

WALDEMAR LECH OLSZEWSKI

## MODEL DOŚWIADCZALNY DO BADAŃ ZABURZEŃ PRZEPIYWU KRWI W DUŻYCH TĘTNICACH

Z Zakładu Chirurgii Doświadczalnej PAN w Warszawie  
z I Kliniki Chirurgicznej AM w Warszawie  
Kierownik: prof. dr J. Nielubowicz

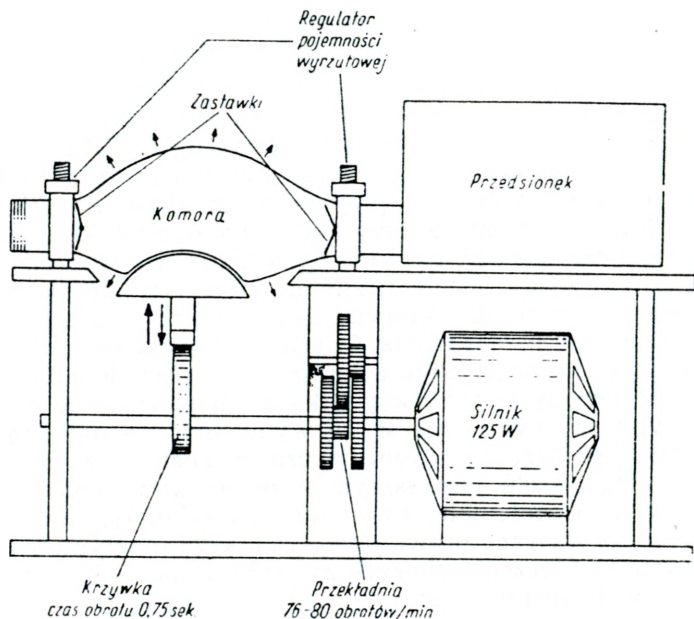
W przebiegu miażdżycy zamknięcie ogranicza się niekiedy tylko do pewnych odcinków tętnic. Powoduje to na obwodzie niedokrwienie, którego stopień i rozmiary zależne są od umiejscowienia i rozmiaru zatykającej przeszkody. Chirurg, który ma przywrócić drożność naczyń za pomocą przeszczepu lub udrożnienia tętnicy i stworzyć dopływ krwi szerokim korytem do części obwodowej, obowiązany jest rozumować zarówno kategoriami klinicznymi, jak i mechanicznymi, które wyznaczają mu fizyczne prawa krążenia krwi. Środki, którymi dysponuje chirurg przy wykonywaniu tych operacji, są niedoskonałe. Operując stwarza się kanały lub wstawia przewody, które mogą jedynie doprowadzić krew do odcinków poniżej przeszkody. Przewody te spełniają tylko mechaniczną rolę, nie podlegają zmianom czynnościowym i nie są „nowymi” naczyniami krwionośnymi. Nowe przewody podlegają prawom fizycznym, ruch cieczy przepływającej przez nie podlega ściśle tym samym prawom, które obowiązują i poza ustrojem żywym. Wymienione wyżej względy skłaniają chirurga do przekonania się, które fizyczne prawa przepływu krwi mogłyby być przydatne w kwalifikowaniu i leczeniu chorych za pomocą operacji przywracających krwiotok w wielkich tętnicach.

W związku z tym staraliśmy się stworzyć model, który pozwoliłby na jak najdogodniejsze badanie praw fizycznych przepływu krwi w układzie podobnym do układu tętnic ludzkich. Po wstępnych próbach na różnego rodzaju modelach z gumy i mas plastycznych doszliśmy do wniosku, że najlepszym modelem do tego celu byłyby tętnice ludzi zmarłych. Badając w nich przepływ płynu podobnego do krwi, zamykając lub zwężając je na pewnych odcinkach, moglibyśmy odpowiedzieć, jak zachowuje się ilościowo dopływ do odcinka poniżej przeszkody oraz jak zmienia się ciśnienie i tętno. Otrzymane dane, aczkolwiek odpowiadające jedynie warunkom sztucznie stworzonego modelu doświadczalnego, mogłyby pomóc w zrozumieniu niektórych zjawisk klinicznych i być przydatne w operacyjnym leczeniu. Zastosowaną metodę nazwaliśmy sztucznym krążeniem na zwłokach (s.k.z.).

### METODA

Do stworzenia modelu doświadczalnego krążenia tętniczego niezbędne były: zwłoki osób bez zmian w naczyniach, pompa tłocząca płyn do tętnic, pracująca tak, jak lewa komora serca, oraz płyn o cechach fizycznych zbliżonych do krwi.

