

WALDEMAR LECH OLSZEWSKI

## BADANIA PRZEPIYWU KRWI W TĘNICACH KOŃCZYN DOLNYCH

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

Chirurg udrażniając tętnice lub wykonując przeszczepy omijające stwierdza często, że miażdżycza dużych naczyń, która powoduje kliniczne objawy na obwodzie, może w znacznym stopniu mechanicznie zamykać światło tętnic. Zapewne czynniki fizyczne mają duży wpływ na warunki krążenia, które powstają w miejscu oraz poniżej przeszkody. Za słusznością tego poglądu przemawia też 2—3-letnia obserwacja kliniczna chorych, operowanych z dobrym wynikiem. Wyczuwalne przez cały czas tętno na stopie po mechanicznym udrożnieniu tętnicy lub stosowaniu przeszczepu skłania do analizy fizycznych praw przepływu, którym podlega krążenie w tętnicach kończyn dolnych.

Wymaga to próby wytłumaczenia niektórych zaburzeń krążenia w oparciu o prawa cieczy w zamkniętym układzie przewodów cylindrycznych.

Stworzenie odpowiedniego modelu doświadczalnego (7) pozwoliło na przeprowadzenie serii badań wyjaśniających wpływ czynników mechanicznych na wielkość i sposób przepływu w dużych tętnicach poniżej miejsca zatkania lub zwężenia. Celem pracy było wyjaśnienie:

1. W jakim stopniu dopływa ciecz w kończynie dolnej do obwodowego odcinka tętnicy po zamknięciu jej na różnej wysokości?

2. W jakim stopniu (odsetkowo) dopływ cieczy do odcinka poniżej przeszkody zmienia się w zależności od liczby i przekroju bocznych gałęzi?

3. W jakim stopniu długość odcinka niedrożnego wpływa na dopływ cieczy do tętnicy poniżej przeszkody?

4. Czy istnieje prosta zależność między stopniem zwężenia tętnicy a dopływem cieczy do części obwodowej?

5. Czy fala tętna może przenosić się do odcinka tętnicy poniżej miejsca niedrożności drogą gałęzi bocznych?

6. Od jakich wartości fizycznych może zależeć wyczuwanie fali tętna na obwodzie?

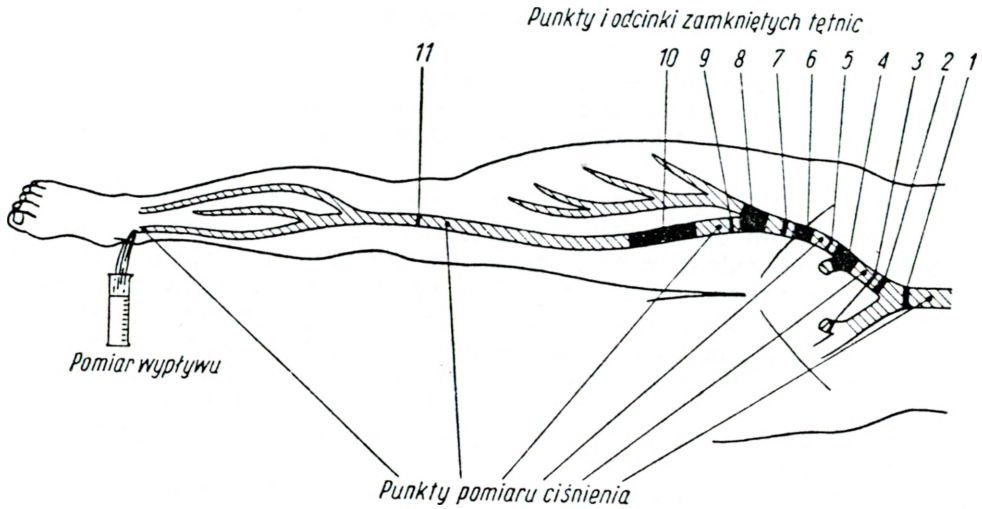
### METODYKA

Badania przeprowadzono w 3 grupach na 37 zwłokach ludzkich, używając metody sztucznego krążenia na zwłokach (skz).

