

Agnieszka GŁOWACKA, Studenckie Koło Biomechaniki przy Katedrze Mechaniki Stosowanej, Politechnika Śląska, Gliwice

UKŁADY ZASTAWKOWE W LECZENIU WODOGŁOWIA U DZIECI

Streszczenie. W niniejszym artykule przedstawiono metodykę leczenia wodogłowie przy użyciu układów zastawkowych płynu mózgowo rdzeniowego. Zawarto podział zastawek ze względu na charakterystykę hydrodynamiczną, budowę i zasadę działania układów zastawkowych oraz zwrócono szczególną uwagę na podstawy fizyczne krążenia płynu mózgowo rdzeniowego.

1. WSTĘP

Wodogłowie jako choroba znane już było w starożytności. Jak donoszą ówcześni kronikarze, pierwszym który próbował walczyć z tym schorzeniem był „ojciec współczesnej medycyny” sam Hipokrates.

Pierwszym, który zbudował układ zastawkowy regulujący przepływ płynu mózgowo – rdzeniowego (PMR) był John Holter, po tym jak jego syn urodził się z rozszczepieniem kręgosłupa i wodogłowie.

Niestety obecnie znana technologia budowy zastawek płynu mózgowo rdzeniowego nie zapewnia odpowiednich parametrów krążenia owego płynu (zbliżonych naturalnym parametrom fizjologicznym). Wiele światowych firm próbuje stworzyć „idealną zastawkę”, która miałaby być odporna na: zmianę pozycji chorego, wysokie stężenie białka płynu mózgowo rdzeniowego czy zmiany ciśnienia wewnątrzczaszkowego.

Medycyna w połączeniu z najnowocześniejszą techniką ma na tym polu wiele do zrobienia. „Idealna zastawka wciąż czeka na swojego konstruktora”.

2. PRZYCZYNY POWSTAWANIA WODOGŁOWIA

Wodogłowie nazywamy każde zaburzenie hydrodynamiki krążenia płynu mózgowo-rdzeniowego (PMR). Zaburzenie to prowadzi do zakłócenia istniejącej równowagi pomiędzy wytwarzaniem, przepływem i absorpcją PMR, co w konsekwencji powoduje poszerzenie wewnątrzczaszkowych przestrzeni płynowych, przede wszystkim układu komorowego mózgu oraz dochodzi do podwyższenia ciśnienia wewnątrzczaszkowego [1,2].

Wodogłowie może występować jako izolowana patologia mózgu albo jako jeden z objawów w różnych chorobach ośrodkowego układu nerwowego.

Wśród hipotetycznych mechanizmów powstawania wodogłowie można wyróżnić niedrożność (obturacyjną) dróg płynowych, nadprodukcję PMR i upośledzenie odpływu krwi żyłnej z jamy czaszki [2].

3. FIZYCZNE PODSTAWY KRAŻENIA PŁYNU MÓZGOWO – RDZENIOWEGO

Reguła Monro-Kelliego opisana jest przy pomocy następującej zależności:

$$\Omega_M + \Omega_K + \Omega_{PMR} = const \quad (1)$$

Reguła ta przedstawia taką zależność, że suma objętości mózgu Ω_M , krwi mózgowej Ω_K oraz płynu mózgowo rdzeniowego Ω_{PMR} pozostaje stała, na skutek stałej objętości czaszki oraz kanału rdzenia kręgowego.

„Chwilowa lub trwała zmiana objętości jednego z wymienionych składników musi w rezultacie prowadzić do zmiany objętości pozostałych na skutek ściśnięcia, przemieszczenia lub reabsorpcji, co możemy zapisać w formie” [3]:

$$\Delta\Omega_M + \Delta\Omega_K + \Delta\Omega_{PMR} = 0 \quad (2)$$

Powyższe zależności (1) i (2) wyrażają statyczną równowagę pomiędzy objętością tkanki mózgowej, krwi i PMR w przestrzeni wewnątrzczaszkowej, natomiast zmiany tych wielkości w czasie można otrzymać różniczkując zależność (1) względem czasu:

$$Q_M + Q_K + Q_{PMR} = 0 \quad (3)$$

Q_M – wyraża szybkość zmiany objętości tkanki mózgowej; Q_K – wyraża szybkość zmiany objętości krwi zawartej w części żyłnej i tętnicznej mózgowego układu naczyniowego; Q_{PMR} – wyraża szybkość zmiany objętości PMR.