Do tłoczenia płynu skonstruowaliśmy pompę elektryczną, która pod względem mechanicznym spełniała rolę lewej komory serca (ryc. 1). Pompa ta napędzana silnikiem o mocy 125 W składała się z „przedsionka” połączonego zastawką jednokierunkowego przepływu (odpowiednik zastawki dwudzielnej) z gumową „komorą” o pojemności 150 ml. Wypływ z komory odbywał się przez jednokierunkową zastawkę (odpowiednik zastawki półksiężycowatej). Komora była uciskana rytmicznie tłokiem poruszającym krzywką z przekładnią. Częstość „skurczów” komory była regulowana zależnie od zapotrzebowania od 60 do 180 min. Czas obrotu oraz krzywizna krzywki zostały tak obliczone, by naśladować pod względem czasu i siły wyrzutu lewą komorę serca. W czasie rozkurczu komora wypełniała się płynem znajdującym się w nadmiarze w przedsionku. Ewentualny ubytek był natychmiast uzupełniany z do-



Ryc. 1. Schemat pompy do sztucznego krążenia na zwłokach.

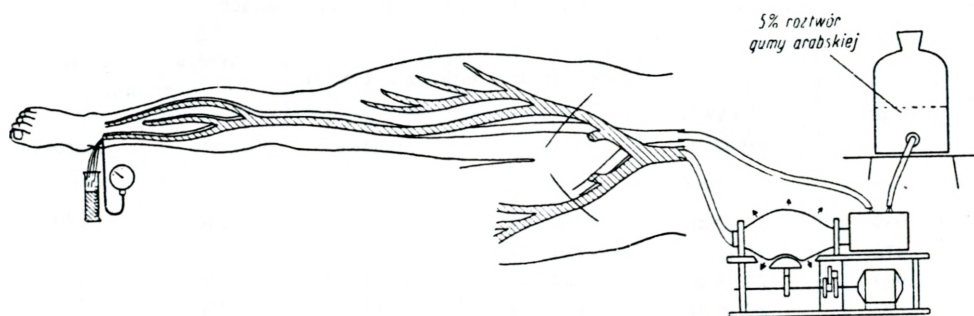
datkowego zbiornika. Działanie ssące pompy było bardzo nieznaczne. Posiadała ona regulator pojemności wyrzutowej, która maksymalnie mogła dochodzić do 5 l/min. Objętość poszczególnego wyrzutu oraz szybkość, z jaką był wykonywany, mogła być zmieniana za pomocą regulatora amplitudy tętna.

Do wypełniania układu naczyniowego zastosowaliśmy 5% roztwór gumy arabskiej. Tego rodzaju roztwór posiadał cechy fizyczne zbliżone do krwi. Jego lepkość w stosunku do wody wynosiła w temp. 20° przeciętnie 3,2, a po wymieszaniu z krwią zwłok 3,5 do 3,8. W ciągu pierwszych 25—30 minut krążył on w naczyniach i nie przenikał do tkanek. Z powodzeniem można było zastępować go handlowym roztworem dekstranu. Natomiast roztwór fizjologiczny soli oraz 5% roztwór gumy arabskiej powodowały szybkie występowanie obrzęków w tkankach zwłok.

Całość badań wstępnych podzieliliśmy na dwie grupy. W grupie pierwszej staraliśmy się stworzyć sztuczne krążenie w naczyniach zwłok psa. Po opracowaniu tej metody porównywaliśmy krążenie u psów żywych i tych samych psów martwych przy użyciu s.k.z. Miało to dać nam odpowiedź na pytanie, czy możliwe jest sztuczne krążenie na zwłokach oraz jakie istnieją różnice w przepływie przez duże tętnice u zwierząt żywych i martwych.

Do badań użyliśmy 15 psów mieszańców przeciętnej wagi 10—15 kg. Psom żywym otwieraliśmy w uśpieniu eunarkonowym jamę brzuszną, odsłanialiśmy odcinek aorty brzusznej, t. biodrowe, a następnie t. udowe. Do wyosobnionych tętnic wkładaliśmy odprowadzenia elektromanometru, do obwodowej części t. udowej dodatkowo kaniulę połączoną z kalibrowanym cylindrem, za pomocą którego określaliśmy wielkość wypływu. Psy otrzymywały heparynę w ilości 2 mg/kg wagi ciała.