W grupie pierwszej oznaczaliśmy ilości płynu wypływające z t. piszczelowej tylnej po zamknięciu głównego pnia tętniczego w miejscach przedstawionych na ryc. 1. W grupie tej oznaczaliśmy również w każdym przypadku ciśnienie i amplitudę tętna

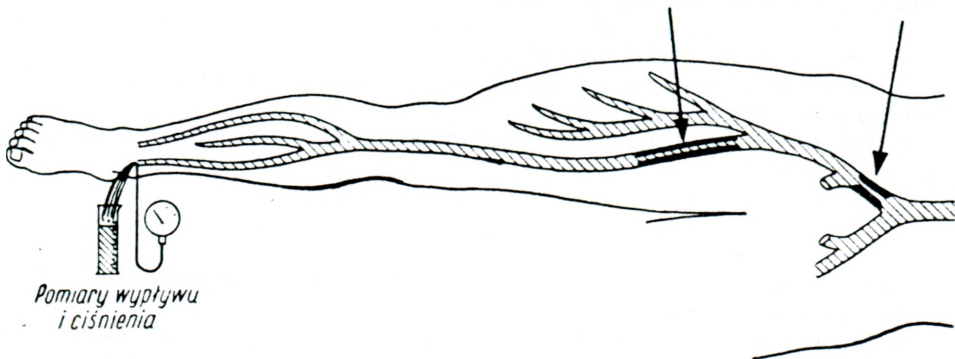
poniżej miejsca zamknięcia (ryc. 1). Ponieważ przy drożnym układzie tętniczym wypływ płynu był niejednakowy w różnych zwłokach, dlatego, aby uniezależnić się od tych różnic i aby umożliwić porównanie, obliczaliśmy odsetek wypływu płynu przy danym miejscu zamknięcia w stosunku do wypływu kontrolnego mierzzonego przed zamknięciem tętnic. Otrzymane dane były opracowywane statystycznie.

Druga grupa badań polegała na stopniowym zwężaniu światła t. biodrowej wspólnej oraz t. udowej powierzchownej i badania wypływu, ciśnienia średniego i amplitudy tętna w t. piszczelowej tylnej.



Ryc. 1. Badania wypływu i ciśnienia po zamknięciu tętnic kończyn dolnych na różnych wysokościach.

Długość zwężenia	cm	3	6	10	14	6
Szerokość światła	cm	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
		0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
		0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
						0,15



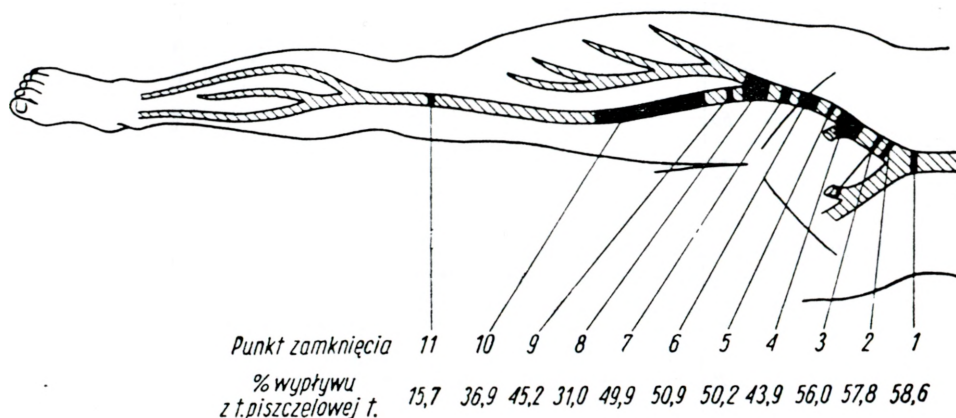
Ryc. 2. Badania wypływu i ciśnienia po częściowym zwężeniu t. biodrowej wspólnej i t. udowej powierzchownej.