Stała czasowa zmiany objętości tkanki mózgowej jest dużo większa niż stała czasowa zmiany objętości PMR. Dlatego też w warunkach fizjologicznych, w krótkim odstępie czasowym (rzędu minut, godzin), pierwszy ze składników zależności (3) może zostać pominięty (uwzględniamy go jedynie w warunkach patologicznych) [3].

Objętość PMR nie zmienia się w czasie, ponieważ natężenie wytwarzania Q_P tego płynu jest bilansowane przez jego reabsorpcję Q_R , zgodnie z poniższą zależnością:

$$Q_{PMR} = Q_P - Q_R = 0 \quad (4)$$

Szybkość reabsorpcji PMR możemy przedstawić w następujący sposób:

$$Q_R = \frac{p - p_{ZS}}{R_{PMR}} \quad (5)$$

p – ciśnienie PMR znajdującego się w komorach; p_{ZS} – ciśnienie w zatoce strzałkowej górnej; R_{PMR} – rezystancja reabsorpcji [mmHg/ml/min].

W stanach stacjonarnych wartość średnia ciśnienia jest jednoznacznie określona przez prawo Davsona [3]:

$$p_B = p_{ZS} + R_{PMR} Q_P \quad (6)$$

Normalne oraz patologiczne wartości współczynników, które występują w dynamicznym modelu krążenia płynu mózgowo rdzeniowego, przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Normalne i patologiczne wartości współczynników, występujących w dynamicznym modelu krążenia PMR (w nawiasach statyczne wartości parametrów zależności (6)) [3]

PARAMETR	WARTOŚĆ NORMALNA	WARTOŚCI PATOLOGICZNE
p ciśnienie wewnątrzczaszkowe [mmHg]	0-15 (10.4)	>15 – umiarkowane nadciśnienie >25 – poważne nadciśnienie <0 – przedrenowanie podciśnieniowe
R_{PMR} opór reabsorpcji [mmHg/ml/min]	6-11 (8.0)	>13 – wodogłowie >18 – u ludzi z wodogłowiem w starszym wieku
p_{zs} ciśnienie w zatoce strzałkowej górnej [mmHg]	2-5 (7.5)	>10 – zakrzepica zatoki lub wodogłowie z łagodnym nadciśnieniem śródczaszkowym
Q_P natężenie wytwarzania PMR [ml/min]	0.3-0.4 (0.4)	–

Najczęstszą przyczyną patologicznych zmian w krążeniu PMR są zaburzenia reabsorpcji płynu lub niedrożność dróg jego przepływu w przestrzeni wewnątrzczaszkowej. Takie zaburzenia powodują ustalenie się po pewnym czasie nowego poziomu ciśnienia wewnątrzczaszkowego, co w konsekwencji prowadzi do zmian objętości PMR. Zmiany te należy uwzględnić w równaniu bilansu natężeń przepływu płynu (4), uzupełniając to równanie o dodatkowy składnik Q_A opisującym szybkość jego gromadzenia:

$$Q_{PMR} = Q_P - Q_R - Q_A = 0 \quad (7)$$

Natężenie gromadzenia PMR można opisać przy pomocy następującego równania:

$$Q_A = C(p) \frac{dp}{dt}, \quad (8)$$

$C(p)$ [ml/mmHg] – podatność wewnątrzczaszkowa,

$$C(p) = \frac{1}{E(p - p_0)} \quad \text{dla } p > p_z > p_0 \quad \text{lub} \quad C(p) = \frac{1}{E(p_z - p_0)} = C_0 = const \quad \text{dla } p \leq p_z$$

p_z – w niektórych pracach ciśnienie to jest interpretowane jako ciśnienie optymalne [6,7], p_0 – ciśnienie odniesienia ($p_0 \neq 0$), E – elastyczność wewnątrzczaszkowa [ml^{-1}].

