

Praca doktorska

Krystyna Iwaszkiewicz

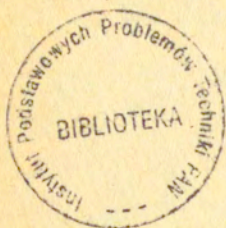
ZASTOSOWANIE ULTRADZWIĘKOWEJ
METODY DOPPLEROWSKIEJ
DO OCENY PRĘDKOŚCI PRZEPŁYWU KRWI
U DZIECI Z PRZECIEKIEM
AORTALNO-PLUCNYM

25 / 1982

P. 269



WARSZAWA 1982



Praca wpłynęła do Redakcji dnia 21 czerwca 1982 r.

Zarejestrowana pod nr 25/1982

57049

- Praca doktorska

Promotor: Doc.dr hab.med. Krystyna Białowas-Wysocka
z I Kliniki Chirurgii Dzieci Instytutu Pediatrii
Akademii Medycznej w Warszawie

Kierownik Kliniki: Prof.dr hab. Irena Giżycka
Dyrektor Instytutu: Doc.dr hab. Maria Sieniawska



Na prawach rękopisu

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN
Nakład 190 egz. Ark.wyd. 4. Ark. druk. 6,5 .
Oddano do druckatni w lipcu 1982 r.
Nr zamówienia 429/0/82. Z-108.

Warszawska Drukarnia Naukowa, Warszawa,
ul.Śniadeckich 8

Składam podziękowanie .

Panu Profesorowi Dr Leszkowi Filipczyńskiemu
i Dr Tadeuszowi Powalowskiemu z IPPT PAN
za pomoc naukowo - techniczną w czasie
prowadzenia badań z zastosowaniem ultra-
dźwiękowej metody dopplerowskiej,
Pani Profesor Dr hab. Irenie Giżyckiej -
Kierownikowi Kliniki Chirurgii i Kardiologii
Dzieci IP, Doc. Dr hab. Krystynie Wysockiej -
mojemu Promotorowi oraz Panu Profesorowi
Dr hab. Antoniemu Chrościckiemu -
Kierownikowi Samodzielnej Pracowni Pato -
fizjologii Krążenia za zachętę do podjęcia
badań, za stworzenie warunków do ich
szybkiego przeprowadzenia.

Krystyna Iwaszkiewicz
Klinika Chirurgii Kardiologii
Instytutu Pediatrii AM

ZASTOSOWANIE ULTRADŹWIĘKOWEJ METODY DOPPLEROWSKIEJ
DO OCENY PRĘDKOŚCI PRZEPLYWU KRWI
U DZIECI Z PRZECIEKIEM AORTALNO - PIŁUCNYM

C z ę ś ć I

WPROWADZENIE

1. Wstęp i rys historyczny .

Przetrwały przewód tętniczy stanowi jedną z najczęstszych nieprawidłowości układu krążenia u dzieci, a pomimo to jest on tylko pozornie najlepiej poznaną wadą wrodzoną. Znany jest obraz kliniczny i radiologiczny, jednak w okresie noworodkowym i niemowlęcym napotyka się szereg trudności w rozpoznawaniu tej wady, spowodowanych przede wszystkim brakiem typowego szmeru maszynowego. Spostrzeżenia szeregu autorów wykazały niejednoczesowy rozwój objawów klinicznych wady u dzieci w tym samym wieku, które głównie zależą od różnicy ciśnień w obu układach oraz od średnicy przewodu /31,32/. Fakt ten jest prawdopodobnie najistotniejszą przyczyną, że przetrwały przewód tętniczy jest nadal zbyt późno wykrywany.

Praca została wykonana w ramach współpracy z IPPT PAN w Warszawie M.R.I.24.03.9.

W wielu przypadkach może pogorszyć możliwości aktualnego leczenia, jak i zabezpieczenia życia dzieci dotkniętych tą nieprawidłowością.

I Klinika Chirurgii Dzieci Instytutu Pediatrii Akademii Medycznej w Warszawie współpracuje z Zakładem Ultradźwięków Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN. Zespół naukowców tego Zakładu wykorzystał nowoczesne osiągnięcia myśli technicznej do konstrukcji wielu typów aparatów ultradźwiękowych dla różnych dziedzin i specjalności medycznych, udostępniając lekarzom nowe, szybkie i nieinwazyjne metody diagnostyczne.

W I Klinice Chirurgii Dzieci od 6 lat prowadzi się badania, stosując ultradźwiękową metodę dopplerowską w rozpoznawaniu i różnicowaniu schorzeń naczyniowych. Dotychczas metoda ta okazała się bardzo przydatna u pacjentów z niedrożnością lub zwężeniami tętniczymi /64/. Pozwala ona na określenie poziomu niedrożności, a po zabiegu odtwórczym na ocenę wyników operacyjnych /64/.

U chorych z przetokami tętniczo-żylnymi jest precyzyjnym sposobem lokalizacji przetoki /64, 69/. Badania z zastosowaniem ultradźwiękowej metody dopplerowskiej niezawodne są w ocenie czynności sztucznie wykonanych przetok tętniczo-żylnych typu Cimino-Brescia u pacjentów z niewydolnością nerek, u których prowadzone są przewlekłe hemodializy /38, 64/.

Badania ultradźwiękową metodą dopplerowską stały się przydatne w rozpoznawaniu i ocenie wyników leczenia zwężenia cieśni aorty u dzieci, chociaż ze względu na konieczność poznania warunków anatomicznych nie zwalniają z obowiązku wykonania badań angiograficznych /64/.

Ultradźwiękową metodę dopplerowską stosuje się również w różnicowaniu skrętu jądra od innych schorzeń tego narządu nie wymagających leczenia operacyjnego, co może w dużym stopniu zmniejszyć liczbę zabiegów zwiadowczych /39/.

Ultradźwiękową metodę dopplerowską wykorzystuje się także do oceny czynności serca i zastawek na podstawie obserwacji zmian prędkości przepływu krwi przez duże naczynia tętnicze i żyłne, jak również przez serce /7/.

Tak różnorodne zastosowania ultradźwiękowej metody dopplerowskiej skierowały moje zainteresowanie na dzieci z przetrwałym przewodem tętniczym, u których hemodynamika wady może mieć wpływ na zmianę prędkości przepływu krwi przez naczynia tętnicze.

Za prekursora ultradźwiękowej metody dopplerowskiej uważa się Franklina /62/, który w 1961 roku zastosował ją w badaniach przepływu krwi w tętnicach zwierząt doświadczalnych. Jednocześnie Satomura w Japonii w 1958 roku opublikował pierwsze doniesienie na temat diagnostyki dopplerowskiej metodą fali ciągłej. Vatner /62/ porównał przepływomierz ultradźwiękowy z przepływomierzami elektromagnetycznymi, wszczepiając czujniki wokół naczyń tętniczych u zwierząt. Badania jego wykazały, że przy pomocy ultradźwiękowych przepływomierzy można również uzyskać dokładne pomiary prędkości przepływu krwi w poszczególnych naczyniach.

Benhimol /62/ zastosował aparaturę ultradźwiękową u pacjentów ze zwężeniem zastawki aortalnej i badał prędkość przepływu krwi przez tętnice ramienne, używając sond wszczepionych i przezskórnych. Wykazał, że badania nieinwazyjne nie odbiegają dokładnością od badań z zastosowaniem sondy chirurgicznej

umieszczonej bezpośrednio na naczyniu.

K. Borodziński i współpracownicy /3/ po raz pierwszy przeprowadzili ilościowe pomiary prędkości przepływu krwi w tętnicy szyjnej wspólnej, stosując w tym celu dopplerowską metodę fali ciągłej i impulsowej.

Robert Feldtman /14/ z Kliniki Chirurgii w San Antonio pierwszy zastosował metodę dopplerowską u noworodków dla szybkiego rozpoznawania przetrwałego przewodu tętniczego, którego objawy są trudne do odróżnienia od idiopatycznej niewydolności oddechowej u tych dzieci /14, 41, 46, 66/.

Do chwili obecnej pojawiło się w literaturze wiele różnych prac z przoduujących ośrodków, zajmujących się zagadnieniem przepływów metodą dopplerowską i poświęconych omówieniu podstaw teoretycznych i zastosowań klinicznych /1, 2, 3, 6, 7, 15, 16, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 34, 37, 50, 56, 58, 59, 60, 62, 64, 70, 73, 74/.

Ultradźwiękowe dopplerowskie przepływomierze pozwalają na uzyskanie informacji o zmianach częstotliwości dopplerowskiej, która jest wprost proporcjonalna do średniej prędkości przepływającej krwi w przekroju naczynia. Do ilościowej oceny prędkości przepływu krwi na podstawie mierzonej częstotliwości niezbędna jest informacja o kącie, pod jakim wiązka ultradźwiękowa wnika do naczynia krwionośnego. Stosowane dotychczas dopplerowskie przepływomierze nie dawały takiej informacji, pozwalając jedynie na jakościową ocenę przepływu krwi /34, 49, 56, 59, 65/. Informacja taka, choć niepełna, ma jednak duże znaczenie diagnostyczne. Pozwala ona, poprzez porównawcze pomiary przeprowadzone u zdrowych i chorych pacjentów na wykrycie zaburzeń

w przepływie krwi / 2, 7, 17, 24, 25, 30, 37, 56, 58, 59, 65, 67, 68, 69, 70, 74/.

Badania nad prawidłowym wzorcem prędkości przepływu tętniczego prowadził Jasuharu Nimura /37/ z Osaki wraz z zespołem, ustalając jednocześnie nomenklaturę.

Ostatnio w Zakładzie Ultradźwięków IPPT PAN opracowany został automatyczny miernik prędkości przepływu krwi, który określa prędkość przepływu krwi niezależnie od kąta, pod jakim fala ultradźwiękowa wnika do naczynia krwionośnego /50/.

W przeprowadzonych badaniach zastosowano ultradźwiękowy detektor przepływu krwi UDP-10 oraz prototyp automatycznego miernika prędkości przepływu krwi. Używano 3 różnych rejestratorów o 2, 3 i 8 kanałach.

2. Zagadnienia kliniczne

a - Anatomia przewodu tętniczego

Przewód tętniczy jest to kanał występujący u wszystkich ssaków w życiu płodowym. Łączy on główny pień płucny z aortą zstępującą zwykle 5-10 mm poniżej odejścia lewej tętnicy podobojczykowej. Rozwija się z dalszej części lewego szóstego łuku aorty. Przy prawostronnym łuku aorty przewód tętniczy może znajdować się po stronie prawej, łącząc tętnicę płucną z prawym łukiem aorty bardziej obwodowo od prawej tętnicy podobojczykowej. Wyjątkowo przetrwały przewód tętniczy może być podwójny i znajduje się wówczas na różnych poziomach /5, 19, 21, 31, 32, 36, 48/.

Struktura histologiczna przewodu tętniczego różni się od struktury pnia płucnego i aorty, chociaż grubość ścian przewodu i przylegających tętnic są podobne. Błona środkowa aorty składa się z ułożonych koncentrycznie warstw włókien elastycznych, podczas gdy w błonie środkowej przewodu tętniczego występują liczne warstwy mięśni gładkich. Ułożone są one spiralnie w obie strony w kierunku prawym i lewym /19, 21, 36, 48/.

Warstwa błony wewnętrznej przewodu tętniczego jest 4-5 razy grubsza od tej samej warstwy w przyległych tętnicach oraz zawiera zwiększoną ilość substancji mukoidalnych. Pod śródbłonkiem znajdują się małe cienkościenne naczynia /19, 21, 48/. Specyfika budowy anatomicznej sprzyja zamykaniu się przewodu tętniczego po urodzeniu.

b - Hemodynamika przepływów przez przewód tętniczy w życiu płodowym

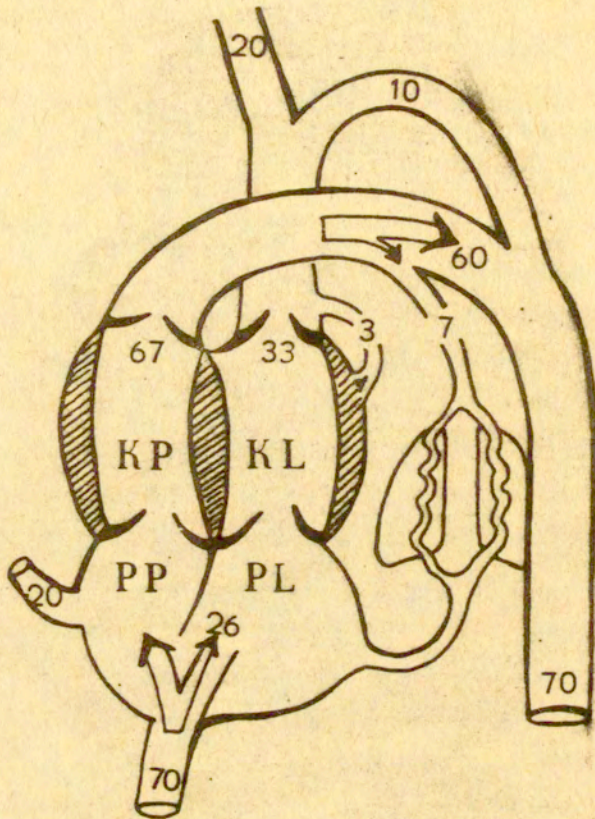
Do szóstego tygodnia życia płodowego przewód tętniczy jest już wystarczająco rozwinięty, aby zmieścić większą część rzutu skurczowego prawej komory. Wymiary średnic obu dużych tętnic i przewodu tętniczego odzwierciedlają proporcje krwi przenoszonej przez te naczynia. W oparciu o dokonane badania na płodach jagnięcych stwierdzono, że prawa komora wyrzuca około 2/3 połączonej zawartości obu komór. Ponieważ przepływ do płuc stanowi w tym okresie tylko 6-8 %, przewód tętniczy przenosi 55-60 % połączonego wyrzutu komorowego. Odwrotnie aorta przewodzi 10-15 % połączonej ilości krwi, co wynosi 450-500 ml na kilogram wagi płodu na minutę. Krążenie łożyskowe otrzymuje

około 40 % rzutu komorowego /rys.1/.

Przewód tętniczy prowadzi krew z krążenia płucnego o dużym oporze naczyniowym do aorty zstępującej, naczyń pępkowych i łożyska, które mają znacznie mniejszy opór. W czasie życia płodowego ten duży odpływ krwi płucnej przez przewód tętniczy zmniejsza znacznie pracę serca /54, 55/.

Badania doświadczalne z zastosowaniem elektromagnetycznych mierników prędkości przepływu /55/ pozwoliły na opracowanie wzoru przepływu fazowego w tętnicy płucnej ponad przewodem tętniczym. Wykazały one we wczesnym skurczu krótką fazę przepływu na obwód, później następowało gwałtowne zmniejszenie się prędkości przepływu krwi, a na końcu skurczu oraz w rozkurczu rejestrowano znaczny przepływ zwrotny. Wiąże się to z wysokim oporem płucnym w porównaniu z niższym oporem przewodu tętniczego dolnej części ciała oraz krążenia pępkowo-łożyskowego. Napotykając na duży opór w płucach, krew odpływa głównie przez przewód tętniczy i w drugiej części skurczu rejestruje się falę zwrotną spowodowaną prawdopodobnie odbiciem krwi od dużych naczyń płucnych. Ten typ przepływu jest zależny od oporów naczyniowych w płucach, spowodowanych płodową budową naczyń płucnych i może ulec zmianie przy zmniejszaniu się oporu /4, 11, 20, 21, 51, 55, 71, 72/.

Nie zostało udowodnione czy przewód tętniczy odgrywa aktywną rolę w życiu płodowym. Uważano dotychczas, że jest on bierną strukturą, jednak ostatnie badania wykazały możliwość aktywnego rozkurczu przewodu pod wpływem prostoglandyny E_1 i E_2 w obecności niskiego PO_2 we krwi przepływającej przez przewód /8, 21, 48/. Okazało się, że wiele substancji naczynioaktyw-



Rys.1 . Schemat krążenia centralnego u płodu z procentowym rozkładem ilościowego przepływu krwi przez serce i duże naczynia Wg Abraham M. Rudolph /55/

KP - komora prawa, KL - komora lewa, PP - prawy przedsionek,
LP - lewy przedsionek

nych, jak epinephrina, bradykinina, prostoglandyna $F_2\alpha$ kurczą wypreparowany przewód tętniczy, chociaż ich działanie w czasie życia płodowego nie jest jeszcze znane /8, 48, 55/.

Zamykanie się przewodu tętniczego po urodzeniu dokonuje się dwuetapowo. W 10 - 15 godzin po urodzeniu u donoszonych noworodków następuje skurcz mięśni gładkich w ścianie przewodu, wywołując jego skrócenie, pogrubienie ścian oraz wpuklanie się błony wewnętrznej do światła przewodu. Powoduje to funkcjonalne zamknięcie przewodu. Drugi etap kończy się w 2 - 3 tygodniu życia. Odbywa się to przez wpuklanie się do światła przewodu śródbłonna, przerwanie i przerost warstw błony wewnętrznej, a nawet może dochodzić do mikrowylewów i martwicy. Później pojawia się zwłóknienie tkanki łącznej, co powoduje całkowite zamknięcie przewodu i wytworzenie się pasma łączno-tkankowego, zwanego więzadłem Botalla /5, 19, 48, 53, 54/.

Mechanizm wywołujący zamknięcie przewodu tętniczego zaraz po urodzeniu dziecka nie jest w pełni jeszcze wyjaśniony.

Zwiększenie PO_2 występujące z chwilą rozpoczęcia oddychania powoduje kurczenie się przewodu tętniczego u dojrzałych płodów ludzkich /21, 48, 54/. U niedojrzałych płodów zwierzęcych w warunkach doświadczalnych tego mechanizmu nie obserwowano /21/.

Brak reakcji kurczenia się przewodu tętniczego u niedojrzałych osobników nie jest wyjaśniony.

- Hemodynamika przepływów przez przewód tętniczy po porodzie

W warunkach prawidłowych zaraz po urodzeniu, systemowy naczyński jest dość wysoki, podczas gdy opór płucny spada

wraz z pierwszym oddechem dziecka. Przy wąskim przewodzie tętniczym występuje w nim wysoki opór przepływu tak, że przepływ lewo-prawy będzie mały pomimo dużej różnicy ciśnień. Jednakże przy szerokim przewodzie ciśnienia będą miały tendencję do wyrównywania się. Wielkość przepływu lewo-prawego jest determinowana przez stosunek systemowego i płucnego oporu naczyniowego i z tego powodu przepływ ten jest określony jako przepływ zależny /11, 20, 48, 55, 57, 71, 72/.

Opór naczyniowy systemowy jest wysoki i nie zmienia się w sposób istotny po urodzeniu. Zmiany w oporze płucnym będą więc głównym determinantem w regulowaniu przepływu przez drożny przewód tętniczy. Jest to szczególnie ważne w pierwszych 2 miesiącach życia, gdy opór płucny obniża się. Cechy patofizjologiczne związane z lewo-prawym przepływem przez drożny przewód tętniczy zależne są od wielkości przepływu i wydolności układu krążenia noworodka obciążonego dodatkową objętością krwi. Wyrzut lewej komory jest zwiększony o objętość krwi przepływającej przez przewód tętniczy. Wynikający stąd nadmierny powrót krwi żyłnej z płuc do lewego przedsionka i lewej komory powiększa objętość rozkurczową i rzut lewej komory /21, 36, 48/. Rozszerzenie lewej komory wywołuje wzrost jej końcowego ciśnienia rozkurczowego przy wtórnym zwiększeniu ciśnienia w lewym przedsionku. Prowadzi to do niewydolności lewej komory z rozszerzeniem lewego przedsionka i obrzękiem płuc. Niewydolność prawokomorowa występuje przy szerokim przewodzie tętniczym powodującym nadciśnienie płucne i podwyższenie ciśnienia w lewym przedsionku. W wyniku tego mechanizmu zwiększa się opór płucny i praca prawej komory.

Kilka mechanizmów kompensacyjnych bierze udział w poprawie czynności mięśnia sercowego i utrzymaniu prawidłowego rzutu systemowego. Zwiększone pobudzenie układu sympatycznego prowadzi do bezpośredniego pobudzenia włókien nerwowych. Uwalnia się norepinefryna, jak również zwiększa się poziom krążących katecholamin uwolnionych z gruczołów nadnerczowych. Mechanizmy te są odpowiedzialne za przyspieszenie czynności serca, zwiększoną siłę skurczu oraz pocenie, które często jest obserwowane u noworodków z wadami serca /21; 48/.

Stale zwiększona objętość wyrzutowa prowadzi do przerostu mięśnia sercowego. Bardzo ważna jest ocena dojrzałości, tzn. wiek płodowy w momencie urodzenia dziecka z drożnym przewodem tętnicznym. Mechanizmy kompensacyjne są dobrze rozwinięte u dzieci starszych, natomiast u noworodków i wcześniaków nie działają tak wydajnie.

Unerwienie sympatyczne lewej komory zostaje zakończone pod koniec okresu płodowego, a więc u noworodka urodzonego przedwcześnie jest prawdopodobne, że pobudzenie z układu sympatycznego w zakresie lewego przedsionka i lewej komory będzie niecałkowite lub nawet nieobecne.

Przepływ krwi przez naczynia wieńcowe w mięśniu lewej komory występuje w czasie rozkurczu i zależy od długości jego trwania oraz od różnicy ciśnienia rozkurczowego krwi w aorcie i w komorach. Zredukowanie ciśnienia rozkurczowego w aorcie występuje przy szerokim i krótkim przewodzie tętnicznym, wskutek zpacznego przepływu. Ciśnienie końcowo-rozkurczowe lewej komory może być zwiększone i powodować wzrost ciśnienia wewnątrz mięśnia sercowego, a tym samym zmniejszyć przepływ wieńcowy /21/.

Wystąpienie tachykardii - zmniejsza okres rozkurczu. Czynniki, które determinują prawidłowe przepływy przez mięsień sercowy są w obecności szerokiego przewodu tętniczego znacznie zmienione.

d- Zespół objawów klinicznych i dotychczasowa diagnostyka kardiologiczna

Przetrwały przewód tętniczy jest często przyczyną niewydolności krążenia u niemowląt, u których dominują objawy nadciśnienia płucnego. Nawracające zapalenia płuc kwalifikują tych chorych do stałego pobytu w oddziałach szpitalnych. Leczenie zachowawcze nie przynosi trwałej poprawy, jedynie szybkie ustalenie rozpoznania i operacja mogą uratować te dzieci /5, 9, 10, 48, 52, 57/.