Po zarejestrowaniu wartości ciśnień w poszczególnych punktach i wypływu, psy usypialiśmy. W 1 godzinę (8 zwierząt) i w 24 godziny (7 zwierząt) po zgonie łączyliśmy pompę z lewą komorą serca lub wstępującą częścią łuku aorty, a prawy przedsionek za pomocą kaniuli z „przedsionkiem” pompy. Dla uniknięcia przecieków do małego krążenia podwiązywaliśmy tętnicę i żyły płucne. Pojemność wyrzutową oraz częstość „skurczów” pompy, a także wysokość amplitudy tętna staraliśmy się dostosowywać do wartości istniejących za życia psa. Bezpośrednio przed uruchomieniem s.k.z. wstrzykiwaliśmy do t. głównej 50 mg heparyny celem zapobieżenia krzepnięciu krwi, która u psa w czasie doświadczenia krzepła niekiedy nawet w 24 godziny po śmierci.



Ryc. 2. Schemat sztucznego krążenia na zwłokach.

Otrzymane dane psa żywego i martwego porównywaliśmy ze sobą. W grupie drugiej chcieliśmy stworzyć sztuczne krążenie w naczyniach zwłok ludzkich, co pozwoliłoby na późniejsze badania nad zaburzeniami przepływu w tętnicach.

Badania przeprowadzaliśmy na zwłokach osób w wieku 25—60 lat, zmarłych przed 6—24 godzinami, bez zmian miażdżycowych. W tętnicach znajdowała się zwykle nieznaczna ilość płynnej krwi, w żyłach natomiast krew z domieszką skrzepów, które łatwo było usunąć po rozpoczęciu sztucznego krążenia.

Ponieważ zasadniczym celem pierwszego etapu pracy były badania krążenia w tętnich kończyn dolnych zrezygnowaliśmy z perfuzji naczyń całego ustroju, podłączając pompę bezpośrednio do tętnicy brzusznej tuż poniżej tętnic nerkowych (ryc. 2). Niemniej, by uniknąć zniekształceń fali tętna, długość przewodu od komory do miejsca połączenia z aortą brzuszną równa była zawsze długości aorty od zastawek półksiężycowatych do tętnic nerkowych.

Po połączeniu pompy z aortą i żyłą główną dolną z przedsionkiem uruchamialiśmy krążenie. Płyn perfuzyjny mieszał się z krwią, przechodził z tętnic do żył i wracał do pompy, skąd ponownie był przepompowywany na obwód. Niewielki ubytek płynu krążącego powodowany był przede wszystkim wypływaniem z przeciętych drobnych naczyń. Dopiero po 25—30 minutach dawało się zauważyć nieznaczne przesiąkanie płynu do tkanek. W każdym przypadku ustawialiśmy pompę na taką objętość wyrzutową, by ciśnienie mierzone elektromanometrem w tętnicach

obwodowych wynosiło stale około 120/80 mm Hg. Brak przepływomierza elektromagnetycznego zmuszał nas do oceny wielkości przepływu obwodowego najprostszym sposobem, tj. określeniem wielkości wypływu z przeciętej t. piszczelowej t. w ml/min.

## WYNIKI

W grupie I u psa martwego można było wytworzyć warunki krążenia w dużych naczyniach, zbliżone do istniejących za życia. Pewne trudności stwarzało ustawienie pompy na dokładnie taką samą ilość „skurczów” jak za życia, krzepnięcie wyznaczynionej krwi po śmierci i niekiedy liczne nieskoordynowane skurcze wszystkich mięśni psa po uruchomieniu s.k.z. w pierwszej godzinie po uśpieniu.

Tabela I

Zestawienie wyników wypływu z t. udowej i ciśnienia u psa żywego i tego samego psa martwego przy zastosowaniu sztucznego krążenia na zwłokach

Nr psa	Czas od chwili uśpienia	Ciśnienie w t. udowej w mm Hg		Wpływ w t. udowej w ml/min.	
		żywy	martwy	żywy	martwy
959	1 godz.	180/160	180/160	240	240
970	1 godz.	150/130	150/139	180	168
969	24 godz.	120/90	120/100	120	120
22	24 godz.	160/130	160/110	260	280
23	24 godz.	150/140	150/130	120	120
24	24 godz.	120/90	120/90	240	240
33	24 godz.	150/120	150/110	276	270
34	24 godz.	160/125	160/135	300	240
219	24 godz.	150/120	150/120	276	216
236	1 godz.	160/110	165/110	160	160