Wstawiając zależności (5) i (8) do równania (7) otrzymamy zależność opisującą dynamikę zmian ciśnienia PMR:

$$\begin{cases} \frac{1}{E(p - p_0)} \frac{dp}{dt} + \frac{p - p_{zs}}{R_{PMR}} = Q_P & \text{dla } p > p_z > p_0 \\ C_0 \frac{dp}{dt} + \frac{p - p_{zs}}{R_{PMR}} = Q_P & \text{dla } p \leq p_z \end{cases} \quad (9)$$

4. METODY LECZENIA WODOGŁOWIA

Wodogłowie możemy kontrolować poprzez usunięcie przyczyny (guz mózgu, torbiel itp.), implantację zastawki lub przez wykonanie zabiegu endoskopowego. Wśród metod leczenia wodogłowia możemy wyróżnić [1]:

Leczenie farmakologiczne – stosowane środki chwilowo zmniejszają produkcję PMR lub zmniejszają objętość mózgowia, natomiast nie ma dotychczas środków zwiększających wchłanianie PMR [1].

Udrożnienie anatomicznych dróg płynowych – jest leczeniem przyczynowym polegającym na usunięciu przeszkód w drogach płynowych [1].

Neuroendoskopia – jest wewnątrzczaszkowym odprowadzeniem omijającym przeszkodę w drogach płynowych. Najczęściej stosowanym zabiegiem endoskopowym jest wentrikulostomia komory III wykonywana przy pomocy neuroendoskopów. Metodę tę stosuje się przede wszystkim w wodogłowie niekomunikującym wówczas, gdy leczenie przyczynowe nie jest możliwe lub musi być odroczone. Zabieg ten polega na wytworzeniu połączenia pomiędzy komorą III a zbiornikiem przedmostowym [1,2].

Układy zastawkowe – jest to najczęściej stosowana metoda leczenia wodogłowa, polegająca na odprowadzeniu nadmiaru PMR poza jamę czaszki (najczęściej do jamy otrzewnej lub do prawego przedsionka serca), przy pomocy różnego rodzaju zastawkowych drenaży. Metoda ta jest stosowana u chorych z wodogłowiem, u których nie można usunąć przyczyny wodogłowa i nie można wykonać zabiegu endoskopowego.

5. BUDOWA I ZASADA DZIAŁANIA UKŁADÓW ZASTAWKOWYCH

Układy zastawkowe PMR zawierają takie elementy, jak: jednokierunkową (bezwrotną) zastawkę, tzw. mechanizm zastawkowy, dren komorowy, łączący mechanizm zastawkowy z komorą boczną mózgowia, oraz dren obwodowy, który może zostać umieszczony w różnych jamach ciała: w jamie otrzewnej (zastawka komorowo-otrzewnowa), w prawym przedsionku serca (zastawka komorowo-predsionkowa), w kanale kręgowym i stąd płyn odprowadzany jest do jamy otrzewnej (zastawka lędźwiowo-otrzewnowa), w jamie opłucnej (zastawka komorowo-opłucnowa) oraz w rzadkich przypadkach w pęcherzyku żółciowym (zastawka komorowo – pęcherzykowa) i jako drenaż komorowo – lędźwiowy [1,2].

Mechanizmy zastawkowe można podzielić ze względu na charakterystykę hydrodynamiczną na:

- Zastawki o względnie stałym ciśnieniu otwarcia (różnicowo – ciśnieniowe)

Działanie tej zastawki opiera się na tym, że gdy różnica ciśnień pomiędzy wlotem a wylotem zastawki przekroczy próg ciśnienia jej otwarcia, wówczas zastawka otwiera się. W pozycji pionowej ww. różnica ciśnień znacznie się zwiększa, gdyż długi słup płynu w drenie obwodowym wywiera duże, ujemne ciśnienie hydrostatyczne (zastawka pozostaje otwarta do czasu, gdy ciśnienie w komorach osiągnie wartości wysoce ujemne). Jest to tzw. efekt syfonowy, powodujący przedrenowanie) [1].