Celem badań w tej grupie było znalezienie krytycznej wartości zwężenia, przy której dochodzi do bardzo dużych zaburzeń krążenia. Zwężenia dokonywaliśmy przez wprowadzenie do światła tętnicy polietylenowych rurek różnej średnicy i długości (ryc. 2).

W trzeciej grupie sprawdzano, przy jakim granicznym ciśnieniu tętna palec badającego czuje tętnienie przez skórę i bezpośrednio na odsłoniętej operacyjnie tętnicy. Przy różnych ciśnieniach od 120 do 20 mm Hg stopniowo obniżaliśmy amplitudę tętna i dotykiem staraliśmy się znaleźć granicę, przy której tętno przestawało być wyczuwalne ręką w bardzo cienkiej rękawiczce.

## WYNIKI

Wyniki badań grupy pierwszej zostały przedstawione na ryc. 3. Wiadocznym są na niej w odsetkach średnie dla całej grupy wartości wypływu z t. piszczelowej tylnej przy poszczególnych miejscach zamknięcia. Ilość



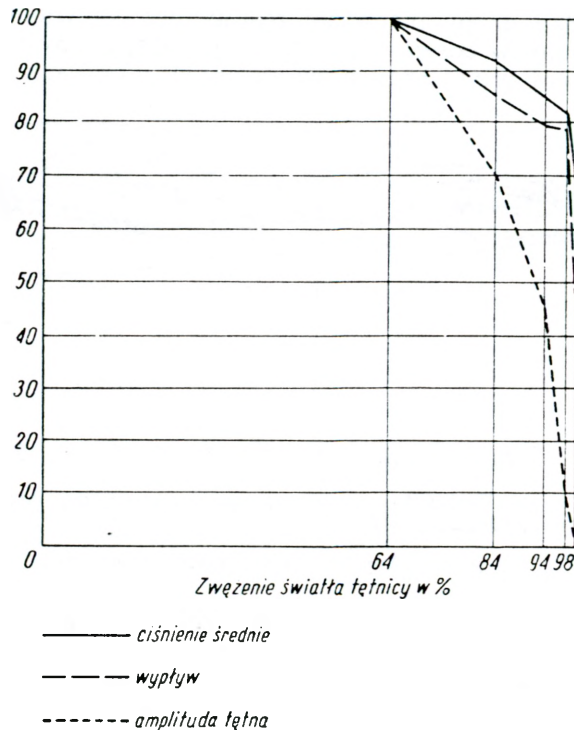
Ryc. 3. Wyniki badań grupy pierwszej.

plynu, który wypływał z t. piszczelowej tylnej w ciągu minuty przy przeciętnym ciśnieniu 120/80 mm Hg, wahała się w granicach 64—260 ml i wynosiła średnio 164,6 ml. Średnie wartości odsetkowe wypływu płynu zmniejszały się w miarę obniżania się miejsca zamknięcia tętnicy. Wyjątek stanowiły dwie sytuacje: zamknięcie całego rozgałęzienia t. biodrowej wspólnej i zamknięcie rozgałęzienia tętnicy udowej wspólnej. Średnia wypływu była wówczas zdecydowanie niższa niż przy zamknięciu tętnicy powyżej lub poniżej rozgałęzienia. Wypływ z t. piszczelowej tylnej nie zależał od długości niedrożnego odcinka t. biodrowej zewn. Był on natomiast mniejszy przy zamknięciu t. udowej powierzchownej na odcinku 15 cm niż po zamknięciu tej tętnicy w jednym miejscu.

Z analizy krzywych ciśnienia śród tętniczego wynikało, iż ciśnienie średnie poniżej przeszkody było zawsze niższe aniżeli ciśnienie średnie układu drożnego. W całym układzie tętniczym poniżej przeszkody ciśnienie tętnicze było jednakowe. Fala tętna z reguły nie przenosiła się przez krążenie uboczne. Zapis dawał prawie zawsze linię prostą. Wyjątek stanowiły znowu dwie szczególne sytuacje. Przy całkowicie drożnym rozgałęzieniu t. biodrowej wspólnej lub t. udowej wspólnej pojawiała się fala tętna w t. piszczelowej tylnej, jednak jej amplituda wynosiła najwyżej

5 mm Hg. Ani razu nie wyczuwaliśmy tętna przez skórę w okolicy kostki przyśrodkowej zwłok.

