w celu identyfikacji czynników uszkodzających oraz ich wpływu na funkcję prawej

komory [10, 11]. Operacja metodą Rossa zapewnia chorym dobrą jakość życia, a Laforest udowodnił, że zarówno w spoczynku, jak i podczas wysiłku przepływy przez autograft i homograft są prawidłowe [9].

Wnioski

Operacja metodą Rossa poprawia stan kliniczny dzieci w każdym wieku, a po roku od operacji dochodzi do normalizacji grubości przegrody międzykomorowej i tylnej ściany lewej komory u 50% operowanych dzieci poniżej 7. roku życia. U dzieci starszych natomiast normalizacja postępuje znacznie wolniej. Wymiar końcoworozkurczowy lewej komory normalizuje się u wszystkich dzieci starszych w obserwacji średnio odległej i tylko u 50% dzieci młodszych. Dalszych badań wymaga natomiast problem poszerzania się prawej komory u dzieci starszych. W obserwacji średnio odległej autograft płucny i homograft funkcjonują prawidłowo, ale konieczna jest coroczna ocena echokardiograficzna i kliniczna pacjentów.

Piśmiennictwo

- Ross D. Replacement of aortic and mitral valves with a pulmonary autograft. *Lancet* 1967; 2: 956-8.
- Elkins RC, Knott-Craig CJ, Ward KE, Lane MM. The Ross operation in children: 10-year experience. *Ann Thorac Surg* 1998; 65: 496-502.
- Oury JH, Hiro SP, Maxwell JM, Lamberti JJ, Duran CM. The Ross Procedure: current registry results. *Ann Thorac Surg* 1998; 66: S162-S165.
- Ross D, Jackson M, Davies J. Pulmonary autograft aortic valve replacement: long-term results. *J Card Surg* 1991; 6 (4 Suppl): 529-533.
- Böhm JO, Botha CA, Hemmer W, Roser D, Starck CT, Blumenstock G, Rein JG. The ross operation in 225 patients: a five-year experience in aortic root replacement. *J Heart Valve Dis* 2001; 10: 742-749.
- Brown JW, Ruzmetov M, Vijay P, Bills RG, Turrentine MW. Clinical outcomes and indicators of normalization of left ventricular dimensions after Ross procedure in children. *Semin Thorac Cardiovasc Surg* 2001; 13 (4 Suppl 1): 28-34.
- Hokken RB, Cromme-Dijkhuis AH, Bogers AJ, Spitaels SE, Witsenburg M, Hess J, Bos E. Clinical outcome and left ventricular function after pulmonary autograft implantation in children. *Ann Thorac Surg* 1997; 63: 1713-1717.
- Bechtel JF, Bartels C, Schmidtke C, Skibba W, Muller-Steinhardt M, Kluter H, Sievers HH. Anti-HLA class I antibodies and pulmonary homograft function after the Ross procedure. *Ann Thorac Surg* 2001; 71: 2003-2007.
- Laforest I, Dumesnil JG, Briand M, Cartier PC, Pibarot P. Hemodynamic performance at rest and during exercise after aortic valve replacement: comparison of pulmonary autografts versus aortic homografts. *Circulation* 2002; 106 (12 Suppl 1): I57-I62.
- Cleveland DC, Williams WG, Razzouk AJ, Trusler GA, Rebecka IM, Duffy L, Kan Z, Coles JG, Freedom RM. Failure of cryopreserved homograft valved conduits in the pulmonary circulation. *Circulation* 1992; 86 (5 Suppl): III150-III153.
- Dacey LJ. Pulmonary homografts: current status. *Curr Opin Cardiol* 2000; 15: 86-90.
- Lupinetti FM, Duncan BW, Lewin M, Dyamenahalli U, Rosenthal GL. Comparison of autograft and allograft aortic valve replacement in children. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2003; 126: 240-246.