Diagnostyka w tym wieku jest trudna, a często występujący brak typowego szmeru maszynowego uniemożliwia wykrycie tej wady lub odróżnienie przetrwałego przewodu tętniczego od ubytku w przegrodzie międzykomorowej. Wystąpienie wczesnych i burzliwych objawów zależne jest od wielkości przepływu przez przewód tętniczy. U niektórych dzieci, zwłaszcza starszych, nie występują żadne objawy wady, a jedynie przypadkowe wykrycie szmeru sprowadza je do kardiologa. Przetrwały przewód tętniczy z dużym lewo-prawym przepływem charakteryzuje się chybkiem tętnem na obwodzie i dużą rozpiętością ciśnienia tętna. Przy dużym nadciśnieniu płucnym szmer może w ogóle nie występować /4, 5, 21, 48, 57/.

W typowych przypadkach, u dzieci starszych, przy osłuchiwaniu dominuje ciągły skurczowo-rozkurczowy szmer maszynowy.

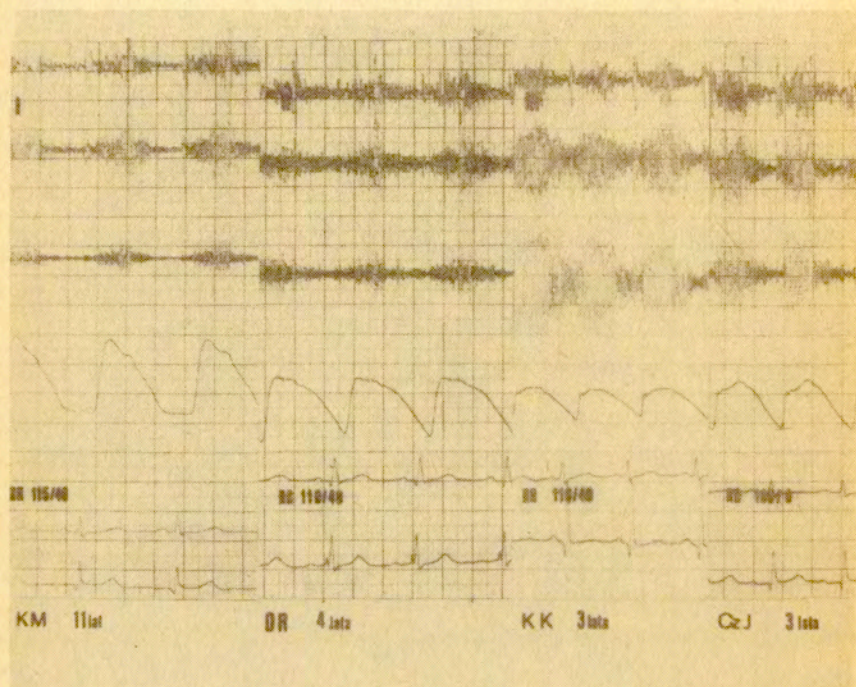
Szmer ten jest zwykle najgłośniejszy w górnej lewej okolicy przymostkowej. Promieniuje on na przednią część klatki piersiowej i jest umiarkowanie przewodzony do barku i pleców. Jest on stały, chociaż ulega niewielkiej zmianie przy oddychaniu i zmianie pozycji ciała. Komponenta skurczowa szmeru rozpoczyna się zaraz po I tonie serca i przybiera na amplitudzie w miarę zbliżania się do II tonu, po czym zmniejsza się i zanika w różnych odstępach przed I tonem /ryc.2/ /4, 5, 9, 31, 32, 36, 48, 52/.

Tony mogą być całkowicie pokryte przez ten prawie ciągly szmer, czasami jednak wyraźnie jest słyszalny szeroko rozszczepiony II ton w miejscu osłuchiwania tętnicy płucnej. U pacjentów z szerokim przewodem tętniczym można wykryć paradoksalne zachowanie się rozszczepienia II tonu powstające wskutek przedłużonego okresu wyrzutu lewej komory i wcześniejszego zamykania się zastawki tętnicy płucnej w następstwie wzrostu ciśnienia w tej tętnicy /5, 21, 36, 48/.

Wyniki badania radiologicznego zależą zwykle w dużym stopniu od wielkości przepływu. Pacjenci z przeciekiem najmniejszego stopnia mają sylwetkę serca prawidłową, przy większym przecieku dominują objawy nadciśnienia płucnego przepływowego, sylwetka serca ulega powiększeniu /5, 36, 48/. Stwierdza się wówczas:

- a - powiększenie lewego przedsionka i lewej komory,
- b - uwypuklenia łuku tętnicy płucnej,
- c - zwiększenie ukrwienia płuc.

Elektrokardiogram w zależności od wielkości przewodu tętniczego może pozostawać prawie całkowicie w granicach normy u pacjentów z niewielkim przeciekiem. Jeżeli jednak przeciek jest



Ryc. 2. Przykłady zapisu fonokardiograficznego i sfigmooscylograficznego z tętnicy ramieniowej lewej u 4 dzieci z przewodem tętniczym.

duży, zwiększone obciążenie lewej komory wpływa na jej przerost z przeciążeniem, często obserwuje się również przerost lewego przedsionka /5, 36, 48/.

Cewnikowanie serca u chorych z typowym przetrwałym przewodem tętniczym uważa się dzisiaj za nieuzasadnione. Konieczne jest w przypadkach niepewnych i wadach skojarzonych. Można wówczas stwierdzić /5, 36, 48, 52/:

1. Wzrost wysycenia tlenem krwi w tętnicy płucnej przynajmniej o 6 % w porównaniu z utlenowaniem krwi w prawej komorze. Jednak przewód tętniczy o małej średnicy może nie dawać dostatecznego wzrostu utlenowania krwi w tętnicy płucnej.
2. Ciśnienie krwi w tętnicy płucnej i w prawej komorze w 75 % jest prawidłowe lub nieznacznie podwyższone. Ciśnienie tętna w krążeniu dużym jest zwiększone, zachowuje się podobnie jak w niedomykalności aortalnej.
3. Wzrost oporu obwodowego stwierdza się u 30 % cewnikowanych chorych.
4. Stosunek przepływu płucnego do przepływu systemowego jest większy niż 1,5 do 1,0, a niekiedy może być zbliżony do 4, a nawet 5 do 1.
5. Krzywe rozcieńczeń barwnika po wstrzyknięciu do łuku aorty i pobraniu próbek z prawej komory i tętnicy płucnej dostarczają wyraźnych dowodów na istnienie przecieku między aortą i tętnicą płucną, jednakże nie pozwalają na zróżnicowanie poziomu tych przecieków.
6. Decydującą rolę odgrywa podanie kontrastu do aorty wstępującej, który natychmiast przedostaje się przez przewód tętniczy do tętnicy płucnej.

Badania sfigmosecylograficzne w przewodzie tętniczym wykazują ostre wznoszenie się fali tętna, przy czym jej wierzchołek i załamek dikrotyczny są wyraźnie rozdzielone późnoskurczowym dodatnim wychyleniem. Jest to związane z wyrzucaniem zwiększonej objętości krwi przez lewą komorę. Słabo zaznaczone jest wcięcie dikrotyczne. Obserwuje się znaczne wydłużenie czasu wyrzutu lewej komory /ryc.2/. Na kończynach dolnych podczas wdechu ujemne ciśnienie w klatce piersiowej powoduje większy odpływ krwi z aorty do płuc, co ujawnia się wcięciem w początkowym okresie fali tętna /5, 36, 48, 57/.

Zastosowanie badań echokardiologicznych umożliwia ocenę lewo-prawego przepływu przez przetrwały przewód tętniczy na podstawie przednio-tylnych wymiarów lewego przedsionka i aorty. Wartości te były określone seryjnie u noworodków w postaci ułamka. Stwierdzono, że ma on większą wartość przy drożnym przewodzie tętniczym ze znacznym przepływem. Po zamknięciu przewodu wymiary te szybko wracały do normy /23, 48, 74/.

W diagnostyce przetrwałego przewodu tętniczego ultradźwiękowa metoda dopplerowska może być pomocna, co jest przedmiotem tej pracy.

3. Badanie prędkości przepływu krwi metodą dopplerowską fali ciągłej

Fale ultradźwiękowe są mechanicznymi zjawiskami przenoszenia ruchu drgającego o wysokich częstotliwościach w ośrodku materialnym. W diagnostyce medycznej stosuje się fale ultradźwiękowe o częstotliwości od 1 MHz do 20 MHz. Rozchodzenie się fali ultra-

dźwiękowej i towarzyszące im zjawiska są zależne od mikro - i makroskopowych właściwości materii, takich jak: sprężystość, niejednorodność, gęstość, budowa molekularna, a w przypadku ruchu - prędkość /15, 16/.

Zastosowanie fal ultradźwiękowych pozwala na uzyskanie szeregu ważnych informacji o ośrodku biologicznym, a nawet umożliwia nieinwazyjne uwidocznienie jego wnętrza. Niewielkie różnice w gęstości i elastyczności tkanek organizmu mogą być łatwo wykryte tą metodą, natomiast przeszkodę w badaniu stanowią minimalne nawet przestrzenie powietrzne. Fale ultradźwiękowe nie mogą przenikać granicy między tkanką miękką a gazem. Podobne zjawisko, choć w mniejszym stopniu, zachodzi na granicy tkanek miękkich i kostnych. W diagnostyce medycznej są wykorzystane podłużne fale ultradźwiękowe. Istotnymi parametrami charakteryzującymi te fale jest ich prędkość, długość, częstotliwość oraz natężenie. Prędkość fali ultradźwiękowej /c/ jest zależna od sprężystych i bezwładnościowych właściwości tkanki i waha się ≈ 1500 m/sek.

Długością fali ultradźwiękowej / λ / nazywamy odległość między kolejnymi wzniesieniami sinusoidalnej fali podłużnej rozchodzącej się wzdłuż osi.

Częstotliwość /f/ wyrażamy stunkiem liczby drgań, które wykonuje cząsteczka ośrodka do czasu. Jednostką częstotliwości jest 1 herc /Hz/, czyli jedno drganie w ciągu sekundy. Między częstotliwością fali /f/, długością fali / λ / i prędkością /c/ zachodzi ważna zależność :

$$c = \lambda \cdot f \quad /1/$$

Poza tym cechą istotną określającą sposób odbicia fali na granicy dwóch ośrodków jest impedancja akustyczna, która wyraża się stosunkiem ciśnienia akustycznego do prędkości akustycznej /15, 16/.

Jednym z podstawowych zjawisk wykorzystanych w diagnostyce ultradźwiękowej jest zjawisko Dopplera. Polega ono na zmianie częstotliwości fali na skutek ruchu jej źródła, bądź obiektu odbijającego tę falę. Stosując ultradźwiękową metodę dopplerowską można badać ruchome struktury biologiczne, takie jak serce, zastawki lub też wykorzystać tę metodę do pomiaru prędkości przepływu krwi w naczyniach /15, 16, 49/. Metoda ta pozwala określić kierunek przepływu krwi względem głowicy ultradźwiękowej /nadawczo-odbiorczej/. Częstotliwość dopplerowska jest ujemna, gdy krwinki oddalają się od głowicy, dodatnia - gdy się do niej zbliżają /15, 16, 49, 57, 58, 59, 60/. Zasada pomiaru przedstawiona jest na ryc.3.

Przetwornik nadawczy głowicy ultradźwiękowej wysyła w kierunku naczynia krwionośnego falę ultradźwiękową. Fala ta ulega rozproszeniu na krwinkach poruszających się w naczyniu. Fala rozproszona zmienia swoją częstotliwość w stosunku do fali nadawanej na skutek ruchu krwi, zgodnie ze zjawiskiem Dopplera.

Częstotliwość dopplerowska jest wprost proporcjonalna do prędkości przepływających krwinek, którą przedstawia zależność:

$$f_d = f_n - f_o = \frac{v}{c} f_n (\cos \theta_n + \cos \theta_o) \quad /2/$$

f_n - częstotliwość sygnału nadawczego,

f_o - częstotliwość sygnału odbiorczego,

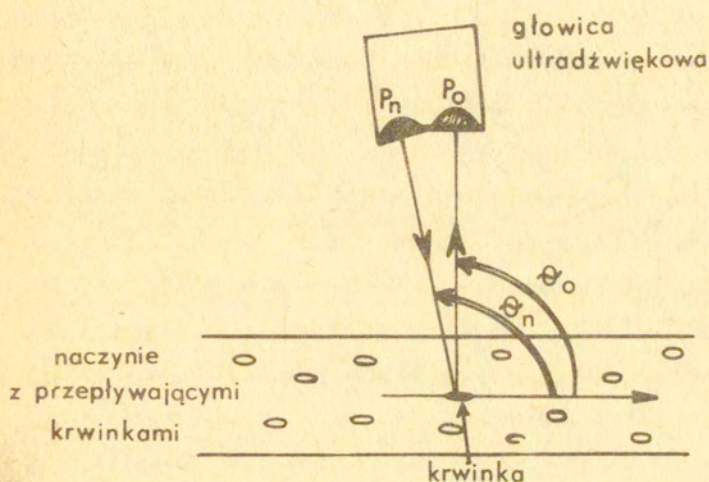
f_d - częstotliwość dopplerowska,

V - prędkość krwinek,

C - prędkość rozchodzenia się fali ultradźwiękowej we krwi,

θ_n - kąt między kierunkiem fali nadanej a kierunkiem ruchu krwi.

θ_o - kąt między kierunkiem fali odbitej a kierunkiem ruchu krwi



P_n - przetwornik nadawczy

P_o - " " odbiorczy

Ryc.3 Schemat zasady pomiaru prędkości przepływu w naczyniach przy pomocy ultradźwiękowej techniki dopplerowskiej

θ_n - kąt padania wiązki ultradźwiękowej

θ_o - kąt odbicia wiązki ultradźwiękowej

Profil prędkości krwi przepływającej w naczyniu jest funkcją promienia naczynia oraz w przypadku przepływu pulsującego również funkcją czasu. Występujące w polu wiązki ultradźwiękowej krwinki poruszają się z różną prędkością. Prędkość krwi przy ściankach naczynia jest równa zeru. Jej wartość wzrasta w kierunku środka naczynia. Sygnał odbierany przez przetwornik odbiorczy zawiera widmo częstotliwości dopplerowskich w zakresie od zera do częstotliwości proporcjonalnej do maksymalnej prędkości przepływających krwinek. Informację o prędkości przepływu krwi uzyskujemy drogą analizy sygnału o częstotliwości dopplerowskiej. Zastosowany w badaniach ultradźwiękowy detektor przepływu krwi UDP-10 pozwala na uzyskanie informacji o częstotliwości dopplerowskiej proporcjonalnej do chwilowej średniej z przekroju naczynia prędkości przepływu krwi /16/.

Na wyjściu dopplerowskiego przepływomierza otrzymujemy informację w postaci sygnału o amplitudzie wprost proporcjonalnej do chwilowej prędkości przepływu krwi, który możemy zarejestrować na taśmie rejestratora. Ponadto w słuchawkach aparatu uzyskujemy sygnał akustyczny, którego ton jest proporcjonalny do prędkości krwi, tzn. im wyższa jest prędkość, tym wyższy ton sygnału /16, 58, 59/.

Analizując sygnał akustyczny możemy określić charakter przepływu /tętniczny lub żylny/. Na podstawie uzyskanych zapisów na taśmie rejestratora otrzymujemy informację o względnych w czasie zmianach prędkości oraz kierunku przepływu krwi.

Przedstawione zalety tej metody uzasadniają fakt, że znalazła ona szerokie zastosowanie w diagnostyce chorób układu krążenia.

nia u człowieka. Spośród stosowanych dotychczas metod pomiaru przepływu krwi: temperaturowa, pletyzmograficzna oraz metoda elektromagnetyczna, jedynie metoda elektromagnetyczna umożliwia ciągły pomiar chwilowej prędkości przepływu krwi w naczyniach krwionośnych. Jednakże przy stosowaniu tej metody występują poważne ograniczenia wynikające z braku możliwości pomiaru prędkości przepływu z powierzchni skóry. Sonda pomiarowa musi być założona bezpośrednio na naczynie krwionośne. Ponadto w celu ustalenia zerowego poziomu odniesienia podczas wykonywania pomiaru wymagane jest chwilowe zatrzymanie przepływu, co nie zawsze jest obojętne dla zdrowia pacjenta /16, 58/.

a - Stosowana aparatura ultradźwiękowa

Ultradźwiękowy detektor przepływu /UDP-10/

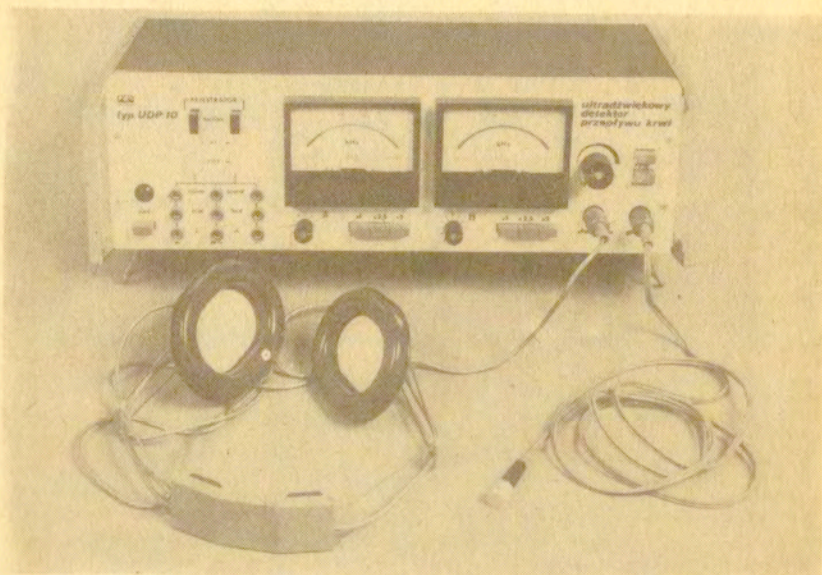
W pracy tej zastosowano aparat UDP-10 opracowany przez Zakład Ultradźwięków Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN, którego kierownikiem jest Prof. dr Leszek Filipczyński.

Aparat UDP-10 jest prostym w obsłudze przepływomierzem przeznaczonym do diagnostyki schorzeń układu sercowo-naczyniowego. Umożliwia nieinwazyjnie ocenę kierunku i prędkości liniowej krwi w naczyniach krwionośnych /ryc.4/.

Częstotliwość nadawanej fali ultradźwiękowej wynosi 8 MHz. Aparat umożliwia pomiar przepływu krwi w naczyniach krwionośnych położonych na głębokości do 5 cm pod powierzchnią skóry.

Natężenie fali nadawanej jest regulowane i wynosi 30 mW/cm² lub 100 mW/cm². Zakres mierzonej prędkości wynosi od 4 cm/sek. do 150 cm/sek. przy kącie 60° między wiązką ultradźwiękową a

naczyniem krwionośnym /16/.



Ryc.4. Ultradźwiękowy detektor przepływu UDP-10

Aparat UDP-10 posiada trzy wyjścia przeznaczone do współpracy z rejestratorem. Na wyjściu "A" uzyskujemy informację o chwilowej prędkości przepływu krwi w kierunku głowicy ultradźwiękowej. Na wyjściu "B" uzyskujemy informację o chwilowej prędkości przepływu krwi w kierunku przeciwnym, zaś na wyjściu "A-B" - sygnał sumaryczny. W pracy tej rejestrowano zawsze sygnał sumaryczny z wyjścia A-B. Ponadto aparat pozwala na kalibrację uzyskanych zapisów. Amplituda impulsu kalibracji aparatu UDP-10 odpowiada mierzonej prędkości przepływu krwi równej 20 cm/sek. przy kącie 60° między wiązką ultradźwiękową a naczyniem krwionośnym./16/.

Dwa mierniki aparatu UDP-10 wskazują średnią w czasie wartość prędkości przepływu krwi od i do głowicy ultradźwiękowej.

Urządzenie wyposażone jest w słuchawki umożliwiające osłuchiwanie sygnału dopplerowskiego odebranego od przepływającej krwi.

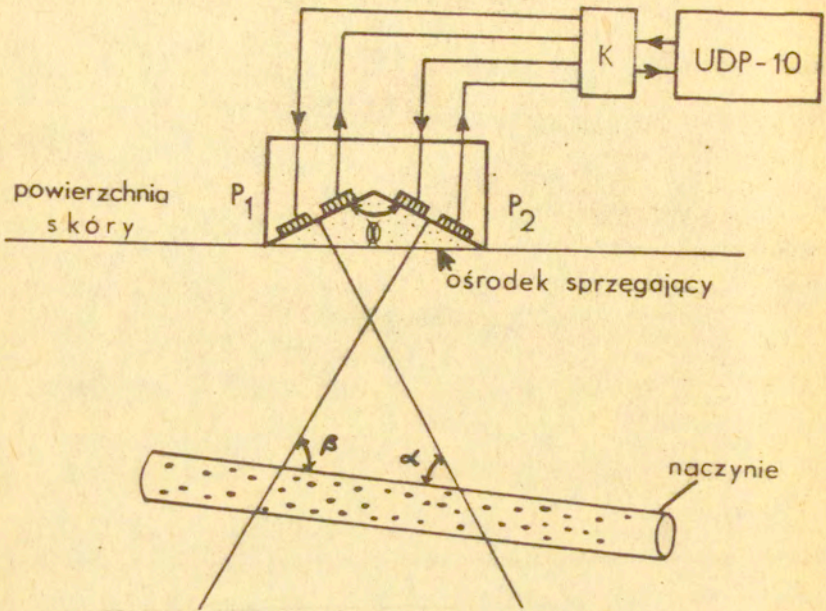
Aparat UDP-10 umożliwia uzyskanie jakościowej informacji o prędkości przepływu krwi. Do wyznaczenia bezwzględnej wartości mierzonej prędkości przepływu niezbędna jest informacja o kącie między wiązką ultradźwiękową i naczyniem krwionośnym /patrz wzór - 2/. Informację tę można uzyskać stosując opracowaną przez T.Powałowskiego /49/ głowicę ultradźwiękową z dwiema parami przetworników umieszczonych pod kątem 120° względem siebie /16, 38, 49/. Zasada pomiaru kąta przedstawiona jest na ryc.5.