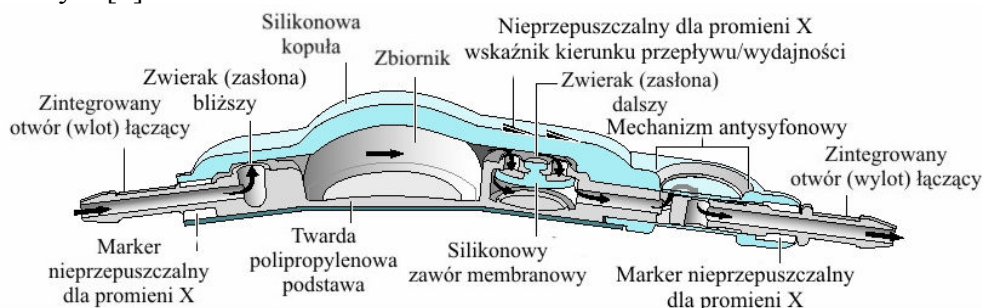


Rys. 1. Zastawka stałociśnieniowa (Medtronic PS Medical) [4]

- Zastawki zaopatrzone w urządzenia antysyfonowe

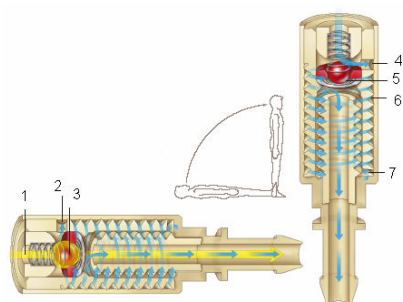
Dzięki zastawkom zaopatrzonym w urządzenia antysyfonowe zwiększa się opór przepływu płynu, gdy chory znajduje się w pozycji pionowej, ograniczając przy tym efekt syfonowy [1].

Zastawka Delta – Medtronic PS Medical kontroluje przepływ PMR dzięki szeregowemu połączeniu zastawki membranowej z zamkniętym w warunkach spoczynkowych urządzeniem antysyfonowym [1].



Rys. 2. Zastawka z mechanizmem antysyfonowym (Delta – Medtronic PS Medical) [5]

Zastawka CODMAN SIPHONGUARD jest urządzeniem, które w swej budowie posiada mechanizm antysyfonowy z podwójną drogą przepływu PMR [6].



1-przepływ normalny przez pierwszą otwartą drogę (żółty), 2-druga droga (niebieski) jest zawsze otwarta, 3-podczas normalnego przepływu kulka balansuje, w pewnej odległości, pomiędzy dwoma umieszczonymi naprzeciwko sprężynami, 4-otwór, dla przepływającego drugą drogą PMR, jest zawsze otwarty, 5-podczas nadmiernego przepływu PMR kulka osiada i zamyka pierwszą drogę przepływu, 6-druga droga kieruje PMR w dół zewnętrzną sprężyną, a następnie w górę wzdłuż wewnętrznej sprężyny do wyjścia, nieco poniżej osadzonej kulki, 7 – otwór dla przepływającego wewnętrzną sprężyną PMR [6].