Dane uzyskane w grupie drugiej ujęte zostały w wykresie (ryc. 4). Wynika z nich, że w t. biodrowej wspólnej o średnicy 10 mm zwężenie jej światła na odcinku 60 mm o 64% (średnica wewn. 6 mm) nie odbijało się wcale na ciśnieniu średnim, amplitudzie tętna oraz wypływie. Wyraźne zmiany pojawiały się dopiero przy zwężeniu światła tętnicy o 84% (średnica wewn. 4 mm). Ciśnienie średnie obniżało się wówczas przeciętnie o 8,4%, amplituda tętna o 30,2% i wypływ o 14,2%. Zwężenie 94% (śred-



Ryc. 4. Zachowanie się ciśnienia średniego, wypływu i amplitudy tętna w t. piszczelowej tylnej przy stopniowym zwężaniu t. biodrowej wspólnej.

nica wewn. 2,5 mm) powodowało już bardzo duże zmiany wyrażające się spadkiem ciśnienia średniego o 15%, obniżeniem amplitudy tętna o 54,8% i zmniejszeniem wypływu o 21%. Przy zwężeniu światła o 98% ciśnienie poniżej zwężenia obniżało się o 18,7%, amplituda tętna zmniejszała się o 92,7%, a wypływ o 21,6%. Po całkowitym zamknięciu światła tętnicy spadek ciśnienia wynosił 31,2%, obniżenie amplitudy tętna 99% i zmniejszenie wypływu 52,6%.

Podobne zachowanie wypływu, ciśnienia i amplitudy tętna stwierdzono w czasie zwężenia t. udowej powierzchownej.

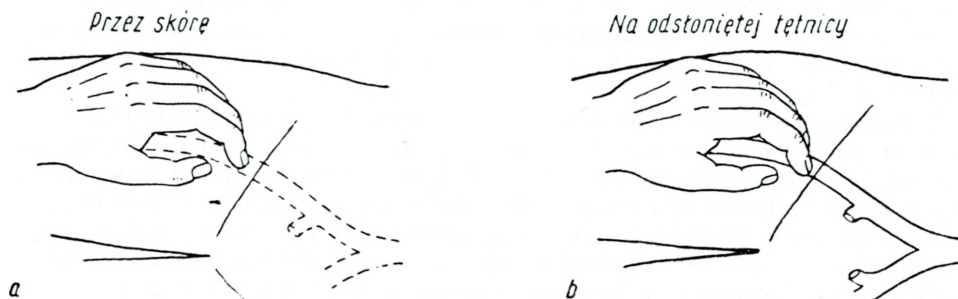
Wyniki badań w grupie trzeciej przedstawia ryc. 5. Wskazują one na to, że wyczuwanie tętna zależy wyłącznie od wysokości amplitudy tętna. Można było wyczuć tętno przez skórę na t. udowej wsp. jeszcze przy amplitudzie  $\pm 15$  mm Hg, a na odsłoniętej operacyjnie tętnicy przy amplitudzie nie mniejszej niż  $\pm 5$  mm Hg.



## OMÓWIENIE

Osiągnięte przez nas wyniki mogą mieć tylko wartości porównawcze. Badania te nie odpowiadają na pytanie, ile krwi potrzeba dla zapewnienia dostatecznego ukrwienia obwodowych części kończyny. Wartości liczbowe wypływu na pewno nie odpowiadają ilości krwi, która wypływałaby u człowieka żywego. Wszystkie wyniki badań są wartościami względnymi, wyrażającymi odsetkowo stosunek zmiany wypływu z układu niedrożnego w odniesieniu do tego samego układu całkowicie drożnego.