Głowica ultradźwiękowa połączona jest z dopplerowskim przepływomierzem UDP-10 za pośrednictwem przełącznika K w ten sposób, że obie pary przetworników P_1 i P_2 naprzemiennie nadają i odbierają falę ultradźwiękową odpowiednio pod kątem α i β w stosunku do naczynia krwionośnego. Przy założeniu, że oś naczynia krwionośnego na badanym odcinku przebiega wzdłuż linii prostej, kąty te można wyznaczyć z zależności:

$$\alpha = \arctg \quad 1,15 / 0,5 + \frac{U_{\beta}}{U_{\alpha}} / \quad /3a/$$

$$\beta = \arctg \quad 1,15 / 0,5 + \frac{U_{\alpha}}{U_{\beta}} / \quad /3b/$$

gdzie: U_{α} = amplituda sygnału zarejestrowanego od przepływającej krwi, gdy para przetworników P_1 nadaje i odbiera falę ultradźwiękową,



Ryc.5. Zasada działania głowicy ultradźwiękowej przeznaczonej do wyznaczenia kąta między kierunkiem wiązki ultradźwiękowej i kierunkiem naczynia.

P₁ - P₂ nadawczo-odbiorcze przetworniki ultradźwiękowe

$$\sphericalangle \sphericalangle = 120^\circ$$

U_β - amplituda sygnału zarejestrowanego od przepływającej krwi, gdy para P₂ przetworników nadaje i odbiera falę ultradźwiękową.

Tę podwójną głowicę stosowano przy ocenie zmian prędkości przepływu przez wytworzone przetoki tętniczo-żylne typu Cimino Brescia /38/.

Przedstawiona metoda pomiaru kąta między falą ultradźwię-

-kową i naczyniem krwionośnym jest pracochłonna i nie pozwala na ilościowy pomiar przepływu krwi w czasie przeprowadzania badania. Optymalnym rozwiązaniem tego istotnego problemu z punktu widzenia diagnostyki jest automatyczny miernik prędkości przepływu krwi opracowany ostatnio w Zakładzie Ultradźwięków IPPT PAN /50/.

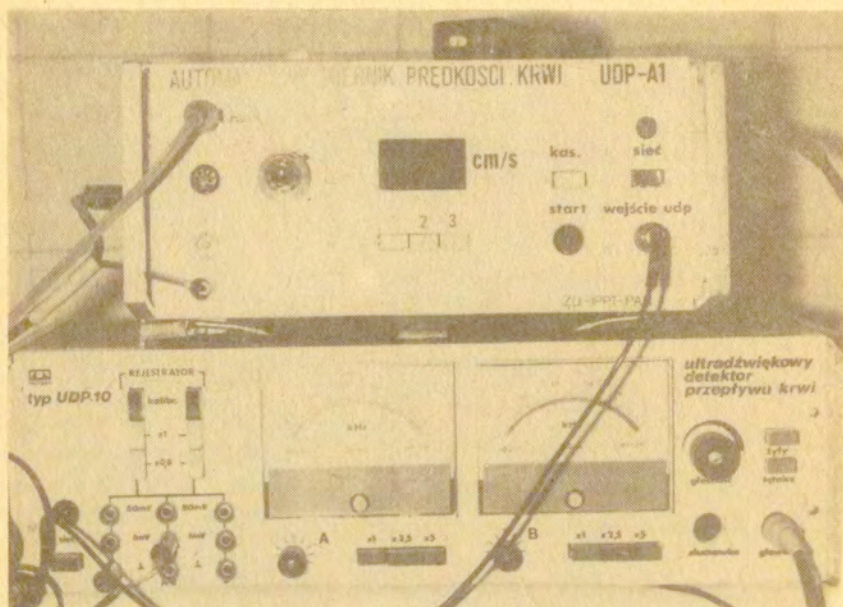
Automatyczny miernik prędkości przepływu krwi

Aparat ten składa się z trzech zasadniczych części:

- 1/ ultradźwiękowego detektora przepływu krwi UDP-10,
- 2/ głowicy ultradźwiękowej złożonej z dwóch par przetworników umieszczonych względem siebie pod kątem 120° , które naprzemiennie nadają i odbierają fale ultradźwiękowe /ryc.6/,
- 3/ układu przetwarzania danych z cyfrowym wskaźnikiem mierzonej prędkości przepływu i wyjściem analogowym przeznaczonym do połączenia z rejestratorem.

Zastosowany układ pozwala na ilościowy pomiar prędkości przepływu niezależnie od kąta, pod jakim fala ultradźwiękowa wnika do naczynia krwionośnego. Czas pomiaru wynosi 10 sekund. Na cyfrowym wskaźniku aparatu pokazywana jest maksymalna prędkość przepływu. Na taśmie rejestrowana jest chwilowa prędkość przepływu krwi, prędkość średnia za okres 5 sek i impuls kalibracji, którego amplituda odpowiada wzorcowej prędkości przepływu krwi równej 25 cm/sek - ryc.7.

Częstotliwość nadawanej fali ultradźwiękowej równa się 8 MHz.



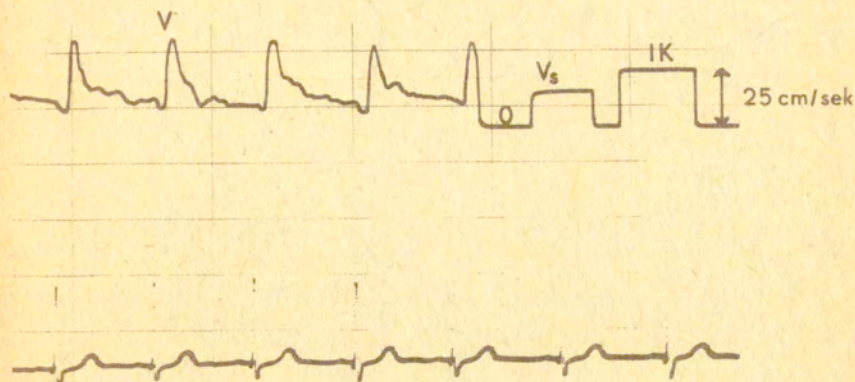
Ryc.6. Widok ogólny prototypu automatycznego miernika prędkości przepływu krwi.

b - Rejestratory

Wyniki badań wykonywane ultradźwiękowym detektorem przepływu UDP-10 były zapisywane przy pomocy II kanałowego rejestratora Sanborn. Wykonywano zapisy prędkości przepływu wraz z krzywą elektrokardiograficzną.

Przy wykonywaniu badań automatycznym miernikiem prędkości przepływu korzystano z III kanałowego rejestratora Multikard-E-30, który został specjalnie dostosowany do rejestracji ultradźwiękowych krzywych dopplerowskich z jednoczesnym zapisem EKG.

T. SZYJNA



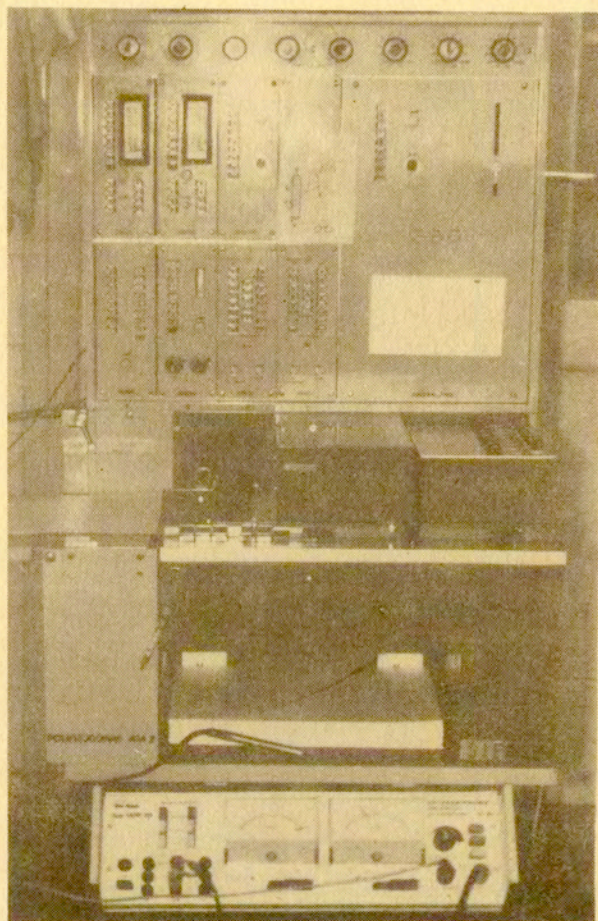
Ryc.7 Przykład zapisu prędkości przepływu krwi w tętnicy szyjnej uzyskanego przy pomocy automatycznego miernika prędkości przepływu krwi:

V - prędkość chwilowa; V_s - prędkość średnia za okres 5 sekund ≈ 18 cm/sek.; IK - impuls kalibracji, którego amplituda odpowiada prędkości 25 cm/sek.

W wybranych przypadkach stosowano ośmiokanałowy Polifizjograf /ORMED/, który umożliwiał jednoczesny zapis ultradźwiękowy, elektrokardiograficzny, fonokardiograficzny, sfigmooscylograficzny oraz fazy oddechu.

c - Metodyka badań

Badania wykonywano w ciepłym i cichym pomieszczeniu. Dzieci nie były przygotowywane farmakologicznie, jedynie wyjaśniono



Ryc. 9. Widok ogólny ośmiokanałowego Polifizjografu

Na dole- aparat UDP-10 z pojedynczą głowicą ultradźwiękową.

im zasadę badania, aby nie czuły lęku.

Głowicę ultradźwiękową przykładano do skóry nad badanym naczyniem pod kątem 60° . Jako substancji sprzęgającej używano GEL-EKG lub specjalną pastę Aquasonic, które powodują dobry kontakt głowicy z powierzchnią skóry i zabezpieczają, by na drodze wiązki ultradźwiękowej nie znalazło się powietrze, które tłumi i zniekształca rejestrację. Przy pomocy słuchawek osłuchiwano sygnał akustyczny charakterystyczny dla przepływu tętniczego i żylnego. Ułatwiło to prawidłowe ustawienie głowicy nad badanym naczyniem krwionośnym, tzn. takie, gdy wiązka ultradźwiękowa padała na środkowy strumień przepływającej krwi.

d - Bezpieczeństwo badań ultradźwiękowych

Coraz szersze stosowanie metod ultradźwiękowych spowodowało chęć wyjaśnienia, jakie jest ich działanie na struktury biologiczne. Energia ultradźwiękowa wprowadzona do ciała ludzkiego po przekroczeniu pewnych progowych wartości może działać aktywnie, a nawet destrukcyjnie. Jednym z efektów działania ultradźwięków jest zmiana części energii ultradźwiękowej w ciepło. Wykazano doświadczalnie, że wiązka ultradźwiękowa o natężeniu 65 W/cm^2 i częstotliwości 1 MHz w ciągu 2 sekund podwyższa ciepłotę tkanek o $3,4^{\circ}\text{C}$.

W diagnostycznych urządzeniach z falą ciągłą w aparatach dopplerowskich natężenie nie przekracza wartości 100 mW/cm^2 . Przy tak małych wartościach natężenia nie obserwuje się efektu termicznego.

Innym zjawiskiem powstającym pod wpływem działania ultra-

dźwięków jest zjawisko kawitacji, czyli tworzenia się mikro-
pęcherzyków gazu, które w różny sposób mogą działać destruktyw-
nie na komórki organizmu /stabilna i niestabilna kawitacja/.

Wykonano również szereg badań doświadczalnych, które miały
wykryć ewentualne uszkodzenia genetyczne. Śledzono zmiany w
chromosomach dzielących się komórek poddawanych uprzednio dzia-
łaniu ultradźwięków. Z przeglądu badań /L.Filipczyński/ 15/
wynika, że stosowana aparatura ultradźwiękowa nie powoduje
wykrywalnych metodami cytogenetycznymi zmian w strukturze
chromosomów /15/.

BADANIA WLASNE

4. Założenia, cel pracy i materiał kliniczny

Zaburzenia, jakie obserwuje się przy lewo-prawych przepływach pomiędzy łukiem aorty i tętnicą płucną, powodują szereg zmian hemodynamicznych, które zależą od wielu czynników, między innymi od różnicy ciśnień, średnicy oraz długości kanału łączącego te naczynia. Dlatego też rejestrując zmiany prędkości przepływu u dzieci spodziewano się znaleźć szereg różnic w kształcie krzywych prędkości przepływu chwilowego, średniego i maksymalnego przez badane naczynia, rejestrowanych przed i po operacji. Wykonywano również dodatkowo badania u dzieci zdrowych oraz obarczonych innymi wadami serca.

Zapisy będące odzwierciedleniem różnych prędkości przepływu krwi przez tętnicę szyjną wspólną, ramieniową i udową porównywano ze śród-operacyjnie uzyskanymi pomiarami zewnętrznej średnicy przewodu tętniczego lub stosunkiem przekroju przewodu do aorty.

Postanowiono znaleźć odpowiedź na następujące pytania:

1. Jakie zmiany krzywej prędkości przepływu można uznać za charakterystyczne dla przetrwałego przewodu tętniczego w porównaniu z zapisami uzyskanymi u dzieci zdrowych ?

2. Czy istnieje zależność między kształtem krzywej prędkości przepływu krwi przez tętnicę szyjną a średnicą zewnętrzną przewodu tętniczego mierzoną podczas zabiegu operacyjnego ?
3. Czy przetrwały przewód tętniczy wpływa na czasy trwania okresu przedwyrzutowego i fazy skurczowej oraz współczynnik kurczliwości lewej komory ?
4. Jak zmienia się maksymalna i średnia prędkość przepływu w badanych tętnicach ?
5. Czy uzyskane charakterystyczne zmiany przepływu pokrywają się z innymi badaniami kardiograficznymi i czy są pomocne w diagnostyce ?
6. Jakie inne wady mogą powodować podobne zmiany w prędkości przepływu krwi przez badane naczynia ?

Materiał kliniczny zebrany w ciągu 3 lat składał się ze 150 dzieci w wieku od 6 miesięcy do 15 lat, u których wykonano 210 badań. W grupie kontrolnej było 50 dzieci z prawidłowym układem krążenia, które przebywały w I Klinice Chirurgii Dzieci z powodu niewielkich urazów, przepuklin lub zabiegów z zakresu chirurgii plastycznej.

Zasadniczą grupę 60 dzieci stanowili pacjenci z przetrwałym przewodem tętniczym, u których zapisy prędkości przepływu krwi wykonywano przed zabiegiem, a u 50 dzieci z tej grupy także w kilka lub kilkanaście dni po podwiązaniu przetrwałego przewodu tętniczego.

Po uzyskaniu nowej aparatury u 10 chorych wykonano badania przy pomocy automatycznego miernika prędkości przepływu krwi, oceniając wartość maksymalną i średnią prędkość przepływu przez

badane naczynia.

Przedostatnią grupę 10 stanowiły dzieci z zespołem Fallota po zespoleniu tętnicy podobojczykowej z tętnicą płucną, metodą Blalock-Taussig.

Ponadto przebadano dodatkowo grupę 20 dzieci, znajdujących się pod stałą opieką poradni z powodu różnego stopnia zwężenia zastawki aortalnej.

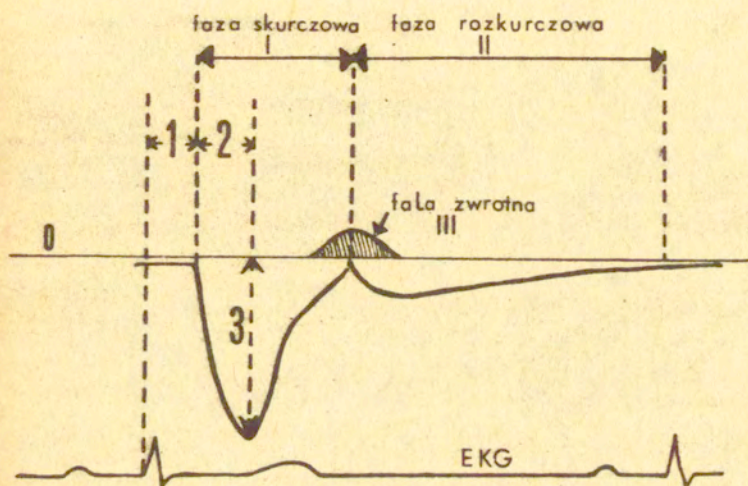
Zestawienie wykonanych badań	Liczba badań	Liczba dzieci
1. U dzieci zdrowych	50	50
2. U dzieci chorych:		
a/ przed podwiązaniem przewodu tętniczego	60	60
b/ po podwiązaniu przewodu tętniczego	50	
c/ z zapisem automatycznym przed operacją	10	
d/ z zapisem automatycznym po operacji	10	10
e/ po zespoleniu Blalock-Taussig	10	10
f/ z zastawkowym zwężeniem aorty	20	20
Razem	210	150

5. Pomiar prędkości przepływu krwi w tętnicach obwodowych u
dzieci zdrowych.

Ultradźwiękowa technika dopplerowska pozwala ustalić kierunek ruchu krwi oraz zmiany jej prędkości. Dzięki tej metodzie otrzymujemy zupełnie nowe informacje o ruchu krwi znajdującej się w łożysku naczyniowym, uzyskując pośrednie wiadomości o stanie łożyska naczyniowego i czynności serca. Konstrukcja aparatu UDP-10 pozwala na osłuchiwanie przy pomocy słuchawek zjawisk akustycznych, charakterystycznych dla przepływu tętniczego lub żylnego. Ułatwia to dokładną rejestrację krzywych prędkości przepływu krwi przez te naczynia. Najgłośniejsze szmery są słyszalne, gdy głowicę ultradźwiękową przyłożymy do skóry nad naczyniem pod kątem 60° oraz gdy wiązka ultradźwiękowa pada na środkową część strumienia krwi. Dobry kontakt między głowicą a powierzchnią skóry uzyskano w sposób opisany na stronie 31. Szmer przepływu tętniczego znacznie różni się od przepływu żylnego i pojawia się z pewnym opóźnieniem w stosunku do załamka S w EKG i jest zależny od oddalenia badanego naczynia od serca. Jest to dźwięk o zmiennej częstotliwości, szybko narastający w skurczu, a następnie malejący w rozkurczu.

Osluchując przepływ w tętnicy szyjnej rozróżniamy stały i monotony szmer o niższej częstotliwości, na który nakłada się ostry szmer pulsacyjny, będący następstwem dużego przyspieszenia przepływu krwi, rozpoczynającego się po załamku S w EKG. Metodą osłuchiwania można ocenić intensywność przepływu, ale nie udaje się rozróżnić kierunku przepływu krwi. Dokładniejsza

ocena zmian szybkości jest możliwa na podstawie uzyskanych zapisów. Są one odzwierciedleniem chwilowych zmian prędkości krwi w naczyniu w stosunku do ewolucji serca odczytywanych z jednoczesnego zapisu EKG. Przepływ krwi w dużych naczyniach tętnicznych ma charakter dwu- lub trójfazowy. Schemat zmian prędkości przepływu krwi w naczyniach tętnicznych przedstawia ryc.10.