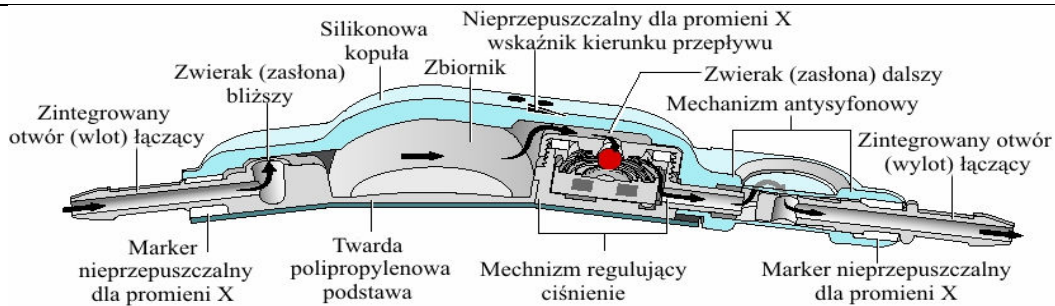
Rys. 3. Zastawka CODMAN SIPHONGUARD

- Zastawki o stałym, niezależnym od pozycji ciała przepływie PMR

Zastawki te wyposażone są w giętą przepone, która porusza się wzdłuż tłoka o różnym przekroju. Dzięki takiej budowie uzyskano odmienną charakterystykę hydrodynamiczną zastawki, która cechuje się trzema stadiami funkcjonowania. W I stadium zastawka funkcjonuje jak zastawka o stałym ciśnieniu otwarcia przy bardzo małych ciśnieniach płynu. Skuteczne działanie zastawki przy niskim ciśnieniu minimalizuje przedrenowanie. W II stadium zastawka działa jak regulator przepływu o zmiennym oporze. Opór przepływu w tym stadium zmienia się stopniowo, a przepływ PMR przez zastawkę jest stały. W III stadium zastawka działa jak zawór bezpieczeństwa. Dalszy wzrost ciśnienia, znacznie powyżej wartości fizjologicznych, powoduje, że opór zastawki drastycznie spada, umożliwiając przepływ większych objętości płynu [1].

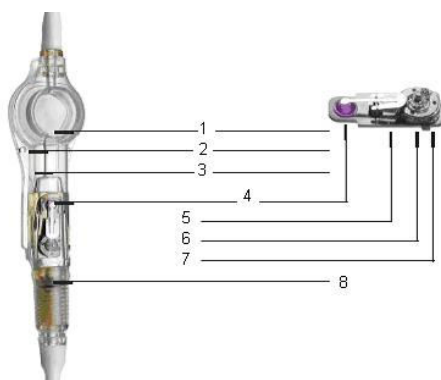
- Zastawki regulowane z zewnątrz

Zastawki regulowane z zewnątrz działają jak zastawki o zmiennym ciśnieniu otwarcia. W swej budowie posiadają mechanizm magnetyczny umożliwiający przed- i pooperacyjne nieinwazyjne dostosowanie poziomu ciśnienia w ciągu leczenia [1,5].



Rys. 4. Zastawka regulowana z zewnątrz (Strata – Medtronic PS Medical) [5]

Zastawki CODMAN HAKIM Programmable Valve System pozwala na zmianę ciśnienia otwarcia w zakresie 30 – 200 mmH₂O (18 ustawień) [7].



1-pompowanie zbiornika pozwala na sprawdzenie drożności i dostępu do otworu, 2-otwory na szwy dla zabezpieczenia zastawki w okostnej czaszki, 3-zamknięcie zapewniające pompowanie w odpowiednim kierunku, 4-syntetyczna rubinowa kulka obraca się swobodnie, aby złagodzić przepływ PMR przez zastawkę, 5-specjalnie zaprojektowana nieodkształcalna nierdzewna stalowa sprężyna zapewnia stabilność i powtarzalność wybranego ciśnienia, 6-bezprzewodowy magnetyczny serwośilnik obraca spiralną schodkową krzywkę poprzez zakodowany sygnał magnetyczny, 7-krzywka, 8-mechanizm antysyfonowy [8].

Rys.5. Zastawka CODMAN HAKIM Programmable Valve System (Inline with SIPHONGUARD)

LITERATURA

- [1] Roszkowski M. „Wodogłowie wieku rozwojowego”, Wydawnictwo „EMU”, Warszawa 2000.
- [2] Zakrzewski K. „Nowotwory mózgu wieku dziecięcego”, Lublin: Czelej 2004.
- [3] Cieśliski K. „Hydrodynamiczne uwarunkowania krążenia mózgowego”, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2001.
- [4] www.medtronic.com/neurosurgery/downloads/hydro_booklet.pdf
- [5] www.medtronic.com/neurosurgery/images/valves/14119.pdf
- [6] www.codman.com/PDFs/SiphonGuard.pdf
- [7] www.codman.com/PDFs/Prog_ProcedureGuide.pdf
- [8] www.codman.com/PDFs/Valve-programmable.pdf

HYDROCEPHALUS SHUNTS SYSTEM FOR CHILDREN

Abstract. The paper presents the cerebrospinal fluid shunt systems, used for healing hydrocephalus. The classification of shunts, regarding dynamic characteristics, structure and operating principle is shown. Special attention is paid to the physical basis of cerebrospinal fluid circulation.