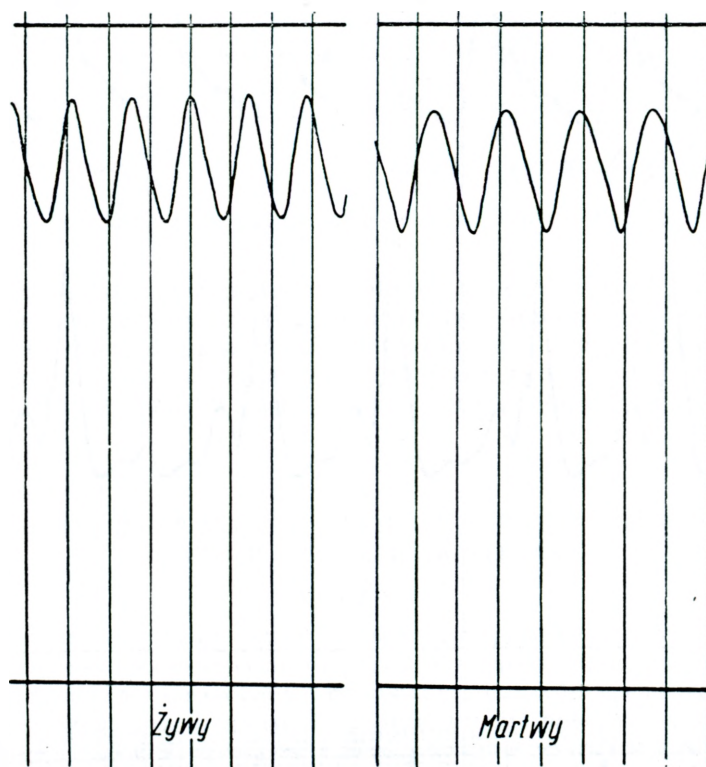
Wyniki wypływu z t. udowej i ciśnień u psa żywego i tego samego psa martwego przedstawia tabela I. Z przedstawionych danych wynika, że u psa martwego łatwo było osiągnąć w tętnicach ciśnienie podobne do istniejącego za życia. Krzywe ciśnienia w aorcie (ryc. 3) wykazują znaczne podobieństwo. Wpływ z tętnicy udowej był u psa żywego i martwego mniej więcej jednakowy, a różnice leżały w granicach błędu. Brak było wyraźnych różnic w wypływie u psów uśmierconych przed 1 godziną i 24 godzinami.

W grupie II badań na 10 zwłokach ludzkich udało się opracować wszystkie szczegóły techniczne dotyczące s.k.z. Płyn perfuzyjny krążył w naczyniach tętniczych i żylnych, czego dowodem było zarówno jego sączenie się z przeciętych tkanek, jak i tętniący wpływ uszkodzonych drobnych tętnic oraz obfity wypływ z żyły głównej. Ciśnienie utrzymywało się wewnątrz tętnic na tym samym poziomie w ciągu co najmniej 30 minut. Przeciętna ilość płynu, który wypływał z t. piszczelowej tylnej w ciągu minuty przy przeciętnym ciśnieniu 120/80 mm Hg, wahała się od 64 do 260 ml, średnio 164,6 ml.

Elektromanometryczne krzywe ciśnienia rejestrowane w aorcie brzusznej oraz tt. biodrowych, udowych i piszczelowych przedstawia ryc. 4. Dla porównania przedstawiliśmy również krzywe uzyskane z t. udowej człowieka żywego oraz na zwłokach (ryc. 5). Zwraca uwagę znaczne podobieństwo kształtu obu krzywych.

