

Jan Wilinski

URZĄDZENIE DO WSPOMAGANIA KRĄŻENIA

Streszczenie. W pracy omówiono cel stosowania urządzeń do wspomaganego krążenia. Dokonano przeglądu niektórych metod wspomaganego krążenia z uwzględnieniem ich zalet i wad. W dalszej części opisano zasadę działania i przeprowadzono uproszczoną analizę budowanego w IAAM urządzenia do wspomaganego krążenia.

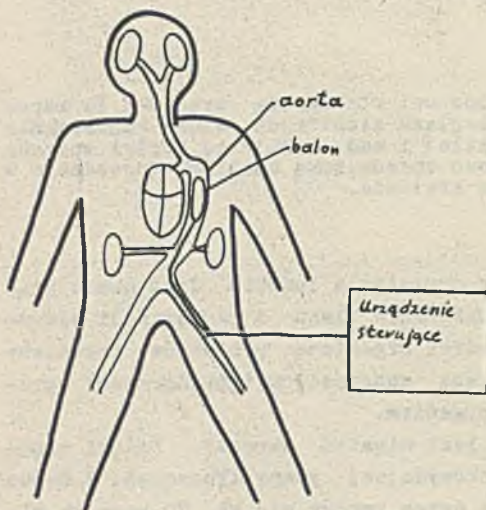
Jednym z najważniejszych układów w organizmie ludzkim jest układ krążenia. Zadaniem tego układu jest dostarczanie tlenu i substancji odżywczych oraz usuwanie z najdalszych komórek organizmu produktów przemiany materii. Dodatkowo układ krążenia dzięki substancjom typu hormonów sprawuje funkcje scalające i regulujące organizm.

Głównym elementem układu krążenia jest mięsień sercowy. Dzięki odpowiedniej budowie spełnia on rolę wysokowydajnej pompy tłoczącej. W warunkach normalnych u dorosłego człowieka serce kurczy się ok. 70 razy na minutę, przetłaczając w tym czasie ok. 5 l krwi. Ilość skurczów jak i ilość przetłaczanej krwi w ciągu minuty jest regulowana przez układ nerwowy i dostosowywana do aktualnych potrzeb organizmu. Sprawna praca układu krążenia może być zakłócona przez szereg czynników patologicznych, takich jak np. wady zastawkowe, nadciśnienie, zaburzenia hormonalne i enzymatyczne, miażdżycę, zawał. Stan taki nazywany niewydolnością krążenia może spowodować niewystarczające pokrycie zapotrzebowania na tlen przez zbyt wolno krążącą krew. Niedotlenienie najniebezpieczniejsze jest dla mózgowia i mięśnia sercowego, przy czym przyjmuje się, że zatrzymanie krążenia powoduje tzw. śmierć kliniczną. Jeżeli krążenie nie zostanie przywrócone w ciągu 4-5 min. to wskutek niedotlenienia powstają w mózgu nieodwracalne zmiany prowadzące do śmierci biologicznej. Ostra niewydolność jest najczęściej spowodowana niewydolnością mięśnia sercowego, objawiającą się zmniejszeniem rzutu minutowego (objętości krwi przetłaczanej w ciągu minuty przez serce). Stan ten jest groźny, gdyż ustrój nie posiada żadnych mechanizmów adaptacyjno-zabezpieczających, które pozwoliłyby na jednoczesne odciążenie serca i poprawę zaopatrzenia tkanek w tlen.

Czynnikiem uszkadzającym mięsień sercowy jest najczęściej miażdżycyca lub zator tętnicy wieńcowej, zaopatrującej w krew mięsień sercowy. W wyniku tego powstaje martwica ściany mięśnia sercowego zwana zawałem. Jeżeli zawał obejmuje ponad 30% masy lewej komory mamy do czynienia z tzw. wstrząsem. W USA śmiertelność ogólna w zawale wynosi ok. 15%, natomiast we wstrząsie

ok. 90%. W Polsce w 1971 r. na ogólną liczbę 280 tys. zgonów (2) 20,5 tys. tj. 7.3% stanowią zgony w wyniku niedokrwiennej choroby serca.