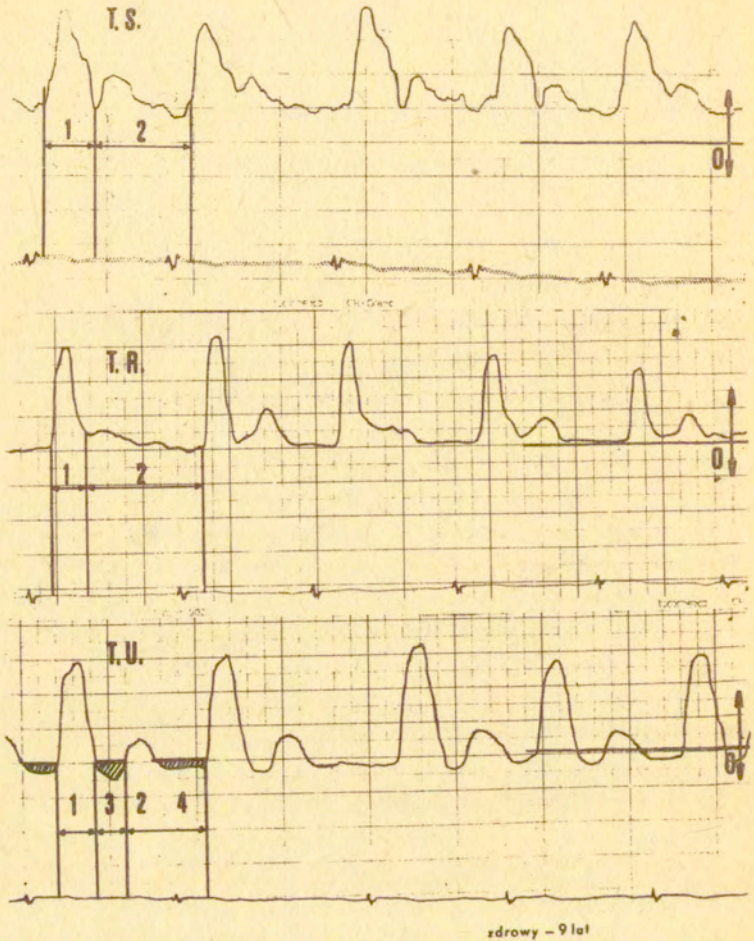


- 1 - opóźnienie fazy skurczowej
- 2 - czas narastania prędkości
- 3 - maksymalna prędkość liniowa fazy skurczowej

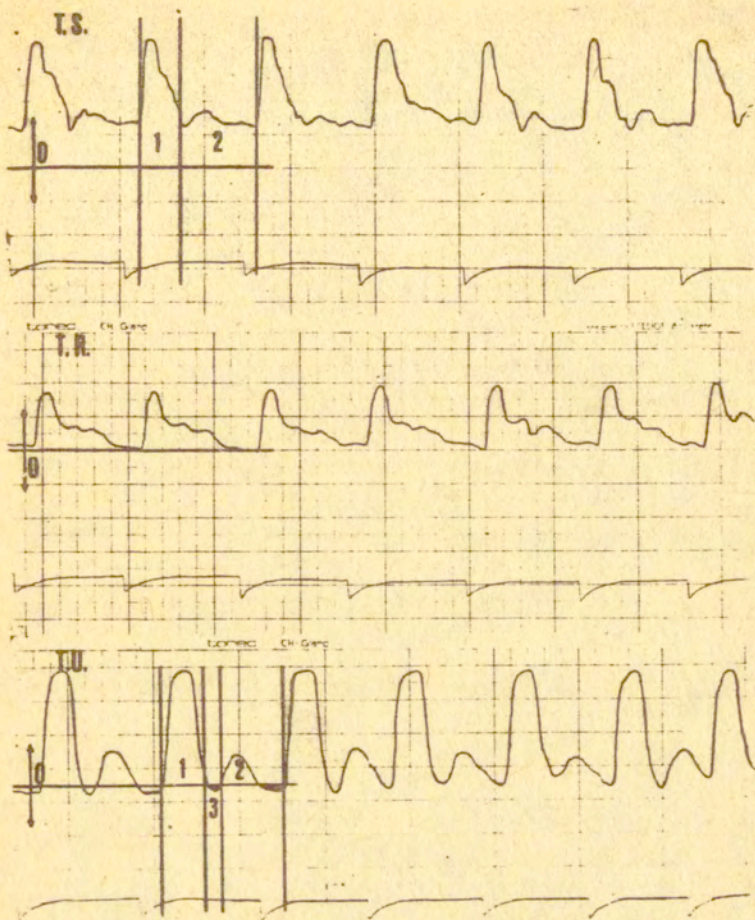
Ryc.10. Schemat zmian prędkości przepływu krwi w naczyniach tętnicznych wg Nimury

I - faza skurczowa ; II - faza rozkurczowa ;

III - fala zwrotna przepływu

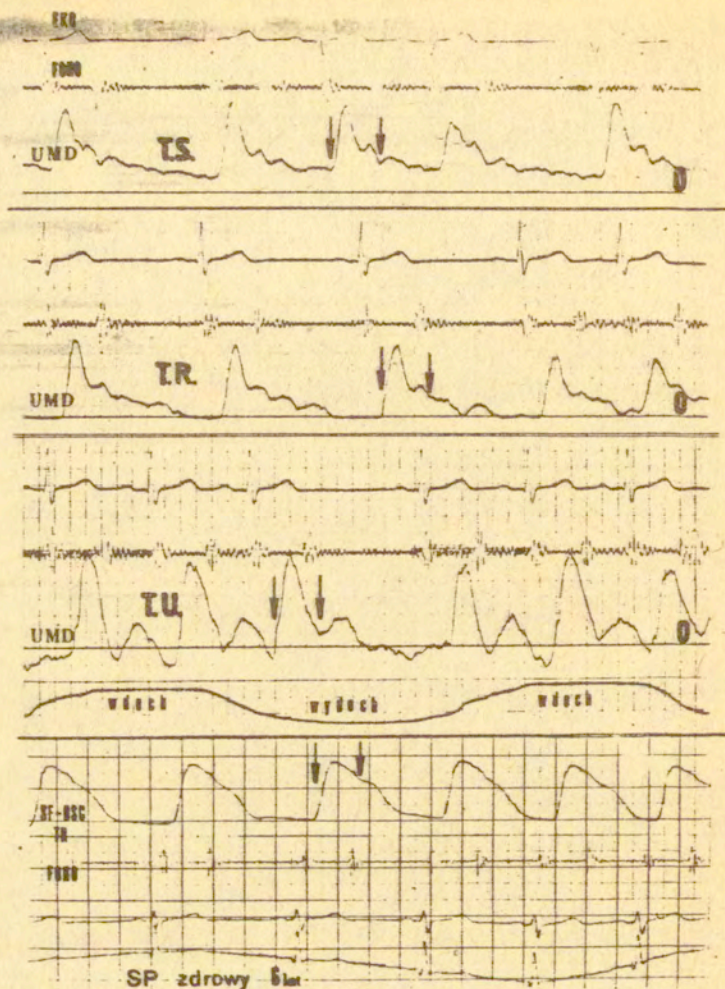


Ryc.11. Zapis krzywych ultradźwiękowych uzyskany u 9-letniego zdrowego dziecka. Krzywe przedstawiają zmiany prędkości przepływu krwi w tętnicach: T.S.-tętnica szyjna; T.R.-tętnica ramieniowa; T.U. - tętnica udowa; 1 - faza skurczowa; 2 - faza rozkurczowa; 3 i 4 - zwrotny przepływ w tętnicy udowej na końcu fazy skurczowej i rozkurczowej.



zdrowy - 3,5 roku

Ryc.12. Zapis zmian prędkości w tętnicy szyjnej /T.S./, ramiennej T.R. i udowej T.U. u zdrowego, 3,5-letniego dziecka. 1 - faza skurczowa; 2 - faza rozkurczowa; 3 - niewielka fala zwrotna. Zapis u dołu: sygnał elektryczny odpowiadający zespołowi QRS



Ryc.13. Krzywe prędkości przepływu krwi w tętnicy szyjnej /T.S./, ramieniowej /T.R./ i tętnicy udowej /T.U./ z zapisem ekg, fonokardiograficznym, sfigmooscylograficznym i oddechem u 6-letniego, zdrowego dziecka. Strzałkami zaznaczono czas trwania fazy skurczowej.

Pierwsza faza skurczowa przepływu tętniczego rejestrowana jest z odpowiednim dla danego naczynia opóźnieniem pomiędzy załamkiem S w EKG i II tonem serca. Pod koniec fazy skurczowej może ujawnić się krótki odcinek przepływu wstecznego, polegający na przejściu krzywej na przeciwną stronę linii zerowej w stosunku do fazy skurczowej. Faza rozkurczowa ma przebieg wyrównany oraz mniejszą wysokość wychylenia w stosunku do linii zerowej. Jest ona rejestrowana z odpowiednim opóźnieniem po zamknięciu zastawki aortalnej, to jest po II tonie serca. Faza skurczowa jest zależna od wydolności mięśnia sercowego, aktualnej siły wyrzutu lewej komory, a w mniejszym stopniu od oporu naczyń obwodowych. Natomiast faza rozkurczowa jest odzwierciedleniem stanu łożyska naczyniowego, to jest stopnia jego wypełnienia, elastyczności naczyń i oporu obwodowego.

U dzieci badanych metodą dopplerowską ustalono prawidłowe kształty krzywych chwilowych zmian prędkości przepływu krwi w tętnicach /ryc.11, 12, 13/.

Zapis z tętnicy szyjnej wspólnej

Wznoszące się ramię fali skurczowej jest bardzo strome i rozpoczyna się w krótkim czasie po zespole komorowym QRS /0,06-0,12 sek/. Wierzchołek fali jest ostry, a ramię zstępujące obniża się łagodnie. Czas trwania fazy skurczowej wynosi 0,18-0,24 sek, zgodnie z okresem wyrzutu lewej komory. Po fazie skurczowej krzywa łagodnie obniża się, ale w warunkach prawidłowych nie osiąga poziomu zerowego, co świadczy o stałej prędkości przepływu krwi przez tętnicę szyjną w fazie rozkurczowej.

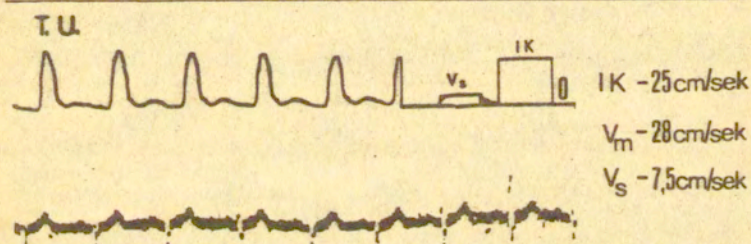
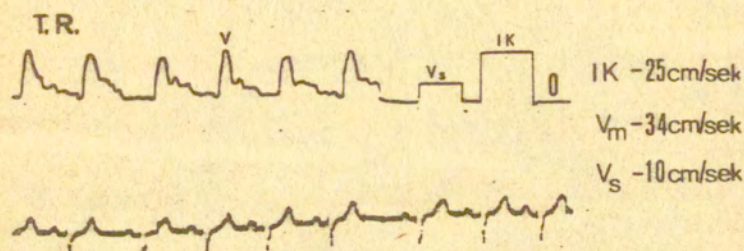
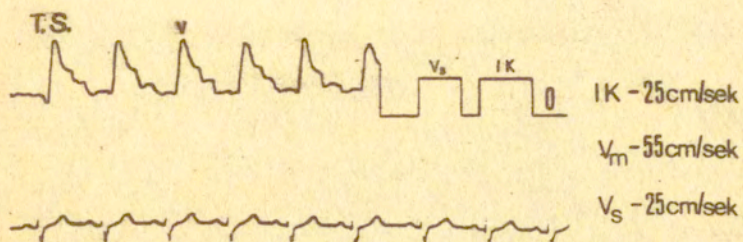
Związane jest to z małym oporem naczyniowym, jaki występuje w naczyniach mózgowych. Maksymalna prędkość przepływu przez tętnice szyjne u niektórych dzieci dochodzi do 50-60 cm/sek. Prędkość średnia przepływu przez nie jest natomiast wyraźnie większa niż w innych, bardziej obwodowych tętnicach i wynosi od 20 do 30 cm/sek. /ryc.14/.

Zapis z tętnicy ramiennej

Ryc. 11, 12, 13 przedstawiają na drugiej pozycji od góry krzywe przepływu w tętnicy ramiennej w zgięciu łokciowym. Ramię wstępujące fazy skurczowej jest mniej strome, a opóźnienie w stosunku do zespołu QRS pojawienia się fazy skurczowej wynosi w zależności od wieku od 0,10 do 0,16 sek. W tętnicach ramieniowych u dzieci zdrowych nie rejestruje się fali zwrotnej przepływu. Faza rozkurczowa ma małą amplitudę, a w końcowym odcinku linia prędkości przepływu zbliża się do zera. Stan ten łatwo ulega zmianom na przestrzeni dłuższego odcinka rejestracji. Maksymalna prędkość liniowa w tętnicy ramiennej jest mniejsza niż w tętnicy szyjnej i wynosi 25 do 35 cm/sek. Prędkość średnia wynosi około 10 do 15 cm/sek. /ryc.14/.

Zapis z tętnicy udowej

Zapis zmian prędkości przepływu krwi w tętnicy udowej jest zwykle trójfazowy. Faza skurczowa występuje z dużym opóźnieniem w stosunku do zespołu QRS od 0,16 do 0,24 sek. Wierzchołek fazy skurczowej jest zaokrąglony, a jej ramiona wznoszące się i



zdrowy - 6 lat

Ryc. 14. Krzywe ultradźwiękowe zmian prędkości przepływu krwi w trzech tętnicach, rejestrowane na 3-kanalowym aparacie F-30 z zastosowaniem automatycznego miernika prędkości przepływu krwi. IK - impuls kalibracji ; V_m - szybkość maksymalna; V_s - szybkość średnia

opadające są symetryczne. Część skurczowa przechodzi w krótką fazę przepływu zwrotnego, po której następuje wyrównana faza rozkurczowa. Wykazuje ona dużą zmienność. U jednych dzieci stopniowo zbliża się do zera, u innych pod koniec fazy rozkurczowej pojawia się tuż przed następną fazą skurczową ponownie przepływ zwrotny /ryc. 11, 12, 13/. Maksymalna prędkość skurczowa rejestrowana w tętnicach udowych wynosi około 40 cm/sek, ale średnia prędkość jest najniższa spośród wszystkich badanych tętnic i osiąga 3,5 do 10 cm/sek./ryc.14/.

6. Zmiany krzywych prędkości przepływu krwi u dzieci z przetrwałym przewodem tętniczym

a - Badania przed operacją

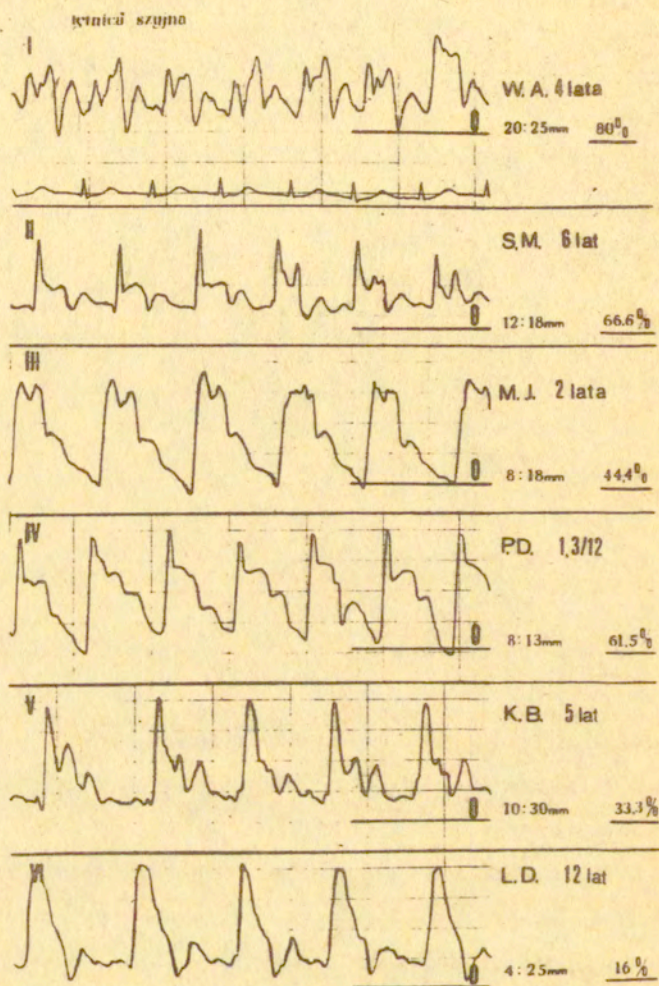
Ultradźwiękowym badaniom dopplerowskim poddano 60 dzieci w wieku od 6 miesięcy do 12 lat, u których na podstawie badań kardiologicznych, poligrafii i charakterystycznych objawów radiologicznych ustalono rozpoznanie przetrwałego przewodu tętniczego. Dzieci te miały typowe objawy kliniczne bez cech nadciśnienia płucnego i nie wymagały cewnikowania serca czy aortografii. Rejestrowano krzywe zmian prędkości przepływu w ten sam sposób jak u dzieci zdrowych, to jest w tętnicach szyjnych wspólnych, ramieniowych oraz udowych.

Tętnice szyjne wspólne. Zmiany kształtu krzywych prędkości przepływu, które obserwowano u dzieci z przetrwałym przewodem tętniczym były charakterystyczne, ale jednocześnie dość różnorodne. Ta różnorodność jest prawdopodobnie związana ze zmiennością

warunków anatomicznych i hemodynamicznych, jakie cechuje ten rodzaj wady. Najbardziej charakterystyczną cechą jest częściowy spadek prędkości we wczesnoskurczowej fazie przepływu. Manifestuje się on rozszczepieniem wierzchołka fali skurczowej, podobnym do litery "M". Poszczególne dwa wzniesienia tej fali, jak i wcięcie środkowe pomiędzy nimi jest zmienne i zależne od wielkości przecieku aortalno-płucnego, a nawet od fazy oddechowej. Chwilowe zmniejszenie się prędkości maksymalnego przepływu jest wywołane nakładaniem się wstecznego odpływu krwi do tętnicy płucnej. Przepływ w tętnicy szyjnej często w okresie skurczu zwalniał się poniżej poziomu wyjściowego, chociaż nigdy nie spadał poniżej poziomu zerowego.

Głębokość wcięcia na szczycie fali skurczowej jest zależna od różnicy ciśnień między aortą i tętnicą płucną, średnicy i długości przewodu tętniczego oraz różnicy oporów naczyniowych w krążeniu systemowym i płucnym. Różnokształtne fale "M" porównywano ze średnicą zewnętrzną przetrwałego przewodu tętniczego oraz jego stosunkiem do średnicy aorty, który jest jednym z głównych elementów, odpowiedzialnych za wielkość przecieku aortalno-płucnego.

U 30 dzieci badanych w okresie przedoperacyjnym stwierdzono niski poziom przepływu stałego, który jest rejestrowany na wyższym poziomie u dzieci zdrowych. U 19 pacjentów zanotowano w okresie późnoskurczowym spadek prędkości do zera. W 8 przypadkach, tam gdzie średnica przewodu tętniczego była zbliżona do średnicy aorty, obserwowano nawet przepływ wsteczny w czasie trwania rozkurczu.



Ryc.15. Przykłady krzywych zmian prędkości przepływu krwi w tętnicach szyjnych u dzieci z przetrwałym przewodem tętniczym przed operacją. Obok każdej krzywej wskazany jest wiek dziecka, stosunek wymiarów zewnętrznych przewodu tętniczego i aorty oraz jego wartość procentowa.

Wśród 60 badanych dzieci fala "M" w tętnicy szyjnej występowała u 55 chorych, co stanowi 91,7 % badanych. Spadek prędkości do zera w końcu fazy rozkurczowej zarejestrowano u 19 pacjentów, co stanowi 31,7 % ogólnej liczby badanych, a u 8 stwierdzono zmianę kierunku przepływu w okresie trwania fazy rozkurczowej - stanowi to 13,3 %.

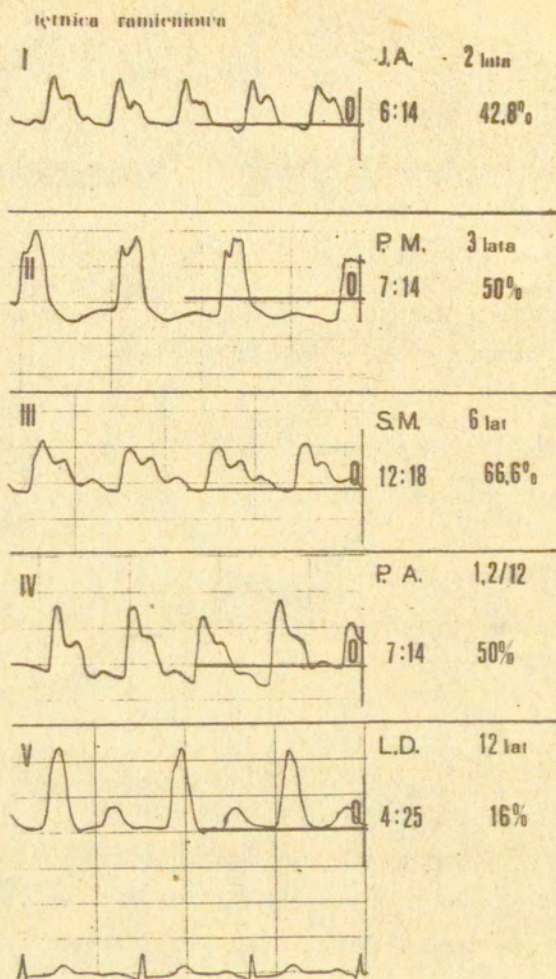
Tętnica ramieniowa. Zmiany krzywych prędkości przepływu w tętnicach ramieniowych są również charakterystyczne, choć nie są tak wyraźne. Wcięcie przypominające literę "M" stwierdzono u połowy badanych dzieci na szczycie fali skurczowej, bądź na jej ramieniu zstępującym, które łagodnie obniżało się do poziomu linii zerowej.

U połowy badanych stwierdzono znaczną falę zwrotną, która często pogłębiała się w czasie wdechu /ryc.16/.

Wcięcie naśladujące falę "M" w fazie skurczowej stwierdzono u 32 dzieci - 53,3 % badanych, natomiast falę zwrotną w okresie trwania fazy rozkurczowej u 31 chorych - 51,6 %.

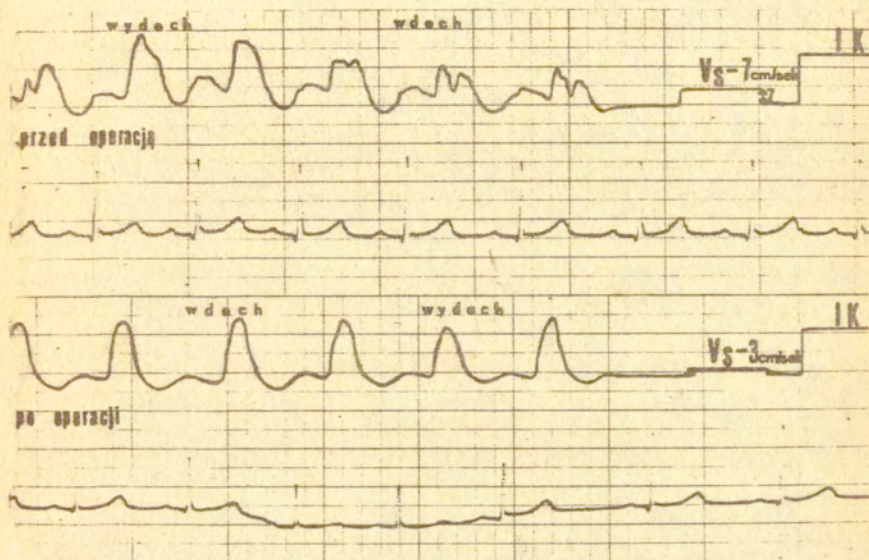
Tętnica udowa. Krzywe prędkości przepływu krwi przez tętnice udowe u dzieci chorych wykazywały istnienie drobnego załamka na wstępującym ramieniu fazy skurczowej. Załamek ten odpowiada chwilowemu zmniejszeniu się prędkości przepływu w tętnicy udowej. U dzieci, z którymi można było nawiązać współpracę w czasie badania, podczas głębokiego wdechu rejestrowano duży ujemny załamek na szczycie fali skurczowej, który ustępował przy wydechu /ryc.17/.