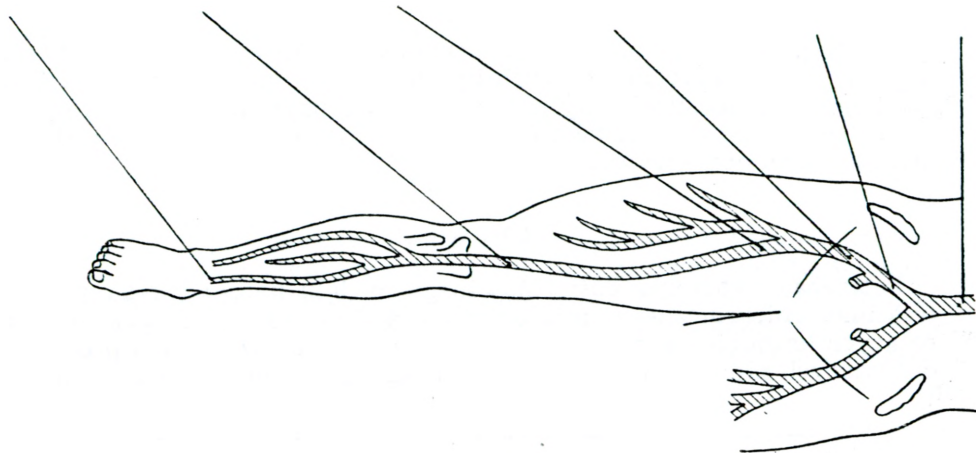
#### OMÓWIENIE

Potrzeba stworzenia doświadczalnego modelu naczyniowego powstała w klinice chirurgicznej w miarę rozpowszechniania się operacji przywracających krwiobieg w tętnicach i ujawniania się coraz nowych problemów dotyczących zaburzeń krążenia obwodowego. Żadne dotychczasowe metody

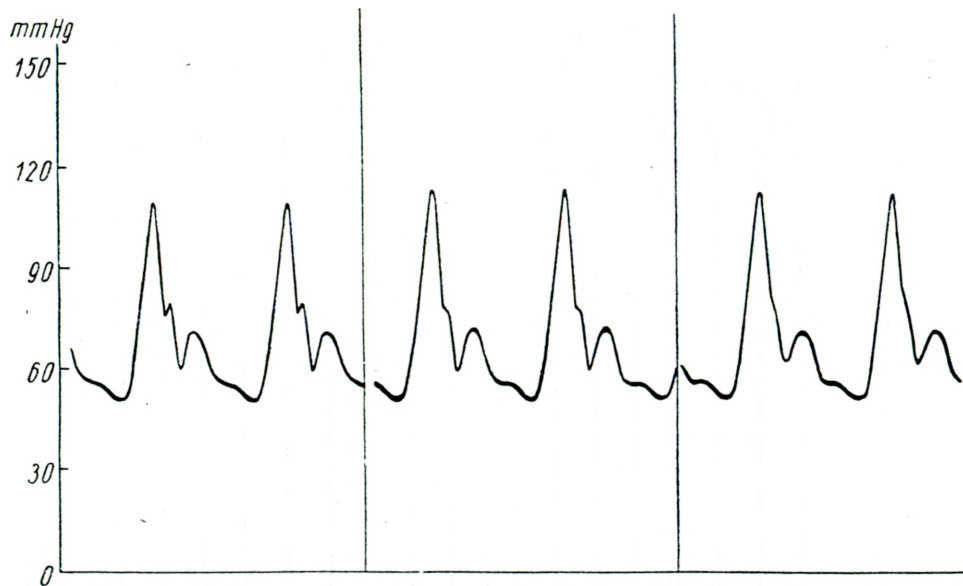


Ryc. 3. Zapis ciśnienia w t. głównej psa, po lewej psa żyjącego, po prawej tego samego psa martwego.

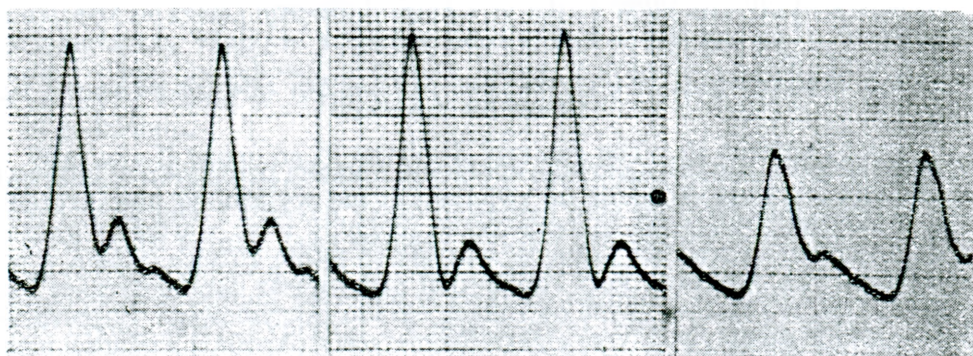
doświadczalne nie mogą określić dokładnie wartości przepływu w tętnicach człowieka żywego. Badania na zwierzętach nie wyjaśniają prac krążenia u człowieka. Obliczenia matematyczne mogłyby mieć wartość wówczas, gdybyśmy znali średnice i długość wszystkich tętnic, różnice ciśnień w poszczególnych punktach, kąty rozgałęzień naczyń oraz dane dotyczące lepkości krwi w poszczególnych odcinkach układu naczyniowego. Najbardziej precyzyjne przepływomierze elektromagnetyczne określają wielkości przepływu z błędem niekiedy do 50%.