Perfuzja na zwłokach pozwala wyjaśniać tylko niektóre prawa fizyczne przepływu, ponieważ przy stosowanej przez nas metodzie musieliśmy traktować układ dużych tętnic jako układ rur, które nie zmieniają swych



Ryc. 5. Wartość amplitudy tętna, przy których mogło ono być wyczuwalne metodą palpacyjną.

a. Ciśnienie	Amplituda tętna
85/70	15
65/55	10
40/26	14
40/30	10
40/25	15
b. Ciśnienie	Amplituda tętna
75/70	5
55/50	5
22/12	10
26/22	4
20/15	5

wymiarów pod wpływem układu nerwowego. Założenie to może budzić sprzeciw, bowiem rola układu nerwowego w krążeniu obwodowym jest niewątpliwa. Wydaje się jednak, że przepływ przez duże tętnice obwodowe podlega przede wszystkim fizycznym prawom krążenia. Czynnikiem mechanicznym jest szczególnie ważny w analizie krążenia krwi w dużych naczyniach, których niedrożność leczy się operacyjnie.

W piśmiennictwie krajowym i zagranicznym (1, 11) natrafiliśmy tylko na dwie prace, w których wykonywano perfuzje układu naczyniowego na zwłokach. Żadna jednak z nich nie odpowiadała na pytania, które postawiliśmy na początku pracy.

Za pomocą badania na zwłokach można wyrazić liczbowo zmiany wypływu, które zależą od anatomicznego umiejscowienia przeszkody. Na ogół wypływ z t. piszczelowej zmniejszał się stopniowo w miarę obniżania miejsca niedrożności. Uderzającą sprawą był prawie ten sam wypływ w następujących 3 sytuacjach: 1) przy zamknięciu t. głównej tuż powyżej

rozwidlenia, 2) przy zamknięciu t. biodrowej wsp. po jednej stronie i 3) przy zamknięciu t. biodrowej wsp. po jednej stronie, a jednocześnie po drugiej t. biodrowej wewn. Można by stąd wnioskować, że w wymienionych sytuacjach t. biodrowa wspólna i wewnętrzna strony przeciwnej nie biorą większego udziału w ustalaniu się krążenia obocznego.

Metoda szk wykazała, że t. biodrowa wewn. i t. udowa głęboka są najważniejszymi tętnicami krążenia pobocznego. Z naszych obliczeń wynikałoby, że przez każdą z nich przepływa 10—20% płynu. W niedrożności naczyń głównych dodatkowo zamknięcie t. biodrowej wewn. oraz t. udowej głębokiej zmniejszało wybitnie dopływ płynu na obwód. Zgadza się to ze spostrzeżeniami klinicznymi, które uczą, że niedrożność wymienionych tętnic przy zamknięciu głównego pnia po tej samej stronie prowadzi zwykle do martwicy.

Zamykanie światła t. biodrowej zewnętrznej w jednym miejscu i na małym odcinku w jednakowym stopniu zmniejszało dopływ płynu na obwód. Działo się tak, ponieważ t. biodrowa zewn. nie posiada ważnych dla krążenia pobocznego odgałęzień. Natomiast zamknięcie t. udowej powierzchniowej w jednym miejscu i na odcinku 15 cm dawało różnice wypływu w granicach 10%. Tłumaczymy to obecnością większej liczby drobnych naczyń pobocznych, biorących udział w krążeniu pobocznym.

Wyraźne podobieństwo krzywych elektromanometrycznych uzyskanych w czasie szk z niektórymi krzywymi zapisanymi w klinice pozwala na pewne wyrobienie sobie poglądu na sprawę wyczuwania tętna na obwodzie u chorych z niedrożnymi tt. biodrowymi lub udowymi. Opierając się na szk można uważać, iż z chwilą gdy płyn przepływa przez krążenie poboczne, amplituda tętna zmniejsza się wybitnie lub nawet spada do zera. Znikanie tętna jest proporcjonalne do liczby tętnic krążenia pobocznego i odwrotnie proporcjonalne do przekroju tych gałęzi. W tym oświetleniu zrozumiałe jest, dlaczego w naszych badaniach jedynie przy zachowanej drożności takich szerokich odgałęzień, jak t. biodrowa wewn. lub t. udowa głęboka, fala tętna o bardzo małej amplitudzie mogła przenosić się na obwód. Jednak gdy krzywe ukazują bardzo małą amplitudę tętna (5 mm Hg), to wycucie fali tętna na obwodzie staje się bardzo mało prawdopodobne nawet przy najkorzystniejszym umiejscowieniu przeszkody, w której rozgałęzienia t. biodrowej wsp. lub udowej są całkowicie drożne.