Nie zawsze jednak w odpowiedzi na głęboki wdech pojawiała się wcięcie w czasie fazy skurczowej - niekiedy widoczne było

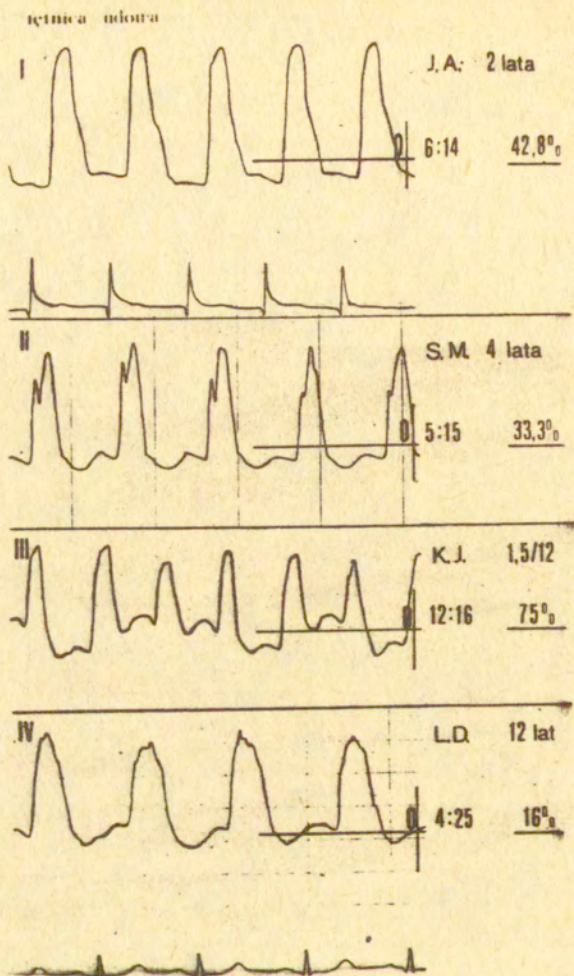


Ryc. 16. Przykłady krzywych ultradźwiękowych uzyskanych z tętnic ramieniowych u dzieci przed podwiązaniem przewodu tętniczego. Obok każdej krzywej jest wiek dziecka i wymiary przetrwałego przewodu tętniczego w stosunku do średnicy aorty oraz ich stosunek procentowy.

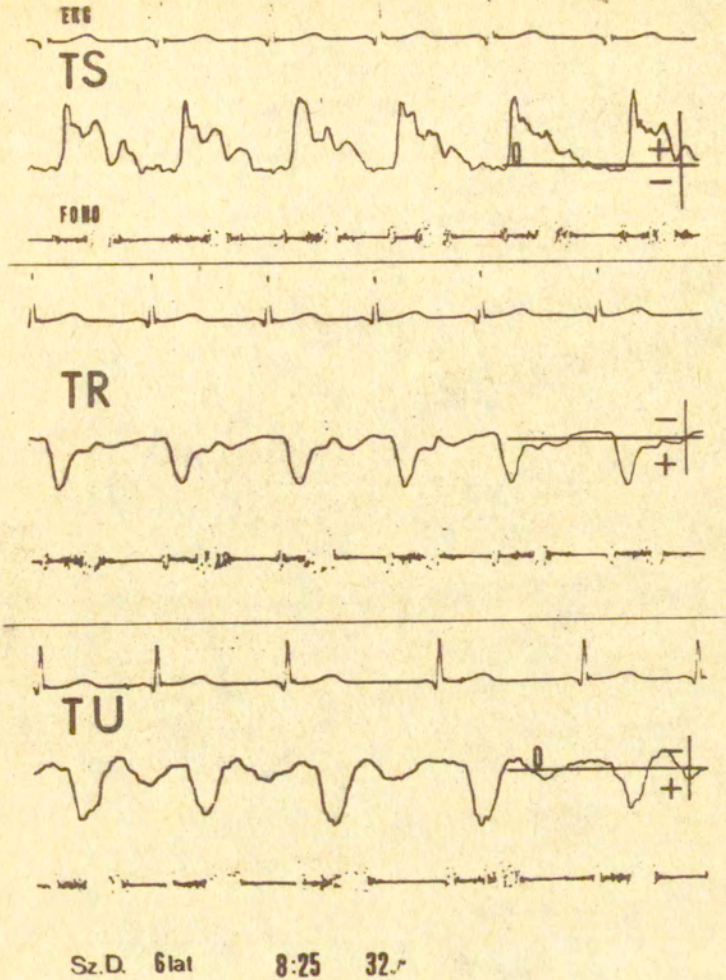
TĘTNICA UDOWA



Ryc.17. Zapis prędkości przepływu krwi przez tętnicę udową przed operacją i po zabiegu. Zapisy wykonane przy głębokim wdechu i wydechu. Zapis górny ilustruje załamki na szczytach fal skurczowych w okresie wdechu, które przy wydechu zanikają. Zapis dolny u tego samego dziecka po operacji - przy wdechu i wydechu nie obserwuje się załamków ujemnych w czasie fazy skurczowej.



Ryc.18. Cztery przykłady krzywych prędkości przepływu przez tętnicę udową u dzieci przed operacją. Zaznaczony jest wiek badanych dzieci oraz stosunek liczbowy i procentowy wymiarów przetrwałego przewodu tętniczego i aorty. Na przykładach I, III i IV widać okresowo występujące odwrócenie kierunku przepływu krwi w fazie rozkurczowej związane z wdechem.



Ryc. 19. Zapis prędkości przepływu u 6 letniego dziecka z przewodem tętniczym o średnicy 8 mm, aorty 25 mm, stosunek obu wyników - 32 %. TS - tętnica szyjna; TR - tętnica ramieniowa, TU - tętnica udowa. Na tętnicach obu kończyn zapisy odwrócone z powodu odwrotnego ustawienia głowicy

tylko znaczne pogłębienie się przepływu zwrotnego w czasie trwania fazy rozkurczowej /ryc.18/.

Małe wcięcie na wstępującym ramieniu fazy skurczowej wystąpiło u 23 chorych - 38,3 %. U 47 dzieci zarejestrowano zwrotną falę przepływu w fazie rozkurczowej w tętnicy udowej. Stanowi to 78,3 % badanych dzieci przed operacją.

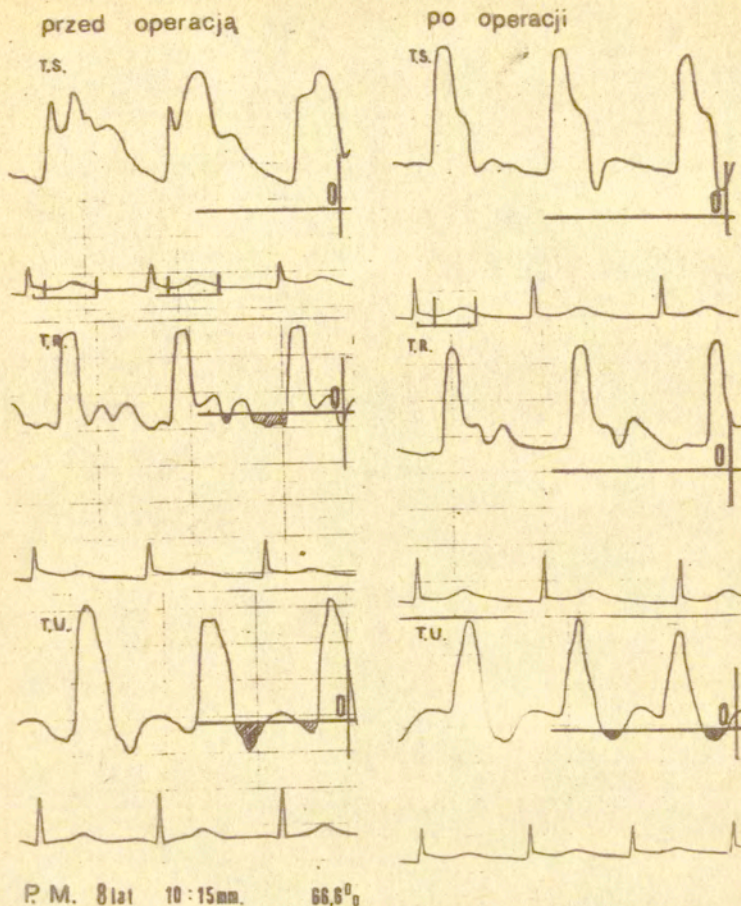
b - Badania po podwiązaniu przewodu tętniczego

Badania pooperacyjne wykazały normalizację zapisów szybkości przepływu krwi we wszystkich tętnicach. Wynikały one ze zmiany warunków hemodynamicznych i anatomicznych po podwiązaniu przetrwałego przewodu tętniczego. Badaniom pooperacyjnym z różnych względów poddano 50 dzieci, gdyż 10 zostało przeniesionych na inny oddział lub wypisanych do domu w okresie awarii aparatury rejestrującej.

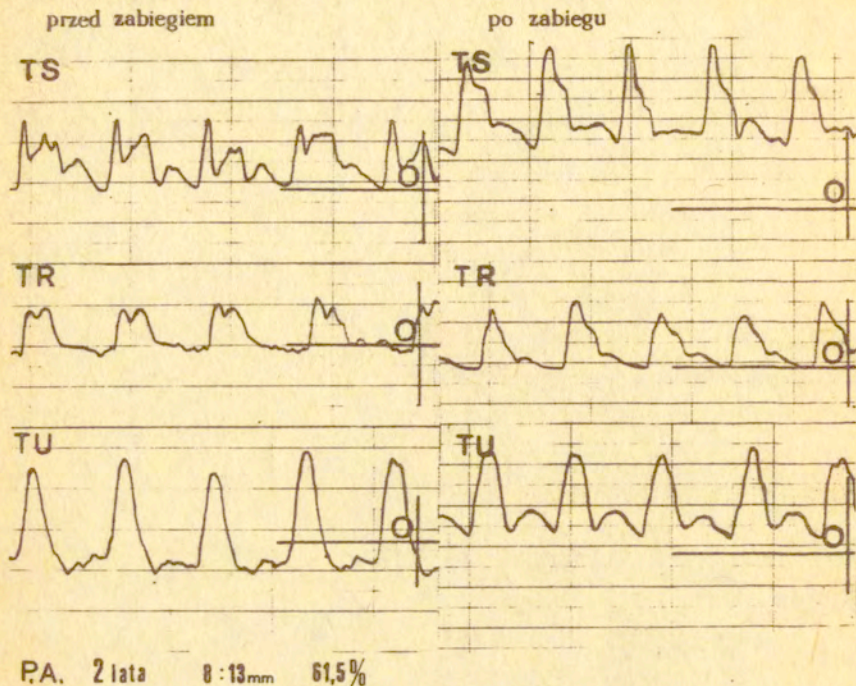
Tętnica szyjna. W zapisie zmian prędkości przepływu nie rejestrowano fali "M" w fazie skurczowej. Fala "M" nie była zarejestrowana u żadnego z dzieci, u których była obserwowana w okresie przedoperacyjnym /ryc.20, 21, 22/.

U wszystkich operowanych dzieci wyraźnie podnosił się poziom przepływu stałego w czasie trwania fazy rozkurczowej.

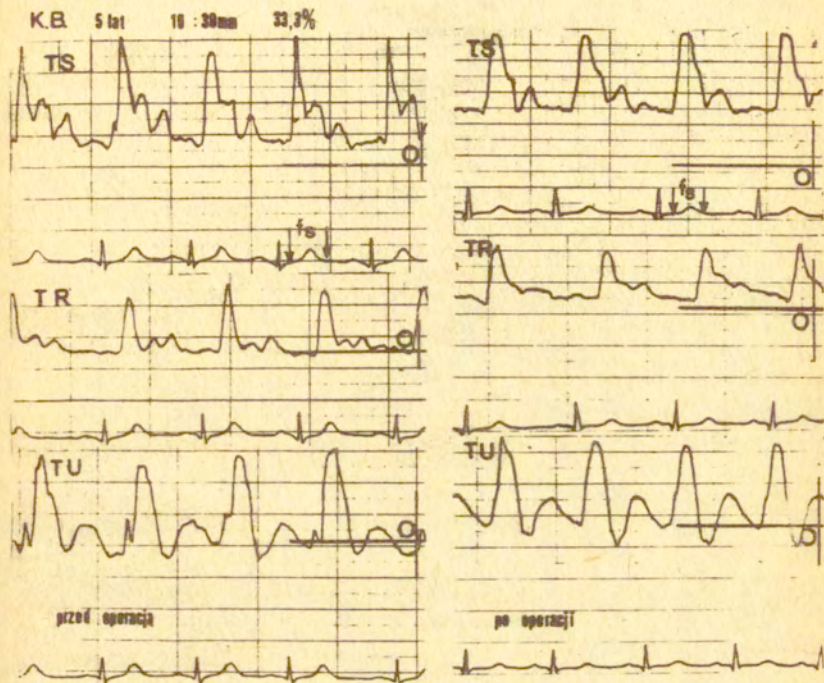
Tętnica ramieniowa. W zapisach zmian prędkości przepływu ustępowała fala "M". W fazie rozkurczowej ustępowała również fala zwrotna przepływu lub też pojawiał się przepływ ciągły /44 dzieci/. Fala zwrotna ustępowała u wszystkich dzieci, u których była obecna przed operacją /ryc. 20, 21, 22/.



Ryc. 20. Ultradźwiękowe krzywe zmian prędkości przepływu krwi zarejestrowane u dziecka 8-letniego z przetrwałym przewodem tętniczym przed i po operacji. TS - tętnica szyjna, TR - tętnica ramieniowa, TU - tętnica udowa. Zaznaczony poziom "0" przepływu. Pola zakreskowane przedstawiają przepływ zwrotny w tętnicy ramieniowej i udowej. Po operacji w tętnicy ramieniowej widać wzrost poziomu przepływu



Ryc. 21. Zapisy zmian prędkości przepływu rejestrowane u dziecka 2-letniego, u którego grubość przewodu tętniczego stanowiła 61,5 % średnicy aorty. Przed operacją widoczne fale "M" i niski poziom przepływu stałego w tętnicy szyjnej. Mała fala "M" na szczycie fazy skurczowej w tętnicy ramieniowej z niewielkim przepływem zwrotnym w końcu fazy rozkurczowej. Masywna fala zwrotna w tętnicy udowej. Po operacji ustąpienie tych zmian ze wzrostem przepływu stałego najwyraźniej występującym w tętnicy szyjnej.



Ryc.22. Dziecko 5-letnie z przetrwałym przewodem tętniczym, którego średnica oceniana w czasie zabiegu operacyjnego miała 10 mm, średnica aorty - 30 mm. Zapis prędkości przepływu krwi przez tętnicę szyjną /TS/ z charakterystyczną falą "M". Strzałkami zaznaczony czas trwania fazy skurczowej /fs/. Na krzywej prędkości przepływu przez tętnicę udową /TU/ zaznaczony załamek na wstępującym ramieniu fazy skurczowej. Po operacji stwierdzono ustąpienie wyżej opisanych zmian, znaczny wzrost przepływu stałego w tętnicy szyjnej wspólnej oraz skrócenie czasu trwania fazy skurczowej.

Tętnica udowa. Krzywe prędkości przepływu wykazały zanik dodatkowego załamka na wstępującym ramieniu fazy skurczowej. U 43 dzieci ustąpił zwrotny przepływ w czasie trwania fazy rozkurczowej.

U wszystkich dzieci, które podczas wdechu miały dodatkowy ujemny załamek na szczycie fazy skurczowej, po operacji nie występował, /ryc.17/. U chorych, u których w czasie wdechu znacznie pogłębiał się przepływ zwrotny w fazie rozkurczowej, zapisy pooperacyjne nie wykazywały różnic w poziomie przepływu.

c - Porównanie odcinków czasowych

Zmiany hemodynamiczne, o których wspomniano poprzednio, powodują u dzieci z przetrwałym przewodem tętniczym objęściowe przeciążenie lewej komory. Spowodowane jest to zwiększonym powrotem żylnym do lewego przedsionka i lewej komory. Krzywe przepływu krwi rejestrowano jednocześnie z zapisem EKG. Umożliwiło to porównanie czasu trwania okresu przedwyrzutowego. Oznaczono okres przedwyrzutowy, trwający od końca zespołu QRS do początku fazy skurczowej oraz okres trwania fazy skurczowej, który jest zbliżony do czasu wyrzutu lewej komory i zależy między innymi od objętości wyrzutowej lewej komory, stanu zastawki aortalnej i wielkości oporu systemowego. Spodziewano się przy porównywaniu tych odcinków czasowych uzyskać znaczne różnice w badaniach przed i pooperacyjnych. Porównano również stosunek okresu przedwyrzutowego do czasu trwania fazy skurczowej w zapisach przed i pooperacyjnych. Okazało się, że u wszystkich dzieci badanych przed operacją okres przed-

wyrzutowy trwał 0,04 do 0,08 sek./średnia - 0,058 sek./; po operacji zaś wydłużał się od 0,07 do 0,10 sek. /średnia - 0,086 sek./. Czas trwania fazy skurczowej wynosił natomiast przed zabiegiem 0,18 do 0,26 sek./średnia - 0,22 sek/, a po podwiązaniu przewodu tętniczego skracał się do 0,12 - 0,22 sek. /średnia - 0,18 sek./ /ryc.23/. Stosunek trwania okresu przedwyrzutowego do czasu trwania fazy skurczowej jest wskaźnikiem kurczliwości lewej komory /43, 61/. Wartości przedoperacyjne tego wskaźnika wahały się od 0,15 - 0,33 /średnia - 0,26/, po operacji obserwowano we wszystkich przypadkach wzrost do 0,33-0,66 /średnia - 0,48/. Szczegółowe wyniki u 42 badanych są przedstawione w tabeli 1,

Z przedstawionego zestawienia obliczano wartości średnich arytmetycznych oraz ich odchylenia standardowe /S/ według małej próby statystycznej Studenta.

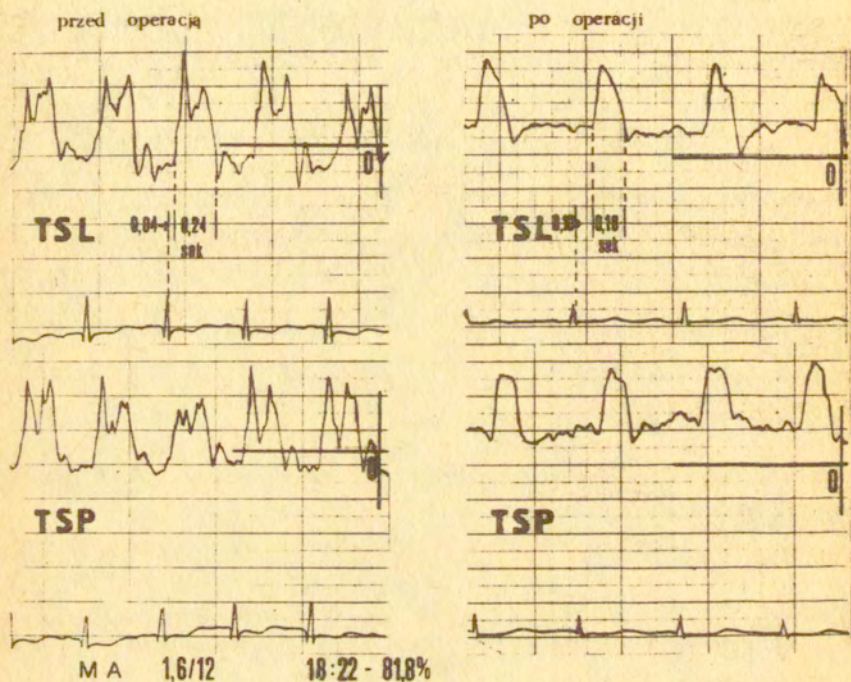
Wskaźnik różnicy istotnej /t/

$$t = \frac{x_1 - x_2}{\sqrt{\frac{S^2}{n_1} + \frac{S^2}{n_2}}} \quad n_1 = n_2 = 42$$

średnie odchylenie standardowe :

$$S_n = \pm \sqrt{\frac{\sum (\bar{x}_1 - \bar{x})^2}{n}}$$

Procent przypadkowości /P/ jest istotny, gdy mieści się między 0,05 a 0,01, co wskazuje na statystycznie zmienną różnicę.



Ryc.23. Zapis prędkości przepływu krwi przez tętnicę szyjną lewą /TSL/ i prawą /TSP/ rejestrowany przed i po operacji u dziecka z przetrwałym przewodem tętniczym. Okres przedwyrzutowy oraz czas trwania fazy skurczowej przykładowo oznaczono dla lewej tętnicy szyjnej. Czas przedwyrzutowy z 0,04 sek. wydłużył się do 0,10 sek. a czas trwania fazy skurczowej z 0,24 sek. skrócił się do 0,18 sek.