Wobec powyższego nasuwa się wniosek, że w wypadku wystąpienia niewydolności ostrej należy starać się przejąć sztucznie część lub całość funkcji uszkodzonego mięśnia sercowego, pozwalając mu na regenerację, a następnie umożliwić przejmowanie przez nie normalnie spełnianych funkcji.



Rys. 1

Jest to bardzo celowe ponieważ ostateczny rozmiar zaważu jest w przybliżeniu dwukrotnie mniejszy przy odciążeniu tłoczącej czynności serca co stwierdzono na zwierzętach doświadczalnych (3). Stopień wspomaganie musi być zmienny i możliwy do regulacji w zależności od podejmowania przez serce czynności tłoczenia. W chwili obecnej znanych jest kilka urządzeń służących do wspomaganie krążenia. Ogólnie można je podzielić na te, których stosowanie polega na umieszczeniu wewnątrz klatki piersiowej lub dużych naczyń krwionośnych elementu spełniającego rolę sztucznej komory oraz na te, w których ele-

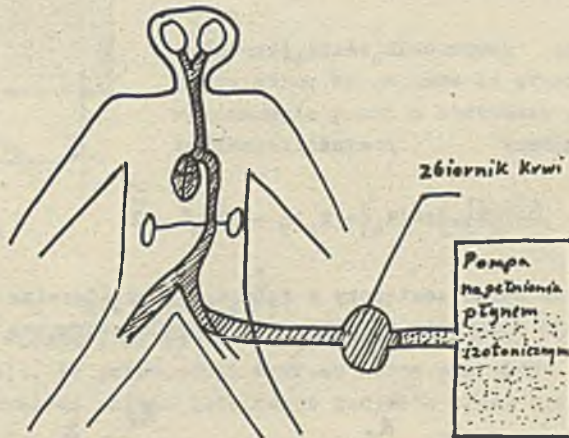
ment przetłaczający krew znajduje się na zewnątrz organizmu.

Do pierwszej grupy urządzeń zaliczyć można wszczepione do klatki piersiowej i połączone do aorty dodatkowe pompy odciążające lewą komorę. Wadą tych urządzeń jest znaczne zaleganie krwi oraz konieczność przeprowadzenia dużego zabiegu chirurgicznego. Innym sposobem tej grupy wspomaganie jest stosowanie przeszczepu naczyniowego z zastawkami (4), umieszczonego pod skórą i uciskanego z zewnątrz w momencie rozkurczu serca. Wadą tego sposobu jest trudny do przeprowadzenia zabieg, możliwość krwotoku tętniczego i kłopotliwy ucisk mechaniczny klatki piersiowej pacjenta. Do tej samej grupy urządzeń zaliczyć można rozpowszechnioną w świecie metodę wspomaganie krążenia przez wprowadzony poprzez tętnicę udową do aorty plastikowy balonik wypełniany w takt pracy serca helem (3). Metoda ta posiada szereg zalet a mianowicie jest stosunkowo prosta w stosowaniu, możliwa do natychmiastowego stosowania w chwili wystąpienia niewydolności i mało obciążająca pacjenta. Z drugiej strony do wad tej metody należy zaliczyć możliwość pęknięcia aorty, szczególnie miażdżycowo zmienionej oraz możliwość zatorów tętnicznych wywołanych oderwanymi przy ruchu balonika blaszkami miażdżycowymi.

Do drugiej grupy urządzeń zaliczyć można wspomaganie omijające lewą komorę serca, łączące przedsionek serca przez zewnętrzną pompę diastoliczną z resztą układu tętniczego. Sposób ten wymaga również wykonania rozległego zabiegu chirurgicznego, najczęściej niemożliwego do przeprowadzenia u chorych z ostrą niewydolnością krążenia. Innym sposobem jest wspomaganie przepływu krwi przez wywieranie zmiennego ciśnienia na kończyny i klatkę piersiową pacjenta. Do tego typu urządzeń należy urządzenie, w którym chory umieszczony jest w specjalnym skafandrze (1), posiadającym szereg komór gazowych o zmieniającym się stopniowo ciśnieniu. Wadą tego sposobu jest konieczność posiadania kilku typów skafandrów w zależności od wzrostu i wagi pacjenta.