Za pomocą szk staraliśmy się też ustalić, czy w miarę zwięzienia światła tętnicy zmienia się również wypływ, ciśnienie i amplituda tętna. Przekonaliśmy się, że krytyczną wartością jest zwięzienie światła tętnicy do 20%. Przy takim stopniu zwięzienia wypływ, ciśnienie i amplituda tętna, które do tego momentu mimo stopniowego zwięzienia światła tętnicy nie zmieniały się wcale, nagle zaczynały się wyraźnie obniżać. Te spostrzeżenia tłumaczą znane w klinice zjawisko ostrego niedokrwienia występującego niekiedy w przebiegu długotrwałej miażdżycy. Narastające stopniowo zamknięcie światła może nie objawiać się klinicznie do chwili przejścia wartości krytycznej 20% drożnego przekroju. Wymienione wartości krytycznego zwięzienia światła tłumaczą również nagłe występowanie objawów niedokrwienia po zastosowaniu przeszczepu lub udroźnienie tętnicy (5, 10). Jest to szczególnie ważne dla okolic samych zespoleń lub szwów naczyniowych.

Ciekawie przedstawia się wzajemny stosunek wypływu, ciśnienia średniego i amplitudy tętna w miarę zwięzienia światła tętnicy. Na przedstawionym wykresie (ryc. 4) widać, że pomimo zniknięcia tętna wypływ

W. L. Olszewski

INVESTIGATIONS ON BLOOD FLOW THROUGH ARTERIES OF LOWER  
EXTREMITIES

## Summary

The author investigated blood flow disturbances, developing after occlusion or stricture of lower extremities arteries within various, anatomically important segments. These investigations were carried out on cadavers, at which the method of artificial circulation was used by the author. Particular attention was called to arterial blood flow rate and blood pressure within arteries below the level of occlusion.

## PIŚMIENNICTWO

1. Bąk St.: Oboczne krążenie kończyny dolnej. Pol. Przegl. Chir., 22, 487, 1950. —
2. Edwards E., Le May M.: Occlusion pattern and collaterals in arteriosclerosis of the lower aorta and iliac arteries. Surgery, 38, 850, 1955. —
3. Kremer K.: Chirurgie der Arterien. Stuttgart 1959. —
4. Lynn R.: Hemodynamic changes following rigid and non-rigid arterial grafts. Angiology, 9, 7, 1958. —
5. Niguidula F., Jones T., Dale K.: Pulse transmission through grafts. Surg. Gyn. Obst., 108, 1, 1959. —
6. Nowicki S.: Choroby tętnic kończyn. Poznań 1958. —
7. Olszewski W. L.: Model doświadczalny do badań zaburzeń przepływu krwi w dużych tętnicach. Pol. Przegl. Chir., 1964. —
8. Phelan J.: Some mechanics of fluid flow to be considered in the construction of an artery graft anastomosis. Angiology, 9, 242, 1958. —
9. Pięta: Oboczny układ tętniczy kończyny dolnej. PWN, Poznań 1960. —
10. Schenk W., Stephens J.: Intraarterial pressure in peripheral arterial reconstructions. AMA Arch. Surg., 76, 3, 1958.
11. Starr I., Schnatel T., Maycock T.: Studies made by simulating systole at necropsy. Circulation, 8, 44, 1953. —
12. Szilagyi E.: The laws of fluid flow and arterial grafting. Surgery, 47, 1, 1960. —
13. De Takats G.: Vascular Surgery, London 1959.

Praca wpłynęła: 4. III. 63 r.

Adres autora: Warszawa, ul. Chałubińskiego 5.