Tabela 1

Lp.	Pacjenci	Wiek	Stosunek procentowy średnicy przewodu do średnicy cewy sorty	Okres przedwzrostowy przed i po operacji	Różnica	Czas trwania fazy skurczowej przed i po operacji	Różnica	Wskaźnik kurczliwości komory przed i po operacji
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	S.J.	6/12	43,7 %	0,05 0,07	+ 0,02	0,18 0,18	0,0	0,28 0,39
2	P.U.	10/12	81,8 %	0,04 0,08	+ 0,04	0,22 0,18	-0,04	0,18 0,44
3	L.A.	10/12	50,0 %	0,04 0,08	+ 0,04	0,18 0,16	-0,04	0,22 0,5
4	P.A.	1,2/12	50,0 %	0,06 0,08	+ 0,02	0,22 0,16	-0,05	0,27 0,5
5	P.D.	1,3/12	61,5 %	0,04 0,08	+ 0,04	0,23 0,16	-0,07	0,17 0,5
6	K.J.	1,5/12	75,0 %	0,06 0,08	+ 0,02	0,20 0,17	-0,03	0,3 0,47
7.	M.A.	1,6/12	81,8 %	0,04 0,10	+ 0,06	0,22 0,18	-0,04	0,18 0,55
8.	M.J.	2	44,4 %	0,06 0,09	+ 0,03	0,24 0,17	-0,07	0,29 0,52
9	J.A.	2	42 %	0,07 0,09	+ 0,02	0,20 0,16	-0,04	0,32 0,56

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	Ch.A.	2,8/12	66,6 %	0,06 0,08	+ 0,02	0,20 0,18	- 0,02	0,3 0,55
11	H.Z.	1,10/12	50,0 %	0,05 0,08	+ 0,03	0,24 0,18	- 0,06	0,2 0,44
12	P.A.	2	61,5 %	0,04 0,08	+ 0,04	0,22 0,16	- 0,06	0,18 0,5
13	K.K.	3	40,0 %	0,06 0,09	+ 0,03	0,22 0,18	- 0,04	0,27 0,5
14	S.B.	3	42,0 %	0,06 0,08	+ 0,02	0,26 0,20	- 0,06	0,23 0,4
15	W.K.	3	46,6 %	0,05 0,08	+ 0,03	0,22 0,16	- 0,06	0,23 0,5
16	G.A.	3	44,4 %	0,06 0,08	+ 0,02	0,22 0,16	- 0,06	0,27 0,5
17	P.M.	3	50,0 %	0,06 0,08	+ 0,02	0,23 0,16	- 0,07	0,26 0,5
18	M.A.	4	71,4 %	0,06 0,10	+ 0,04	0,20 0,18	- 0,02	0,3 0,55
19	W.A.	4	80,0 %	0,05 0,07	+ 0,02	0,20 0,20	0,0	0,25 0,35
20	S.M.	4	33,3 %	0,05 0,08	+ 0,03	0,26 0,18	- 0,09	0,19 0,39
21	Dz.M.	4	52,6 %	0,08 0,10	+ 0,02	0,24 0,17	- 0,07	0,33 0,59
22	K.K.	4	50,0 %	0,07 0,08	+ 0,01	0,24 0,18	- 0,06	0,29 0,44
23	S.K.	4	41,6 %	0,07 0,09	+ 0,02	0,23 0,20	- 0,04	0,29 0,45

1	2	3	4	5	6	7	8	9
24	K.M.	5	30,0 %	0,06 0,10	+ 0,04	0,20 0,18	- 0,02	0,3 0,55
25	K.B.	5	33,3 %	0,06 0,08	+ 0,02	0,26 0,22	- 0,04	0,23 0,36
26	W.K.	5	66,6 %	0,05 0,10	+ 0,05	0,24 0,20	- 0,04	0,16 0,5
27	P.P.	5	35,7 %	0,06 0,08	+ 0,02	0,26 0,22	- 0,04	0,23 0,36
28	D.M.	5	30,0 %	0,06 0,09	+ 0,03	0,24 0,18	- 0,06	0,25 0,5
29	A.E.	5	33,3 %	0,06 0,08	+ 0,02	0,22 0,12	- 0,10	0,27 0,66
30	S.M.	6	66,6 %	0,05 0,08	+ 0,03	0,20 0,16	- 0,04	0,25 0,5
31	G.K.	6	33,3 %	0,07 0,10	+ 0,03	0,22 0,20	- 0,02	0,32 0,5
32	Sz.D.	6	32,0 %	0,08 0,10	+ 0,02	0,24 0,18	- 0,06	0,33 0,55
33.	P.U.	7	43,7 %	0,06 0,08	+ 0,02	0,24 0,20	- 0,04	0,29 0,40
34	M.P.	7	44,4 %	0,04 0,08	+ 0,04	0,26 0,20	- 0,06	0,15 0,4
35	M.P.	7	50,0 %	0,07 0,10	+ 0,03	0,22 0,20	- 0,02	0,32 0,5
36	P.M.	8	66,6 %	0,06 0,10	+ 0,04	0,25 0,22	- 0,03	0,24 0,45
37	G.L.	8	64,3 %	0,06 0,08	+ 0,02	0,24 0,22	- 0,02	0,25 0,36

1	2	3	4	5	6	7	8	9
38	Z.G.	9	40,0 %	0,07 0,08	+ 0,01	0,26 0,15	- 0,11	0,27 0,53
39	F.A	10	58,3 %	0,07 0,08	+ 0,01	0,26 0,18	- 0,08	0,27 0,44
40	Sz.R.	11	75,0 %	0,06 0,08	+ 0,02	0,22 0,24	- 0,02	0,27 0,39
41	S.K.	12	36,6 %	0,07 0,10	+ 0,03	0,24 0,18	- 0,06	0,29 0,55
42	I.Z.	12	23,3 %	0,07 0,09	+ 0,02	0,24 0,18	- 0,06	0,29 0,5

Ustalono go według tablicy wskaźnika różnicy istotnej Fishera.

I.	$\bar{X}_1 = 0,0584$	$S_1 = \pm 0,01098$	$t = 12,663$
okres przed- wyrzutowy	$\bar{X}_1 = 0,0860$	$S_2 = \pm 0,00919$	$P < 0,01$
II.	$X_1 = 0,2281$	$S_1 = \pm 0,02127$	$t = 10,11515$
czas trwania fazy skurczo- wej	$\bar{X}_2 = 0,18093$	$S_2 = \pm 0,02197$	$P < 0,01$
III.	$\bar{X}_1 = 0,25698$	$S_1 = \pm 0,04325$	$t = 17,945$
wskaźnik kurczliwości lewej komory	$\bar{X}_2 = 0,4807$	$S_2 = \pm 0,06666$	$P < 0,01$

Przedstawione obliczenia wykazały znamienne statystycznie różnicę między badaniami przed i pooperacyjnymi. Znamienny był wydłużający się okres przedwyrzutowy, skracał się czas trwania fazy skurczowej oraz poprawił się wskaźnik kurczliwości lewej komory /42, 43, 44, 61/.

d - Automatyczna ocena maksymalnej i średniej prędkości przepływu w tętnicy szyjnej

Automatyczny miernik prędkości przepływu, którego zasadę omówiono poprzednio, umożliwia dokładniejszą ocenę prędkości przepływu krwi przez badane naczynie. Aparat ten zastosowano w dodatkowych badaniach u 10 chorych z przetrwałym przewodem tętniczym przed i po zabiegu. Wskaźnik cyfrowy aparatu pokazywał wartość prędkości maksymalnej, a na rejestratorze /EKG E-30/

specjalnie przystosowanym do zapisów ze stałą podstawą czasu rejestrowana była maksymalna oraz średnia prędkość przepływu krwi przez tętnice szyjne. W tabeli II zestawiono wyniki pomiarów maksymalnej i średniej prędkości przepływu krwi przed i po podwiązaniu przewodu tętniczego. Stwierdzono wzrost średniej prędkości przepływu krwi przez tętnice szyjne po podwiązaniu przetrwałego przewodu tętniczego u wszystkich dzieci. Wahał się on od 2,2 cm/sek. do 19,5 cm/sek. /średnia o 7,38 cm/sek./.

Badania te potwierdziły uprzednie obserwacje dotyczące zwiększenia prędkości przepływu krwi przez tętnice szyjne u dzieci po podwiązaniu przewodu tętniczego /ryc.24 i 25/.

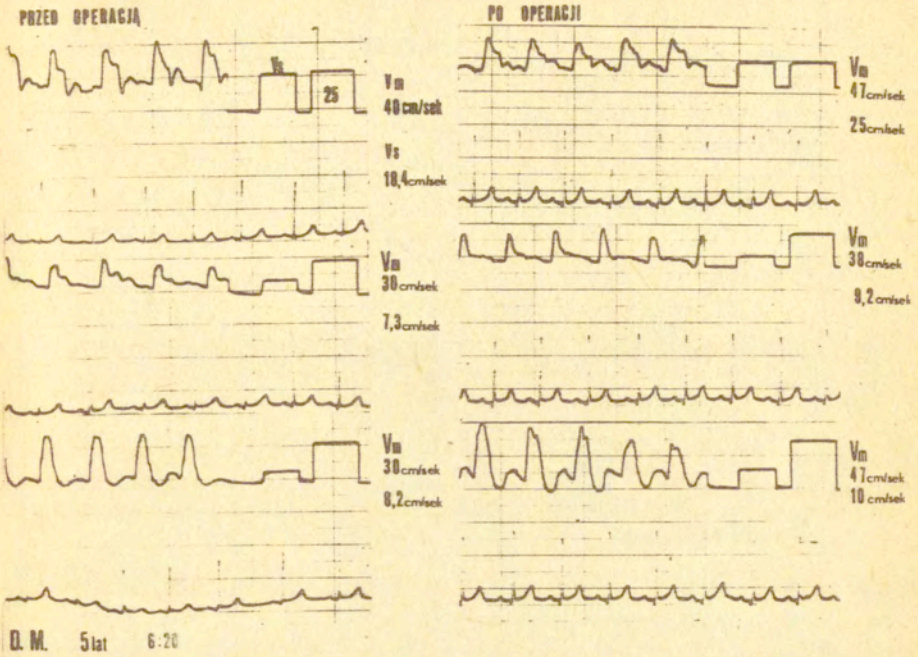
Z przedstawionych w tabeli II /str.66/ wyników pomiarów maksymalnych i średnich wartości prędkości przepływu krwi obliczono średnie arytmetyczne i zastosowano małą próbę statystyczną Studenta.

$$t - \text{wskaźnik różnicy istotnej} = t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S^2}{n_1 - 1} + \frac{S^2}{n_2 - 1}}}$$

przy $n_1 = n_2 = 10$

$$S_{n-1} = \pm \sqrt{\frac{\sum (x_1 - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

S_{n-1} - średnie odchylenie standardowe



Ryc.24. Krzywe przedstawiające zmiany maksymalnej V_m i średniej V_s prędkości przepływu krwi przez naczynia tętnicze u 5 - letniego dziecka przed i po podwiązaniu przewodu

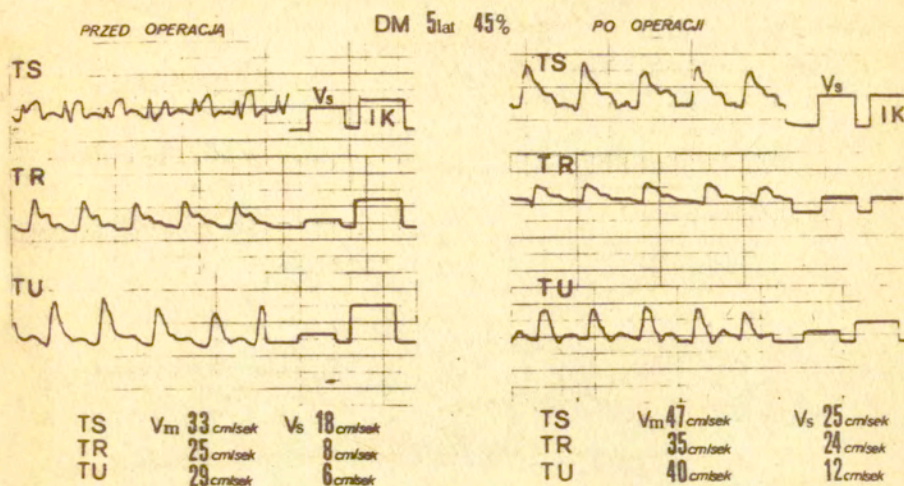
Tętnica szyjna

V_m	$X_1 = 44,9$	$S_1 = \pm 3,5730$	$t = 0,5046$
	$X_2 = 46,0$	$S_2 = \pm 5,4772$	$0,6 < p < 0,7$
V_s	$X_1 = 16,82$	$S_1 = \pm 1,9815$	$t = 3,9876$
	$X_2 = 24,2$	$S_2 = \pm 5,1865$	$p < 0,01$

=====

Tablica II

Lp.	Imiona dzieci, wiek, wymiary P.D. i sorty	Przed operacją		Po operacji		Wzrost szybkość cm/sek.	
		V_T cm/sek	V_S cm/sek	V_M cm/sek	V_S cm/sek		
1	Marek D. lat 5 6/20; 30	T.S.	40	15,4	47	25	6
		T.R.	30	7,3	35	17,2	
		T.U.	30	8,2	50	16,0	
2	Darek Sz. lat 6 5/25; 32 %	T.S.	50	10,6	45	21,0	4,4
		T.R.	30	2,5	22	4,4	
		T.U.	43	3,4	46	13,6	
3	Grażyna Z. lat 9 6/15; 40 %	T.S.	50	16,3	41	15,5	2,2
		T.R.	36	9,4	25	4,5	
		T.U.	36	9,4	36	7,0	
4	Kasia S. lat 4 5/12; 41,6 %	T.S.	40	18,0	60	37,5	19,5
		T.R.	20	1,25	33	13,0	
		T.U.	44	6,0	33	3,7	
5	Arkadiusz G. lat 3 8/18; 44,4 %	T.S.	45	19,8	45	24,0	4,2
		T.R.	18	2,5	37	17,0	
		T.U.	40	7,5	34	10,5	
6	Piotr M. lat 7 7/15; 46,6 %	T.S.	44	16,0	45	23,0	7,0
		T.R.	38	14,0	30	15,0	
		T.U.	38	11,0	34	4,5	
7	Ewa K. lat 4 7/15; 46,6 %	T.S.	44	17,0	40	25,0	8,0
		T.R.	32	9,5	35	14,5	
		T.U.	40	7,5	44	8,5	
8	Kamila W. lat 3 7/14 ; 50 %	T.S.	48	18,0	45	23,0	5,0
		T.R.	29	7,6	35	9,0	
		T.U.	45	4,5	38	6,0	
9	Agnieszka P. lat 10 14/24; 58,4 %	T.S.	43	12,5	48	25,0	12,5
		T.R.	27	5,8	30	9,8	
		T.U.	33	5,0	28	7,0	
10	Krystyna W.	T.S.	45	15,6	44	20,0	4,4
		T.R.	24	9,0	26	9,0	
		T.U.	40	4,1	43	4,5	



Ryc.25. Przykład rejestrowanych krzywych chwilowych zmian prędkości przepływu u dziecka 5-letniego z przetrwałym przewodem tętniczym przed i po leczeniu operacyjnym: V_m - prędkość maksymalna i V_s - prędkość średnia w trzech badanych tętnicach.

Tętnica ramieniowa

V _m	X ₁ = 28,4	S ₁ = ± 6,3979	t = 1,0979
	X ₂ = 31,4	S ₂ = ± 5,1251	0,2 < p < 0,3
V _s	X ₁ = 6,885	S ₁ = ± 3,9487	t = 2,1802
	X ₂ = 11,35	S ₂ = ± 4,707	0,05 < p < 0,1

Według tablicy wskaźnika różnicy istotnej Fishera ustalony procent przypadkowości /p/ wykazał statystycznie znaczącą różnicę w wartościach średniej prędkości przepływu przez tętnicę szyjną. Analogiczne wartości dla tętnicy ramieniowej i

udowej nie mieszczą się między 0,05 i 0,01 co wskazuje, że nie są znamienne statycznie.

c - Porównanie z innymi badaniami kardiologicznymi

Ciśnienie krwi

U dzieci z przetrwałym przewodem tętniczym poza niestałym wzrostem ciśnienia skurczowego obserwuje się obniżenie ciśnienia rozkurczowego, które po operacji szybko normalizuje się /21, 33, 48, 54/. Różnica w ciśnieniu rozkurczowym w przed i pooperacyjnej grupie badanych dzieci wahała się od 5 do 50 mm Hg / średnia 26 mm Hg/. Największe zmiany maksymalnej prędkości przepływu przez tętnicę szyjną były znalezione u dzieci, u których różnice w ciśnieniach rozkurczowych przed operacją były duże.

Bardzo znamienny w tych przypadkach był również znaczny wzrost po operacji poziomu przepływu stałego przez tętnice szyjne, rejestrowanego podczas rozkurczu serca. U tych dzieci, u których różnica w ciśnieniu rozkurczowym przed i pooperacyjnym była mała, poziom stałej prędkości przepływu krwi przez tętnice szyjne przed operacją był prawidłowy lub zbliżony do normy.

Badania radiologiczne

Podobne spostrzeżenia dotyczyły oceny sylwetki serca i rysunku naczyń płucnych w badaniach radiologicznych w porównaniu z krzywymi prędkości przepływu. U dzieci z wyraźnym powiększeniem lewej komory i lewego przedsionka oraz zwiększonym przepływem przez naczynia płucne, obserwowano najbardziej zaawansowane

zmiany w krzywych prędkości przepływu.

Objętościowy zapis tętna na kończynach

W zapisie sfigmooscylograficznym /12, 13, 42, 43/ występowanie dodatniej fali dikrotycznej i zaokrągleniem wierzchołka korelowało z rejestrowanym na krzywej przepływu wysokim drugim dodatnim załamkiem fali "M". Dzieci, u których przed operacją rejestrowano zbliżony do normy poziom prędkości przepływu stałego przez tętnicę szyjną lub niskie drugie wzniesienie fali "M" w badaniu sfigmooscylograficznym brak było dodatkowej fali dikrotycznej. Zmiany szybkości przepływu przez tętnice szyjne w przewodach tętnicznych z dużym przepływem są zgodne z pomiarami ciśnienia rozkurczowego, wynikami badań radiologicznych i sfigmooscylograficznych, a nawet wykazują większą czułość przy niewielkich lub umiarkowanych przepływach przez przewód tętniczny.

7. Wady serca dające podobne zmiany przepływu

Ultradźwiękową metodę dopplerowską zastosowano dodatkowo do oceny prędkości przepływu krwi przez naczynia tętnicze także u dzieci z innymi wadami serca.

a - Anastomoza Blalock-Taussig u dzieci z zespołem Fallota

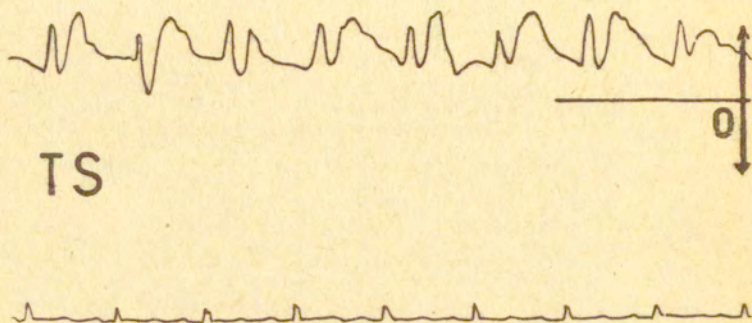
U dzieci z zespołem Fallota, których stan wymagał natychmiastowej pomocy, przez szereg lat wykonywano zespolenie tętnicy podobojczykowej z gałęzią tętnicy płucnej metodą Blalock-Taussig. Takie zespolenie wspomagające przepływ płucny kosztem zmniejszenia dopływu krwi do głowy i kończyn może mieć wpływ

na prędkość przepływu krwi przez tętnicę szyjną /18,22,63.
/ryc.26/.

SZ. E.

2 lata

4-F + BT prawostronny



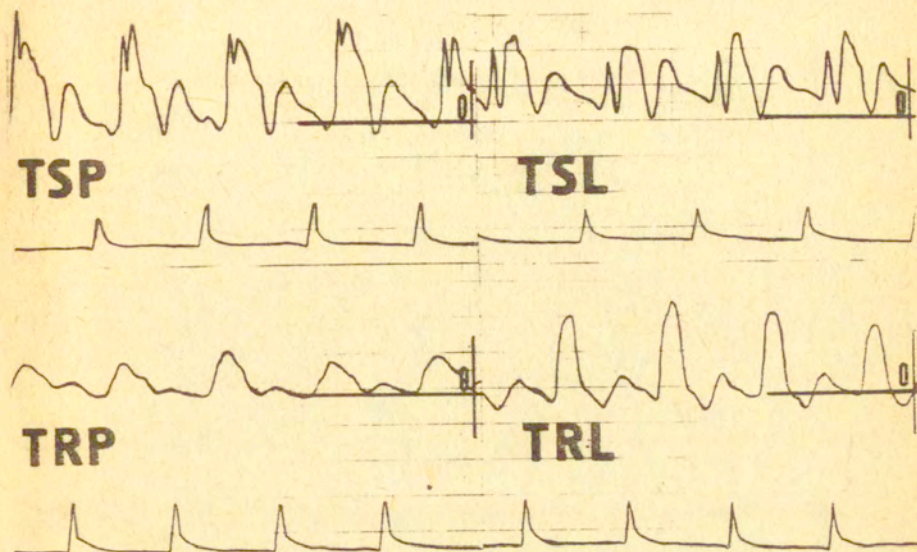
Ryc.26. Krzywa prędkości przepływu krwi w tętnicy szyjnej u dziecka 2 -letniego z zespołem Fallota po prawostronnym założeniu anastomozy metodą Blalock-Taussig. Podobne zmiany krzywej prędkości przepływu stwierdzono u dzieci z przetrwałym przewodem tętniczym.

U dzieci z szerokim zespoleniem zaznaczona była fala "M" na szczycie fazy skurczowej, a prędkość stałego przepływu w fazie rozkurczowej często zmniejszała się do zera lub nawet rejestrowano zwrotną fazę przepływu /ryc.27, 28/. Zmiany w przepływie odbijały się nie tylko w tętnicy szyjnej po stronie wykonanego zespolenia naczyniowego, ale i po stronie przeciwnej.

G.B.

13 lat

4-F + B T prawostronny



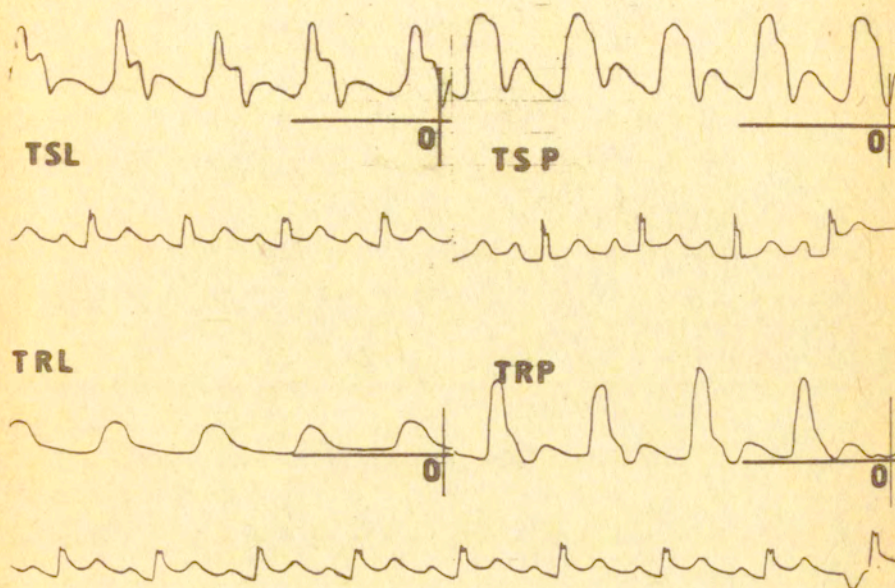
Ryc.27. Krzywe prędkości przepływu przez obie tętnice szczytne i ramienne u 13-letniego dziecka z zespoleniem Blalock-Taussig po stronie prawej. W obu tętnicach szczytowych zaznaczony załamek "M" we wczesno-skurczowej fazie przepływu, wystąpienie zwrotnej fazy w tętnicy szyjnej po stronie wykonanego zespolenia. Różne różnice w przepływie przez tętnice ramienne - zwłaszcza po stronie prawej krzywa obrazuje prędkość przepływu utworzonego krążenia obocznego/

U dzieci, u których zespolenie było dostatecznie wydajne i działało przez kilka lat, wysłuchiwało maszynowy szmer przepływu w okolicy podobojczykowej. W zapisie prędkości przepływu widoczne były głównie zmiany jednostronne. W okresie fazy skurczowej po stronie zespolenia występował wcześniejszy spadek prędkości przepływu, natomiast krzywa prędkości przepływu przez



Ryc. 28. Badanie angiograficzne u tego samego dziecka z czynnym zespoleniem Blalock-Taussig po stronie prawej

przeciętną tętnicę szyjną była prawidłowa /ryc.29/.