a



b

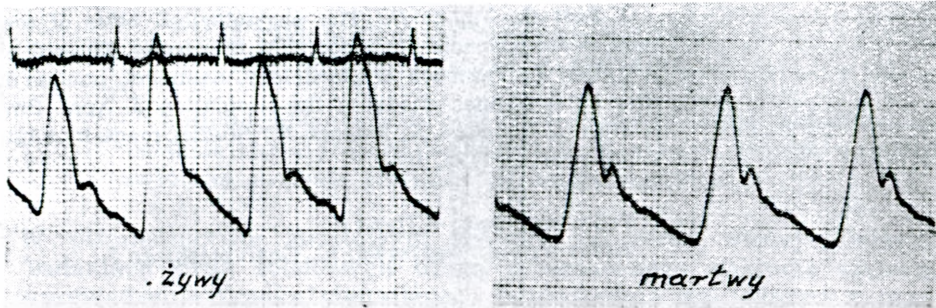


c

Ryc. 4. Zapis ciśnienia w tętnicach kończyn dolnych zwłok.

Wydaje się, iż na stworzonym przez nas modelu doświadczalnym można będzie zapoznać się chociaż w przybliżeniu z prawami ruchu cieczy, które mogłyby mieć zastosowanie w operacjach u ludzi. Świadczą o tym: łatwość uzyskania w tętnicach stałego ciśnienia o wartościach zbliżonych do istniejących u człowieka żywego i znaczne podobieństwo wewnątrznaczyniowych krzywych elektromanometrycznych, włącznie ze szczegółami, jak fala dykrotyczna.

Poza tym wartości wypływu z tętnic psa żywego i tego samego psa martwego oraz krzywe ciśnienia w dużych tętnicach są bardzo zbliżone do siebie.



Ryc. 5. Zapis ciśnienia w t. udowej człowieka, po lewej osoby żywej, po prawej zwłok.

Oczywiście dane otrzymane na takim modelu doświadczalnym, dotyczące zaburzeń przepływu, będą miały tylko wartości porównawcze, odpowiadające warunkom sztucznie stworzonego układu badawczego. Niemniej pamiętając o wszystkich zastrzeżeniach, będzie chyba możliwe wyciągnąć niektóre wnioski pomagające w zrozumieniu zaburzeń krążenia obwodowego.

В. Л. Ольшевски

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАССТРОЙСТВ ТОКА КРОВИ В БОЛЬШИХ АРТЕРИЯХ

##### Содержание

Разработан метод перфузии сосудов человеческого трупа, который мог бы быть применен для исследования расстройств тока крови в артериях. Предварительные, сравнительные исследования у живых собак и тех самых мертвых собак при применении искусственного кровообращения на трупах обнаружили, что как величины протока жидкости так и кривые давления на трупах были очень похожи на результаты наблюдаемые прижизненно. Дальнейший этап исследований заключался в разработке техники искусственного кровообращения в сосудах человеческого трупа.

W. Olszewski

#### EXPERIMENTAL MODEL FOR INVESTIGATIONS ON DISTURBANCES OF THE BLOOD FLOW THROUGH GREAT ARTERIAL VESSELS

##### Summary

A method of vascular perfusion in human cadavers was elaborated. This method might be considered suitable for investigations on disturbances of the blood flow

through arteries. Preliminary comparative study, using the method of artificial circulation, was carried out on living and the same killed dogs. It was shown, that as well the fluid flow rate as well pressure curves in cadavers were similar to those observed in living animals. The further stage of the research consisted in elaboration of the techniques of artificial circulation within blood vessels of human cadavers.

## PIŚMIENNICTWO

1. *Best C., Taylor N.*: The physiological basis of medical practice. Baltimore, 1955. —
2. *McDonald D.*: Blood flow in arteries. Edward Arnold Ltd. London 1960. —
3. *Fulton J.*: Textbook of physiology. Saunders, London 1955. —
4. *Morgan D., Gtodins F.*: A physical model of the circulation. *J. Appl. Physiology*, 13, 1, 145, 1958. —
5. *Starr I., Schnatel T., Mayock R.*: Studies made by simulating systole at necropsy. *Circulation*, 8, 1, 44, 1953.

Praca wpłynęła: 4. II. 63 r.

Adres autora: Warszawa, ul. Chałubińskiego 5.