Z powyższych rozważań wynika, że urządzenie wspomagające spełniać powinno kilka postulatów:

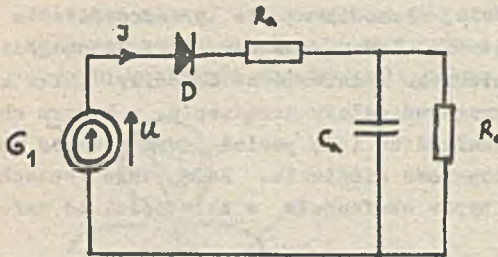
1. Powinno mało obciążać pacjenta, tzn. jego stosowanie nie powinno wiązać się z koniecznością przeprowadzenia rozległego zabiegu chirurgicznego.
2. Powinno być łatwe w stosowaniu i obsłudze oraz niezawodne przy długim stosowaniu.
3. Powinno zmniejszyć pracę wykonywaną przez serce.



Rys. 2

W Instytucie Automatyki i Aparatury Medycznej prowadzone są obecnie prace nad urządzeniem, które powinno spełniać powyższe postulaty. Urządzenie to podłączone jest do jednej lub dwóch tętnic udowych pacjenta rys. 2. W momencie skurczu serca następuje zassanie pewnej ilości krwi do zewnętrznego zbiornika, a w momencie rozkurczu serca następuje wtłoczenie pod zwiększonym ciśnieniem zassanej uprzednio porcji krwi tymi samymi tętnicami udowymi do układu tętniczego pacjenta.

Aby wstępnie ocenić przydatność tego urządzenia, zastąpiono hydrauliczny układ naczyń krwionośnych pacjenta modelem elektrycznym rys. 3. Na



Rys. 3

źródło G_1 wyrażona będzie wzorem:

$$L = I \int_0^t u \, dt \quad (1)$$

ponieważ

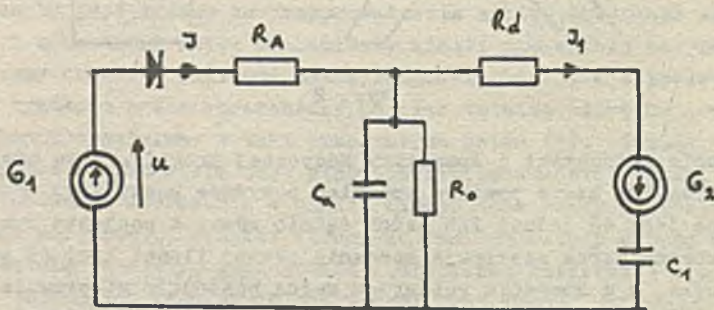
$$u = IR_0 + IR_0(1 - e^{-t/T}) \quad (2)$$

gdzie $T = R_0 C_a$.

Z (2) i (1) otrzymamy

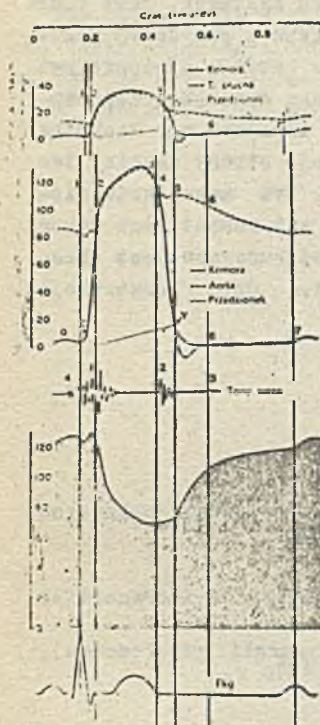
$$L = I^2(R_a + R_0)t + I^2 R_0 T e^{-t/T} \quad (3)$$

Na rys. 4 pokazano układ zastępczy z dołączonym urządzeniem wspomagającym. Występująca na tym schemacie dodatkowa siła prądomotoryczna G_2 odpowiada



Rys. 4

pompie urządzenia wspomagającego, kondensator C_1 odpowiada zbiornikowi, do którego zasysana jest krew, opór R_d odpowiada oporom przepływu w drążkach urządzenia wspomagającego. W układzie tym napięcie na C_1 równe jest:



Rys. 5

$$u = IR_a + (I - I_1)R_0(1 - e^{-\frac{t}{T}}) \quad (4)$$

oznaczając stosunek przepływu generowanego przez urządzenie wspomagające do przepływu generowanego przez serce przez k czyli

$$\frac{I_1}{I} = k \quad (5)$$

z (4), (5), (1) otrzymamy

$$L' = I^2 [R_a + (1-k)R_0] t + I^2 (1-k)R_0 e^{-\frac{t}{T}} \quad (6)$$

oznaczając dalej stosunek pracy wykonanej przez serce wspomagane do pracy wykonanej bez wspomaganie przez m otrzymamy po prostych przekształceniach

$$\frac{L'}{L} = \frac{A + (1-k)B}{A + B}, \quad (7)$$

gdzie $A = R_a t$ i $B = R_0(t + e^{-\frac{t}{T}})$.

Rozważając (7) widzimy, że ze wzrostem wartości k praca wykonana przez serce (G_1) maleje. Po zakończeniu skurczu serca następuje wtłoczenie pobranej porcji krwi do układu tętniczego pacjenta przez urządzenie wspomagające.

Powyższe rozważania mają jedynie charakter przybliżony ponieważ w rzeczywistości opory naczyniowe mają charakter nieliniowy oporowo-pojemnościowo-indukcyjny, przy czym stopień nieliniowości zależy od szeregu czynników natury morfologicznej takich jak np. zmiany sklerotyczne i jest różny u różnych osobników.

Proponowane urządzenie wspomagające spełniać będzie swoją funkcję pod warunkiem, że jego praca odbywać się będzie synfazowo z pracą serca. W tym celu należy z organizmu chorego odebrać sygnały synchronizujące. Na rys. 5 przedstawiono występujące w organizmie sygnały biologiczne związane z czynnością serca. Stosunkowo prosty w odbiorze jest sygnał elektrokardiograficzny (EKG). Jednakże w stanach patologicznych wymagających wspomaga-

nia występują tzw. pobudzenia nieskuteczne, tj. takie, po których nie występuje skurcz komory. Sygnałem, na podstawie którego można określić początek oraz zakończenie skurczu jest sygnał fonokardiograficzny (FKG). Sygnał ten nie nadaje się do synchronizacji przy wadaach zastawek, jest trudny w odbiorze i bardzo podatny na zakłócenia. W związku z powyższym pozostaje jeszcze przebieg ciśnienia w sercu. Stosunkowo łatwy w odbiorze jest przebieg ciśnienia w prawej komorze serca. Odbiór tego sygnału przeprowadza się za pomocą cienkiego cewnika wprowadzonego standardową techniką przez żyłę łokciową do prawej komory serca. Z drugiej strony cewnik ten dołączony jest do przetwornika ciśnienia. W układzie tym narastanie ciśnienia określa moment rozpoczęcia skurczu, opadanie zaś moment jego zakończenia. W Instytucie Automatyki i Aparatury Medycznej budowane jest obecnie urządzenie działające według podanej wyżej zasady. Opis konstrukcji jak i wyniki prób będą przedmiotem osobnej pracy.

LITERATURA

- [1] Cohen L., Porterfield D., Mitchell J.: Sequenced external pulsation in the therapy of cardiogenic shock. Boston 1969.
- [2] Rocznik statystyczny 1972 PWE Warszawa 1973.
- [3] Shapirro A., Jaffrin M., Clarcok C.: Fluid mechanics of intraaortic ballon counter pulsation. Boston 1969.
- [4] Ozacki J., Rudkowski W.: Naukowe podstawy chirurgii współczesnej, rozdz. 22 Krążenie pozaustrojowe. PZWL Warszawa 1970 r.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ

Резюме

В работе рассматривается цель применения оборудования для вспомогательного кровообращения.

Дается обзор некоторых методов вспомогательного кровообращения с учетом их достоинств и недостатков. В дальнейшем описывается принцип действия и проведено упрощенный анализ строения в ИААМ устройства для вспомогательного кровообращения.

DEVICES FOR SUCCOURING CIRCULATION

S u m m a r y

The paper deals with the application of succour-circulation devices and their advantages and disadvantages. It also discusses the principles of how the device works and describes a simplified analysis of the devices constructed by IAAM.