Ryc. 29. Krzywe prędkości przepływu przez obie tętnice szyjne /TSP i TSL/ i ramienne /TRP i PRL/ u dziecka z zespołem Fallota i zespoleniem m.Blalock-Taussig po stronie lewej, wykonanym przed 10 laty

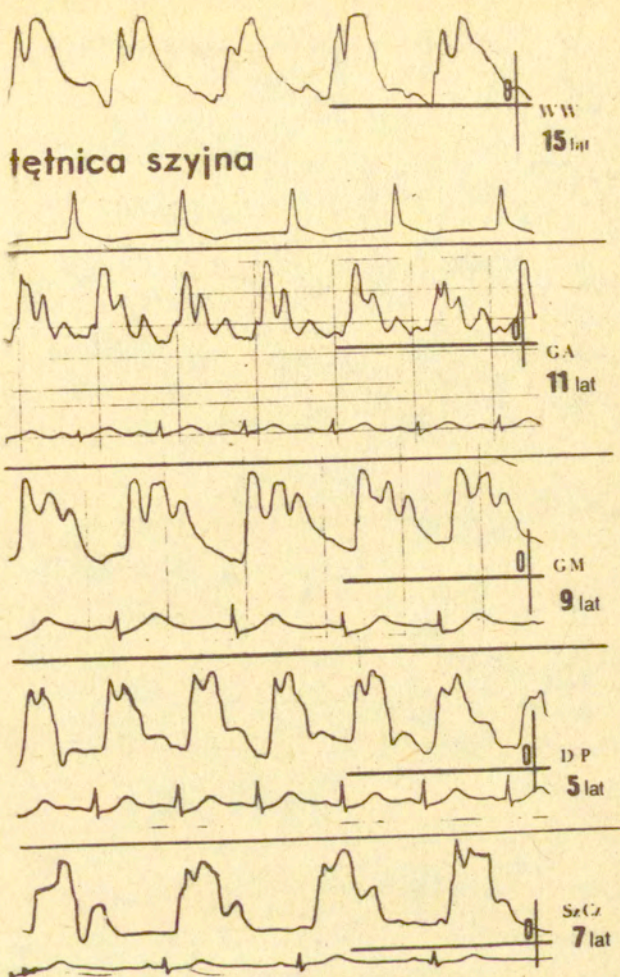
Zmiany w krzywych przepływu uzyskanych u dzieci z zespołem Fallota po zespoleniu Blalock-Taussig są bardzo zbliżone do obserwowanych w przetrwałym przewodzie tętniczym, chociaż są słabiej wyrażone, co może być zależne od znacznie dłuższego i węższego kanału w operacyjnie wytworzonej anastomozie, łączącej aortę z tętnicą płucną.

b - Zastawkowe zwężenie aorty

U 20 dzieci ze zwężeniem zastawkowym aorty krzywe prędkości przepływu przez tętnice szyjne były w 60 % podobne do uzyskanych u pacjentów z przetrwałym przewodem tętniczym.

W czasie trwania fazy skurczowej, a ściślej na jej szczycie, rejestrowano dwa lub trzy załamki związane ze wzrostem i spadkiem chwilowej prędkości przepływu /ryc.30/. Są one spowodowane powstawaniem wirów z turbulentnym przepływem krwi w początkowym odcinku aorty. Odbija się to na krzywych prędkości przepływu przez tętnicę szyjną, które wykazują krótkotrwałe przyrosty i zahamowania prędkości /40, 59/.

Zmiany w krzywych prędkości przepływu krwi w zastawkowym zwężeniu aorty wykazują pewne podobieństwo do następstw przewodu tętniczego, chociaż są łatwe do odróżnienia.



Ryc.30. Krzywe prędkości przepływu przez tętnice szyjne zarejestrowane u dzieci z różnego stopnia zwężeniem zastawki aortalnej.

9. Omówienie wyników i dyskusja

Przetrwały przewód tętniczy stanowi jedną z najczęstszych nieprawidłowości układu krążenia u dzieci. W okresie niemowlęcym napotyka się jednak na szereg trudności w rozpoznawaniu tej wady. Często występujący brak typowego szmeru maszynowego u niemowląt uniemożliwia wstępne odróżnienie przetrwałego przewodu tętniczego od ubytku w przegrodzie międzykomorowej. Wczesne burzliwe objawy niewydolności krążenia lub nadciśnienie płucne, przy których szmer może być w ogóle nieobecny, mogą być zależne od bardzo dużego przepływu przez przewód tętniczy lub wyrównanie ciśnien w obu układach /4, 5, 21, 48, 55, 57/.

W 1976 roku R.W. Feldtman wraz z współpracownikami z Kliniki Chirurgii w San Antonio /14/ pierwszy zastosował dla celów diagnostycznych ultradźwiękową metodę dopplerowską u noworodków z zespołem niewydolności oddechowej /IRDS/. Przebadał on 16 noworodków z postępującą niewydolnością oddechową, wymagających kontrolowanego oddechu z dodatnim ciśnieniem końcowo wydechowym. U pięciu z nich stwierdził śródskurczowy spadek prędkości przepływu jako chwilowe zahamowanie lub odwrócenie przepływu krwi w tętnicy ramieniowej w następstwie odpływu krwi do tętnicy płucnej przez łuk aorty i przetrwały przewód tętniczy. Szybka diagnostyka i podwiązanie przetrwałego przewodu tętniczego ratuje życie tych chorych. Wyżej wymienieni autorzy doszli do wniosku, że ultradźwiękowa metoda dopplerowska może spełnić rolę prostej metody, przydatnej jako uzupełnienie rozpoznania w przypadkach istnienia nietypowego przetrwałego przewodu tętniczego u noworodków często rozpoznawane-

go jako idiopatyczna niewydolność oddechowa.

Badania te zwróciły uwagę na zmiany prędkości przepływu krwi w naczyniach tętnicznych także u niemowląt i dzieci starszych z przetrwałym przewodem tętniczym, co stało się początkiem tego opracowania.

Przeprowadzone u dzieci z przetrwałym przewodem tętniczym badania z zastosowaniem ultradźwiękowej metody dopplerowskiej poprzedzone były ustaleniem prawidłowych krzywych przepływu w tętnicach szyjnych wspólnych, ramieniowych i udowych u dzieci zdrowych. Poddano dokładnej analizie wyniki pomiarów u 50 dzieci z prawidłowym układem krążenia, które przebywały w oddziale chirurgicznym z powodu urazów, przepuklin lub różnych zabiegów plastycznych.

Opierając się na pracach Nimury i współpracowników /37/, którzy pierwsi zaproponowali schemat i nomenklaturę przepływów, wyróżniono dwie zasadnicze fazy przepływu, które są zależne od czynności serca, zastawek oraz stanu łożyska naczyniowego.

Pierwsza faza przepływu tętniczego to faza skurczowa. Czas jej trwania ze zmiennym opóźnieniem odpowiada okresowi od otwarcia zastawki aortalnej /I ton/ do części aortalnej II tonu serca. Opóźnienie w stosunku do zapisu ekg lub fono jest zależne od kalibru badanej tętnicy oraz jej odległości od zastawki aortalnej /37, 59/.

Druga faza rozkurczowa ma znacznie mniejszą amplitudę i trwa z takim samym opóźnieniem od zamknięcia zastawki aortalnej do początku następnego cyklu serca. W tętnicach szyjnych jest ona zawsze rejestrowana powyżej linii zerowej, co świadczy o

stałym przepływie spowodowanym niskim oporem naczyń mózgowych. W tętnicy ramieniowej prędkość przepływu w fazie rozkurczowej jest minimalna, a w końcowym okresie pokrywa się z poziomem zerowym.

Pod koniec fazy skurczowej, gdy zamykają się płatki zastawki aortalnej, krew może chwilowo zmienić kierunek przepływu na wsteczny, to jest od naczyń obwodowych do serca. Ta faza jest często rejestrowana w tętnicach udowych w postaci odwróconego załamka. Wydaje się, że wynika to głównie z chwilowego spadku ciśnienia w aorcie, elastyczności ściany w jej środkowej części, a w mniejszym stopniu zależy od oporu obwodowego.

Chwilowe odwrócenie się kierunku przepływu krwi może również wystąpić pod koniec fazy rozkurczowej.

U 20 dzieci w tych samych warunkach zastosowano automatyczny miernik przepływu krwi i określono liczbowe wskaźniki maksymalnej i średniej prędkości przepływu, które dają możliwość dokładniejszego porównania zmian hemodynamicznych.

W drugim etapie przeprowadzono także badania u 60 dzieci przed planowanym zabiegiem operacyjnym oraz u 50 tych samych dzieci w kilka dni po podwiązaniu przetrwałego przewodu tętniczego.

W porównaniu z dziećmi zdrowymi najbardziej charakterystyczną różnicą w tętnicach szyjnych był nagły spadek prędkości we wczesno-skurczowej fazie przepływu w postaci trójfazowego załamka /24, 25/, który Feldtman nazwał falą "M". Dwa poszczególne wzniesienia, jak i wcięcia między nimi, miały jednak charakter zmienny. Takie chwilowe zmniejszenie prędkości można nazwać

wsteczną komponentą fazy skurczowej, gdyż przepływ redukował się, obniżając się poniżej poziomu wyjściowego dla fazy skurczowej, chociaż nie spadał poniżej poziomu zerowego. Tego typu zmiany w prędkości przepływu krwi przez tętnicę szyjną w fazie skurczowej są zależne od wielkości przecieku aortalno-płucnego, czyli od różnicy ciśnień między aortą i tętnicą płucną oraz średnicy i długości połączenia między tymi naczyniami. U dzieci przed operacją stwierdzono niski poziom przepływu stałego w fazie skurczowej, który u dzieci zdrowych był rejestrowany na znacznie wyższym poziomie. U 19 chorych zanotowano spadek prędkości do zera, a w 8 przypadkach była rejestrowana zwrotna fala przepływu pod koniec fazy rozkurczowej. Zmiany te obserwowano u dzieci, u których średnica przewodu tętniczego była duża lub stosunek wymiaru przewodu do wymiaru aorty był wysoki. Świadczyło to o dużych przepływach przez przewód tętniczy w czasie trwania fazy rozkurczowej. Zgadzało się to z niskimi wartościami rozkurczowego ciśnienia krwi u tych dzieci. Objaw ten można nazwać zespołem podkradania krwi przez tętnicę płucną. Zapis prędkości przepływu w tętnicach ramieniowych był również charakterystyczny, choć zmiany były mniej wyraźne. Fala "M" wystąpiła u 32 na 60 badanych dzieci, a przepływ zwrotny w okresie trwania fazy rozkurczowej był zarejestrowany u 31 chorych. Mniej nasilone różnice w prędkości przepływu przez tętnicę ramieniową są związane z bardziej obwodowym miejscem jej badania.

W zapisach krzywych prędkości przepływu krwi w tętnicach udowych u 23 chorych uwidoczniły się załamki na wstępującym ramieniu fazy skurczowej, które w czasie mierzonym od poczo

fali narastania prędkości odpowiadały okresowi nieco zdeformowanej fali "M" w tętnicy szyjnej wspólnej. U 47 pacjentów występował znaczny przepływ zwrotny w czasie trwania fazy rozkurczowej.

U chorych, z którymi można było nawiązać ściśłą współpracę podczas badania, w czasie głębokiego wdechu na szczycie fazy skurczowej pojawiał się ujemny załamek, odpowiednik fali "M", który zanikał przy wydechu oraz pogłębiała się we wdechu rozkurczowa fala zwrotna. Zmiany te spowodowane są ujemnym ciśnieniem powstającym w klatce piersiowej w czasie wdechu. Zwiększa się wtedy gradient ciśnieniowy między aortą a tętnicą płucną.

Badania pooperacyjne wykazały normalizację zapisów ultradźwiękowych. Zanikała fala "M" lub jej odpowiednik w tętnicy udowej. Podwyższał się wyraźnie poziom przepływu w tętnicach szyjnych i ramieniowych w okresie fazy rozkurczowej, zwłaszcza wtedy, gdy przed operacją był rejestrowany przepływ zwrotny. Nie obserwowano różnic w prędkości przepływu w czasie głębokiego wdechu. Wszystkie korzystne zmiany w pooperacyjnych zapisach prędkości przepływu są związane z normalizacją warunków anatomicznych i hemodynamicznych po podwiązaniu przetrwałego przewodu tętniczego. Największe różnice w rejestrowanych zapisach przed i pooperacyjnych były obserwowane u dzieci, u których średnica przewodu tętniczego była duża oraz stwierdzono wysoki stosunek średnicy przewodu do średnicy aorty. Trudno jednak było w tych warunkach ustalić ściśle zależności, gdyż badane wymiary anatomiczne są tylko jednym z ważniejszych elementów odpowiedzialnych za wielkość przecieku aortalno-płucnego.

U wszystkich badanych dzieci badania kliniczne były jednoznaczne, nie stwierdzono objawów nadciśnienia płucnego i dlatego nie wykonywano u nich cewnikowania serca i aortografii.

A. Rudolph ze współpracownikami /53/ wykonali badania doświadczalne na psach. Wytwarzali oni operacyjnie sztuczne połączenie między aortą a tętnicą płucną przy pomocy silikonowej rurki umożliwiającej kontrolowanie wielkości przepływu przez to zespolenie. Poza oceną zmian ciśnienia w różnych punktach serca i dużych naczyniach, badali zmiany prędkości przepływu krwi przez aortę wstępującą, pień ramiennie-główny, aortę zstępującą i tętnicę płucną. Zastosowali czujniki elektromagnetyczne założone bezpośrednio na te naczynia. Rozkład prędkości w aorcie wstępującej podczas zamkniętego połączenia w okresie skurczu charakteryzował się gwałtownym wzrostem, a następnie spadkiem prędkości przepływu i ujemnym wychyleniem, które występowało natychmiast po lub przed zamknięciem zastawki aortalnej, po którym przepływ stabilizował się na poziomie zerowym do następnego wyrzutu. Kiedy połączenie było otwarte, maksymalna prędkość wzrastała i pogłębiało się ujemne wychylenie pod koniec skurczu. Inaczej przedstawiał się rozkład prędkości przepływu w pniu ramiennie-głównym. Przy otwartym połączeniu aortalno-płucnym istniała w okresie skurczu początkowo redukcja prędkości maksymalnej, po której następował stopniowy wzrost prędkości. Dodatkowo wykazali oni także wzrost ujemnego wychylenia podczas rozkurczu, które trwało aż do początku następnego skurczu /53/.

W tej części doświadczenia widać dużą zbieżność w zapisach prędkości przepływu krwi badanych metodą elektromagnetyczną i

dopplerowską. Przepływ przez tętnicę płucną w pracach doświadczalnych A.M. Rudolpha /53/ był przedstawiony jako dodatnia łagodna fala, która w okresie rozkurczu powoli obniżała się do zera, chociaż czasami ten poziom nie był osiągnięty. Po otwarciu przepływu przez rurkę łączącą aortę z tętnicą płucną, znacznie wzrastał przepływ w tętnicy płucnej lewej. Maksymalna prędkość przepływu skurczowego wzrastała umiarkowanie. Jednak najbardziej uderzające zmiany prędkości w tętnicy płucnej lewej rejestrowano podczas rozkurczu. Stwierdzono konsekwentny wzrost prędkości przepływu rozkurczowego i spadek prędkości od końca rozkurczu do szczytu skurczu.

Przepływ przez zespolenie był trudny do zbadania. Zapis prędkości przepływu wykazywał stały przepływ przez cały cykl sercowy z późnoskurczowym zaakcentowaniem, co jest zgodne z badaniami fonokardiograficznymi. Doświadczenia te określiły hemodynamiczne efekty przecieku aortalno-płucnego, występujące u pacjentów z przetrwałym przewodem tętniczym. Rejestracja zmian prędkości przepływu pozwala na analizę chwilowych zmian w rozkładzie przepływu. Prędkość przepływu przez pień ramiennogłowy wykazuje w rozkurczu znaczny wzrost przepływu zwrotnego. Spowodowane to jest niższym oporem łożyska płucnego względem systemowego oporu naczyniowego. Rudolph wykazał, że przy dużych połączeniach istnieje w anastomozie ciągły i dość wysoki przepływ podczas całej fazy rozkurczowej, dając w rezultacie stałe rozszerzenie się naczyń płucnych podczas całego cyklu sercowego.

Poza oceną kształtu krzywych przepływu porównywano odcinki czasowe dotyczące zmian prędkości przepływu w tętnicy szyjnej wspólnej. Określono czas przedwyrzutowy od końca trwania zespołu

QRS do początku wznoszenia się fazy skurczowej oraz okres trwania fazy skurczowej w zapisach przed i pooperacyjnych. Wyznaczono również stosunek czasu trwania okresu przedwyrzutowego do czasu trwania fazy skurczowej. U wszystkich dzieci po operacjach stwierdzono wydłużenie okresu przedskurczowego. Natomiast okres trwania fazy skurczowej skracał się. Stosunek okresu przedwyrzutowego do czasu trwania fazy skurczowej również się znacznie zwiększał w badaniach pooperacyjnych. Uzyskane wyniki /tabela I/ zostały poddane próbie statystycznej Studenta, która wykazała statystycznie znamiennej różnicę. Procent przypadkowości /p/ był niższy od 0,01 wg tablicy wskaźnika różnicy statystycznej Fishera. Zmiany w czasie trwania tych faz są związane z zaburzeniami hemodynamicznymi, a szczególnie z objętościowym przeciążeniem lewej komory spowodowanym zwiększonym powrotem krwi żyłnej do lewego przedsionka i lewej komory. Powiększa się objętość rozkurczowa i wyrzut lewej komory /45, 46, 47, 61/. Powoduje to wydłużenie czasu trwania fazy skurczowej, jak również wpływa na skrócenie czasu przedwyrzutowego. Po operacji zwiększa się wyraźnie wskaźnik kurczliwości lewej komory, co jest zrozumiałe, ponieważ z chwilą podwiązania przewodu warunki hemodynamiczne powodujące przeciążenie rozkurczowe lewej komory ulegają normalizacji.

Wykonano także badania z zastosowaniem automatycznego miernika prędkości przepływu krwi. W grupie 10 dzieci oceniono maksymalną i średnią prędkość przepływu w tętnicy szyjnej, ramiennej i udowej przed i po operacji. Stwierdzono u wszystkich badanych dzieci różnego stopnia wzrost średniej prędkości przepływu przez tętnicę szyjną. Wzrost ten związany jest z zamknię-

ciem przecieku aortalno-płucnego. W mniejszym stopniu podwiązanie przewodu odwiło się na średniej prędkości przepływu przez tętnice ramieniowe, co stwierdzono u 8 dzieci spośród 10 badanych /tabela II/.

Wykazano znamiennej statystycznie różnicę $/p < 0,01 /$ w średniej prędkości przepływu przez tętnicę szyjną, natomiast w pozostałych tętnicach wartości te nie były statystycznie znamienne. W tętnicy ramieniowej procent przypadkowości mieścił się zaledwie $/0,05 < p < 0,1/$.

Badania te potwierdzają poprzednie obserwacje uzyskane przy zastosowaniu aparatu UDP-10 dotyczące zmian prędkości przepływu krwi przez tętnicę szyjną.

Badania autorów amerykańskich Stivenson /74/ zawierają wiadomości o skurczowych i rozkurczowych turbulencjach rejestrowanych w pozazastawkowym odcinku tętnicy płucnej i jej rozgałęzieniach. Badania te były wykonywane metodą dopplerowską z umiejscowieniem głowicy nad wcięciem mostkowym lub nad sercem. Inne badania wykazały, że turbulencje skurczowe występują często także u dzieci zdrowych.

Przeprowadzono dodatkowo badania u 10 dzieci z zespołem Fallota, których stan wymagał wykonania zespolenia tętnicy podobojczykowej z tętnicą płucną metodą Blalock-Taussig. To zespolenie zwiększające przepływ płucny, hemodynamicznie jest bardzo podobne do tych zmian w przepływie, jakie obserwowano w przetrwałym przewodzie tętniczym, zwłaszcza że różnica ciśnień między aortą i tętnicą płucną w tej wadzie jest duża /18, 22, 24, 63/. Uzyskane w badaniach krzywe prędkości przepływu krwi przez tętnicę szyjną u dzieci z hemodynamicznie czynnym

zespoleniem charakteryzowały się trójfazowym przepływem w czasie skurczu z zaznaczoną falą "M" oraz niskim poziomem przepływu krwi w czasie trwania fazy rozkurczowej - podobnie jak w rejestrowanych krzywych u dzieci z przetrwałym przewodem tętniczym. Różnica w zapisach, które słabiej wyrażone w czynnej przetocze B-T są zależne od znacznie dłuższego i węższego kanału łączącego aortę z tętnicą płucną.

W pracy tej przedstawiono pewne podobieństwo w krzywych prędkości przepływu krwi przez tętnicę szyjną rejestrowane u dzieci ze zwężeniem zastawkowym aorty oraz z przetrwałym przewodem tętniczym. W 60 % w czasie trwania fazy skurczowej rejestrowano u dzieci ze zwężeniem zastawki aortalnej dwa lub trzy załamki spowodowane turbulentnym przepływem krwi w początkowym odcinku aorty.

Przedstawiona praca wykazała dużą przydatność ultradźwiękowej metody dopplerowskiej jako prostego i nieinwazyjnego badania diagnostycznego także w aortalno-płucnym przecieku. Jest to jeszcze początkowy etap zastosowania ultradźwiękowych metod dopplerowskich w diagnostyce kardiologicznej. W miarę doskonalenia aparatury i zdobywania doświadczeń mogą one znacznie ograniczyć konieczność stosowania krwawych metod diagnostycznych, które u najmłodszych dzieci nie są pozbawione ryzyka. Na obecnym etapie metody te są nie tylko przydatne w diagnostyce przecieków aortalno-płucnych, ale pozwalają także na ocenę ilościową oraz kontrolę skuteczności zabiegu operacyjnego.

9. Wnioski

1. Przetrwały przewód tętniczy powoduje charakterystyczne zmiany w prędkości przepływu krwi przez tętnicę szyjną, ramieniową i udową. Polegają one na trójfazowym przepływie w okresie trwania fazy skurczowej oraz obniżeniu się poziomu przepływu stałego głównie w tętnicy szyjnej.
2. Zmiany krzywych prędkości były tylko częściowo zależne od wymiarów zewnętrznej średnicy przewodu tętniczego i aorty, gdyż wielkość przepływu przez przewód tętniczy zależy nie tylko od jego średnicy i długości, ale również od zmiennego oporu w tętnicy płucnej.
3. Po operacji stwierdzono ustąpienie przepływu trójfazowego, znamienne wzrost średniej prędkości przepływu krwi przez tętnicę szyjną wspólną, wydłużenie się okresu przedwyrzutowego i skracanie się fazy skurczowej, jak również dwukrotny wzrost współczynnika kurczliwości lewej komory.
4. Zmiany w kształcie krzywych przepływu w zespole Fallota po zespoleniu Blalock-Taussig są zbliżone do obserwowanych w przetrwałym przewodzie tętniczym, chociaż są słabiej wyrażone, co może być zależne od znacznie dłuższego oraz dość wąskiego kanału łączącego aortę z tętnicą płucną.
5. Zmiany w krzywych prędkości przepływu w zastawkowym zwężeniu aorty wykazują pewne niewielkie podobieństwo do następstw przewodu tętniczego, chociaż są łatwe do różnicowania z

powodu występowania turbulencji.

6. Ultradźwiękowa metoda dopplerowska jest nie tylko zgodna z badaniami kardiologicznymi, radiologicznymi i sfigmooscylograficznymi, ale wykazuje większą czułość przy różnego rodzaju niewielkich lub umiarkowanych przeciekach z aorty do tętnicy płucnej, co między innymi pozwala na lepszą ocenę wyników zabiegu operacyjnego.

10. Streszczenie

Ultraźwiękową metodę dopplerowską zastosowano do oceny zmian prędkości przepływu krwi przez obwodowe naczynia tętnicze u dzieci z niepowikłanym przewodem tętniczym. Początkowo poddano badaniom 50 dzieci zdrowych dla ustalenia norm. Następnie rejestrowano zmiany prędkości przepływu krwi przez tętnice szyjne, ramieniowe i udowe u 60 dzieci z przetrwałym przewodem tętniczym przed zabiegiem i 50 tych samych dzieci po jego podwiązaniu. Dodatkowo w grupie 10 chorych z przewodem tętniczym zastosowano automatyczny miernik prędkości przepływu, który pozwalał na ocenę maksymalnej oraz średniej prędkości przepływu krwi u tych dzieci w okresie przed i pooperacyjnym. Ponadto przebadano 10 dzieci z zespołem Fallota leczonym zespoleniem tętnicy podobojczykowej z tętnicą płuca metodą Blalock-Taussig oraz 20 dzieci z różnego stopnia zastawkowym zwężeniem aorty.

Na podstawie uzyskanych krzywych ustalono charakterystyczne zmiany prędkości przepływu krwi przez tętnicę szyjną, ramieniową i udową u dzieci z przetrwałym przewodem tętniczym. Zmiany te polegały na trójfazowym przepływie w czasie trwania fazy skurczowej oraz obniżeniu się poziomu przepływu stałego głównie w tętnicy szyjnej. Zmiany w krzywych prędkości przepływu były częściowo zależne od wymiarów zewnętrznej średnicy przewodu tętniczego i aorty mierzonych podczas zabiegu, gdyż wielkość przepływu zależna jest także od różnicy ciśnień między aortą i tętnicą płuca spowodowanej różnym oporem w tych naczyniach.

Po operacji stwierdzono ustąpienie przepływu trójfazowego

oraz wzrost średniej prędkości przepływu przez tętnicę szyjną wspólną, co pokrywało się ze wzrostem poziomu przepływu stałego w okresie rozkurczu. Zaobserwowano także wydłużenie się okresu przedwyrzutowego i skracanie się fazy skurczowej, jak również dwukrotny wzrost współczynnika kurczliwości lewej komory.

Podobne zmiany w kształcie krzywych przepływu stwierdzono u dzieci z zespołem Fallota, u których wykonano zespolenie tętnicy podobojczykowej z tętnicą płucną metodą Blalock-Taussig. Zmiany u tych dzieci zależne były od wielkości przecieku aortalno-płucnego, który był uwarunkowany średnicą zespolenia oraz długością kanału łączącego aortę i tętnicę płucną. Stwierdzono także pewne niewielkie podobieństwo w kształcie krzywych prędkości u dzieci z różnego stopnia zwężeniem zastawki aortalnej. Zmiany krzywych prędkości były w tych przypadkach spowodowane zawirowaniami krwi i turbulentnym przepływem w początkowym odcinku aorty.

Ultradźwiękowa metoda dopplerowska okazała się nie tylko zgodna z badaniem kardiologicznym, radiologicznym i sfigmooscylograficznym, ale wykazała większą czułość przy niewielkim lub umiarkowanym przecieku z aorty do tętnicy płucnej, co między innymi pozwala na lepszą ocenę wyników zabiegu operacyjnego.

Przedstawiona ultradźwiękowa metoda dopplerowska jest prostym i nieinwazyjnym sposobem badania w diagnostyce aortalno-płucnego przecieku. Jest to jeszcze wstępny etap zastosowania ultradźwiękowych metod dopplerowskich w diagnostyce kardiologicznej. W miarę doskonalenia aparatury i zdobywania doświadczeń, może ona znacznie ograniczyć stosowanie inwazyjnych metod

diagnostycznych, które u najmłodszych dzieci nie są pozbawione ryzyka.

11. Piśmiennictwo

1. Baker Donald W.: The role of doppler techniques in cardiac diagnosis. Progress in cardiovascular diseases. 1978, XXI. 2, 79-92.
2. Balas F. Segditsas T.H., Koutsopolos D.: The value of the ultrasonic flowmeter in the diagnosis of arterial diseases. Angiology 1970 21, 7. 451-461.
3. Borodziński K., Filipczyński L., Nowicki A., Powalowski I.: Quantitative transcutaneous measurements of blood flow in carotid artery by means of pulse and continuous wave doppler methods. Ultrasound in Medicine and Biology 1976. 2, 189-193.
4. Campbell Maurice: Patent ductus arteriosus./Some notes on prognosis and on pulmonary hypertension /British Heart Journal 1955. 17, 4. 511-533.
5. Chrościcki Antoni, Materska-Radwoń Teresa, Świdorski Jerzy: Wady wrodzone serca u dzieci. PZWL 1967.
6. Chrościcki Antoni, Krystyna Iwaszkiewicz, Mirosława Czarnowska, Anna Turska: Ultradźwiękowe osłuchiwanie przepływu przez naczynia krwionośne i serce u dzieci. Przegląd Pediatryczny 1979. IX, 2-3, 83-86.
7. Chrościcki Antoni, Krystyna Iwaszkiewicz, Powalowski T.: Zastosowanie ultradźwiękowej metody dopplerowskiej do oceny zmian szybkości i kierunku przepływu krwi przez prawą komorę u dzieci zdrowych. Przegląd Pediatryczny 1979. IX. 2-3, 87-90.

8. Coceani Flavic: Prostaglandins and patency of the ductus arteriosus. Conference on Pediatric Research 1978
9. Dobosz Jolanta, Jaklik B., Bochenek A.: 100 przypadków przetrwałego przewodu tętniczego leczonych operacyjnie. Polski przegląd Chir. 1977. 49, 12. 1217-1219.
10. Edmunds L. Henry, Gregory George A.: Surgical closure of the ductus arteriosus in premature infants. Circulation 1973. 48, 4. 856-862.
11. Evans W., Short D.S.: Pulmonary hypertension in congenital heart disease. Brit. Heart Journ. 1958. 20, 4. 529.
12. Ewy Gordon A., Rios Jorge C., Marcus Frank J.: The dirotic arterial pulse. Circulation 1969. 39, 5. 655-661.
13. Feinberg Artus W., Lax Henry: Studies of the arterial pulse wave. Circulation 1958. 18, 6. 1125-1131.
14. Feidtman Robert W., Andrassy J.R., Alexander J.A., Stanford W.: The doppler ultrasonic flow detection as an adjunct in the diagnosis of patent ductus arteriosus in premature infants. The Journ.of Thor. Surg. 1976. 72, 2. 288-290.
15. Filipczyński L.: Diagnostyka ultradźwiękowa w położnictwie i chorobach kobiecych. PZWL 1975.
16. Filipczyński L., Herczyński R., Nowicki A., Powalowski T.: Przepływy krwi- hemodynamika i ultradźwiękowe dopplerowskie metody pomiarowe. PWN 1980.
17. Fitzgerald D.E., Carr J.: Peripheral arterial disease:

- assessment by arteriography and alternative noninvasive measurements. *Am.J.Roentgenol.* 1977. 128, 385-388.
18. Folger G.M., Shah K.D.: Subclavian steal in patients with Blalock-Taussig anastomosis. *Circulation* 1965. 31, 2. 241-249.
 19. Gittenberger de Groot Adrian: Morphology of the normal human ductus arteriosus. Conference on Pediatric Research 1978 Ohio.
 20. Heath D., Edwards J.E.: The pathology of hypertensive pulmonary vascular disease. *Circulation* 1958. 18, 4. 533-547.
 21. Heyman Michael A., Rudolph Abraham M.: The ductus arteriosus. Report of the 75 Ross Conference on Pediatric Research 1978.
 22. Idriss F., Riker W.: Repair of Tetralogy of Fallot with previous aortic-pulmonary anastomosis. *Surgery* 1964, 55, 1, 87.
 23. Krystyna Immurzyńska : Diagnostyka ultrasonograficzna. PZWL 1980.
 24. Krystyna Iwaszkiewicz, Giżycka I., Chrościcki A., Powalowski T.: The role of transcutaneous ultrasonic doppler method in diagnosis of patency of congenital and surgical shunts between aorta and pulmonary artery. *FASE* 1978. 149-152.
 25. Krystyna Iwaszkiewicz, Giżycka I., Chrościcki A., Dobrowiecka A.: Zmiany szybkości przepływu w tętnicach szyjnych u

dzieci z przetrwałym przewodem tętniczym rejestrowane ultradźwiękową metodą dopplerowską. Przegląd Pediatryczny 1979. IX. 2-3, 91-93.

26. Johnson Steve L., Baker Donald W., Lute Robert A.: Doppler echocardiography. The localization of cardiac murmurs. Circulation 1973, 48, 4. 810-819.
27. Kalmanson D., Veyrat Colette, Deraî Claude: Noninvasive technic for diagnosing atrial septal defect and assessing shunt volume using directional doppler ultrasound. Brit. Heart Journ. 1972. 34, 981-999.
28. Kalmanson D., Aigueperse J., Veyrat C.: Noninvasive technic for diagnosing congenital and acquired ventricular septal defect using directional doppler ultrasound. Brit. Heart Journ. 1974. 36, 428.
29. Kalmanson D., Veyrat C., Bernier A., Witchitz S., Chiche P.: Opening snap in patients with mitral stenosis. Brit. Heart Journ. 1976. 38, 135-146.
30. Kenney D.W., Elsner R.W., Franklin D.L.: Simple surgical approach to iliac artery of the horse for blood flow measurement. J. of Applied Physiology 1966. 21, 2. 705-706.
31. Kownacka-Klimek Ewa: Przetrwwały przewód tętniczy w aspekcie rozwoju objawów klinicznych i metod diagnostycznych. Folia Medica Cracoviensia 1977 XIX. 4. 447-460.
32. Kownacka-Klimek E., Popczyńska-Markowa M.: Odmienność przebiegu klinicznego przetrwałego przewodu tętniczego u niemowląt. *Pediatrics Polska* 1978, LIII. 2, 141-147.

33. Lewes David: The exercise test in patent ductus arteriosus. Brit. Heart Journ. 1952. XIV.3, 357-362.
34. Light L.H.: A recording spectrograph for analysing doppler blood velocity signals /particulary from aortic flow/ in real time. The Journ. of Physiology 1970, 207,2. 42.
35. Lord R., Ehvenfeld J.: Carotid subclavial by-pass a hemodynamic study. Surgery 1969, 66. 3. 176.
36. Nadas Aleksander: Kardiologia dziecięca. PZWL 1967.
37. Nimura Yasuharu, Matsuo Hirohide, Haysshi Tohru, Kitabetake Akira: Studies on arterial flow patterns- instantaneous velocity spectrums and their phasic changes - with directional ultrasonic doppler technique. Brit. Heart Journ. 1974. 36, 889-897.
38. Malec Z., Gruchalski J., Iwazkiewicz K., Wagner A.: Zastosowanie ultradźwiękowej metody dopplerowskiej do oceny przepływu krwi przez przetoki tętniczo-żyłne typu Cimino-Brescia. Polskie Archiwum Medycyny Wewnętrznej 1977. 58. 6. 579-583.
39. Malec Z., Iwazkiewicz K., Gruchalski J.: Zastosowanie ultradźwiękowej metody dopplerowskiej w diagnostyce skrętu jądra. Wiadomości lekarskie. PZWL 1978. XXXI, 23, 1677-1679.
40. Marcus Frank I., Perloff J.K., DeLeon A.C.: The use of amyl nitrite in the hemodynamic assessment of aortic valvular and muscular subaortic stenosis. American Heart Journ. 1964. 68, 4. 468-475.

41. Marczyńska-Robakowa M., Rowecka-Trzebiecka K.: Pneumocystozowe zapalenie płuc powikłane ospą wietrzną u niemowlęcia z przetrwałym przewodem tętniczym. *Pediatrics Polska* 1977. LII, 5. 565-568.
42. Mc Donald D.A.: The relation of pulsatile pressure to flow in arteries. *Journ. of Physiology* 1955, 127. 533-552.
43. Mc. Donald D.A.: Blood flow in arteries. London 1960.
44. Mirsky Israel, Pasternac A., Ellison R.: General index for the assessment of cardiac function. *The American J. of Cardiology* 1972. 30, 5. 483-491.
45. Moll J.: Ocena czynności lewej komory serca na podstawie badań poligraficznych u dzieci z wrodzonymi bezsiniowymi wadami serca przed i po korekcji wady. *Przegląd Pediatryczny* 1979. IX 2-3. 201-207.
46. Moll J.: Ocena czynności lewej komory serca na podstawie badań polikardiograficznych u dzieci z wrodzonymi bezsiniowymi wadami serca. Cz.II Wady przeciekowe. *Przegląd Pediatryczny* IX. 2-3, 209-213.
47. Moll J.: Ocena czynności lewej komory serca na podstawie badań polikardiograficznych u dzieci z wrodzonymi bezsiniowymi wadami serca przed i po korekcji wady. Cz.III. *Przegląd Pediatryczny*. IX. 2-3, 215-221.
48. Moss A.J., Adams F.H., Emmanouilides G.C.: Heart diseases in infants, children and adolescents. 2nd edition 1978.
49. Powałowski T.: Towards quantitative blood velocity measurements with the continuous wave ultrasonic doppler method.

Proc. XVth Int. Conf. on Acoustica, Praha 1976.

40. Powalowski T.: Real time automatic transcutaneous determination of blood velocity by means of C.W. doppler method eliminating angle dependence. FASE 1978 The second Congress of the Federation of Acoustical Societies of Europe. 157-160.
41. Reid J.M., Stevenson E.N., Coleman R.S.: Moderate to severe pulmonary hypertension accompanying patent ductus arteriosus. Brit. Heart Journ. 1964, 26, 5. 600.
42. Rudolph Abraham M., Mayer Florence E., Nadas Aleksander : Patent ductus arteriosus. A clinical and hemodynamic study of 23 patients in the first year of life. Pediatrics 1958, 22, 5. 892-903.
43. Rudolph Abraham M.: Hemodynamic basis for clinical manifestation of patent ductus arteriosus. Amer. Heart Journ. 1964, 68, 4. 447-458.
44. Rudolph A.M., Heymann M.A., Spitznas U.: Hemodynamic considerations in the development of narrowing of the aorta. The Amer. Journ. of Cardiol. 1972, 30, 5. 515-525.
45. Rudolph A.M.: The role of ductus arteriosus in the fetus and postnatal circulatory changes. Report of the 75 Ross Conference on Pediatric Research, 1978.
46. Rushmer R.F., Baker D.W., Stegall H.F.: Transcutaneous doppler flow detection as a nondestructive technique. Journ. of Applied Physiology. 1966, 121, 2. 554-566.
47. Shepherd J.T., William M.Ch., Weidman H., Burke E.C., Wood E.H.: Hemodynamics in patent ductus arteriosus without a

murmur. *Circulation* 1955. XL. 3. 404-410.

58. Strandness D.E., Schultz R.D., Sumner D.S., Rushmer R.F.: Ultrasonic flow detection. *The Amer. Journ. of Surg.* 1967. 118, 311 - 327.
59. Strandness D.E. edited by Colic Roberts: *Blood flow measurements* 1972.
60. Stegall H.F., Rushmer R.F., Baker D.W.: A transcutaneous ultrasonic blood velocity meter. *Journ. of Applied Physiology* 1966. 21, 2. 707-711.
61. Tavel Morton E.: *Clinical phonocardiography and external puls recording*. Sc. Ed. Year Book Medical Publ. 1972-73.
62. Thomas Paul A.: Noninvasive estimation of brachial artery blood flow: a clinical application of ultrasonic instrumentation. *Med. Progr. Technol.* 1977. 4, 163-168.
63. Wagner A.: Analiza zmian hemodynamicznych i krążenia obocznego w ostrej niedrożności tętniczej. *Pamiętnik III Zjazdu Naukowego Polskiego Tow. Chirurgów Dziec.* 1973 czerwiec. 523-532.
64. Wagner A., Iwaszkiewicz K., Powałowski T.: Zastosowanie techniki ultradźwiękowej w ocenie zaburzeń krążenia obwodowego u dzieci. *Problemy Chirurgii Dziecięcej* 1978, 5. 21-26.
65. Wagner A., Wolska A.: Wykorzystanie ultradźwiękowej metody dopplerowskiej w badaniu stanów niskiego przepływu u dzieci. *Anestezja reanimacja i intensywna terapia*. PZWL 1978 X, 1. 17-30.

66. Wagner A., D.Borowska, H.Jakubowska, B.Ponikarczyk: Ultra-dźwiękowa diagnostyka przepływowych i zastawkowych wad serca. Przegląd Pediatryczny 1979 IX. 2-3. 111-118.
67. Wagner A.: Ultradźwiękowa analiza zmian w przepływie i oporze obwodowym u dzieci zdrowych i ze schorzeniami układu krążenia. Przegląd Pediatryczny IX. 2-3. 103-110.
68. Wagner A., Powalowski T., Tołłoczko Z.: Zależność pomiędzy prędkością ruchu krwi i czynnością serca u dzieci. Przegląd Pediatryczny IX. 2-3. 95-102. 1979.
69. Wesolowski J., Zakrzewski Z., Nowicki A., Borodziński K.: Przydatność przepływomierza ultradźwiękowego w umiejscowieniu przetoki tętniczo-żylnej. Polski Przegląd Chirurgiczny 1976. 48, 709-712.
70. Wesolowski J., Etienne, Nowicki A., Hubl S., Maliński B.: Zastosowanie głowicy ultradźwiękowej do nakłuć tętnic udowych. Tygodnik Lekarski 1977. 4, 49. 459-461.
71. Wood Paul: Pulmonary hypertension with special reference to the vasoconstructive factor. Br. Heart Journ. 1958. 20, 4. 557.
72. Wright J.S., Osborn J.J., Gerbode F.: Pulmonary vascular resistance in the young animal. The Journ. of Cardiovascular Surgery 1964. 5, 2. 147.
73. Yoneda Shotaro, Mukada Tadaatsu, Tada Kunihiko: Subclavian steal in Takayasu's arteritis. A hemodynamic study, by means of ultrasonic doppler flowmetry. Strokel 1977. 8, 2. 264-268.

74. Pulsed Doppler Echocardiography Clinical Applications.

1976. Document N-20515-B USA.

SPIS TREŚCI

Str.

Część I – WPROWADZENIE

1. Wstęp i rys historyczny	3
2. Zagadnienia kliniczne	7
a - Anatomia przewodu tętniczego	7
b - Hemodynamika przepływów przez przewód tętniczy w życiu płodowym	8
c - Hemodynamika przepływów przez przewód tętniczy po porodzie	11
d - Zespół objawów klinicznych i dotychczasowa diagnostyka kardiologiczna	14
3. Badanie prędkości przepływu krwi metodą dopplerowską fali ciągłej	18
a - Stosowana aparatura ultradźwiękowa	23
b - Rejestratory	28
c - Metodyka badań	29
d - Bezpieczeństwo badań ultradźwiękowych	31

Część II – BADANIA WŁASNE

4. Założenia, cel pracy i materiał kliniczny	33
5. Pomiar prędkości przepływu krwi w tętnicach obwodowych u dzieci zdrowych	36
6. Zmiany krzywych prędkości przepływu krwi u dzieci z przetrwałym przewodem tętniczym	44

a - Badania przed operacją	44
b - Badania po podwiązaniu przewodu tętniczego	52
c - Porównanie odcinków czasowych	56
d - Automatyczna ocena maksymalnej i średniej prędkości przepływu w tętnicy szyjnej	63
e - Porównanie z innymi badaniami kardiologicznymi..	68
7. Wady serca dające podobne zmiany prędkości przepływu	69
a - Anastomoza Blalock-Taussig u dzieci z zespołem Fallota	69
b - Zastawkowe zwężenie aorty	74
8. Omówienie wyników i dyskusja	76
9. Wnioski	86
10. Streszczenie	88
11. Piśmiennictwo	91