

Miroslaw WERSZKO\*, Radosław WERSZKO\*

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

## Wrocławskie czujniki ciśnienia wewnątrzczaszkowego

### Streszczenie

Przedstawiono budowę i działanie trzech odmian pneumatycznego czujnika ciśnienia wewnątrzczaszkowego, opracowanego w Politechnice Wrocławskiej. Konstrukcja czujników oparta jest na miniaturowym wzmacniaczu typu dysza-przysłona, objętym ujemnym sprzężeniem zwrotnym. Pneumatyczny sygnał tych czujników jest przetwarzany na sygnał elektryczny i przekazywany do aparatury monitorującej.

Czujniki pomyślnie przeszły badania kliniczne na pacjentach w Klinice Neurochirurgii Akademii Medycznej we Wrocławiu i są obecnie produkowane w niewielkich seriach.

### Abstract

Design and principle of operation of the three types of the intracranial pressure sensors, developed in the Wrocław University of Technology, are described. The design of these sensors are based on the miniature pneumatic nozzle-flapper amplifier with negative feedback. Pneumatic output signal of the sensors is converted to electrical one and directed to monitoring device.

The sensors have successfully passed the clinical testing on patients in Wrocław Medical Academy and have been manufactured in a small quantities.

### Wstęp

Jednym z ważniejszych parametrów, określanych w czasie leczenia schorzeń mózgu, jest ciśnienie wewnątrzczaszkowe, czyli parcie zawartości czaszki (mózgowia) na jej ściany. Zbyt wysokie ciśnienie wewnątrzczaszkowe (powyżej 3 kPa), pojawiające się przy takich schorzeniach jak wodogłowie, urazy, krwiaki i guzy mózgu, powoduje zaciskanie naczyń krwionośnych i może doprowadzić do zgonu. Z tego też względu, pomiar ciśnienia wewnątrzczaszkowego jest niezmiernie ważny zarówno przy diagnozowaniu, jak i w trakcie operowania lub leczenia pacjentów z chorobami mózgu.

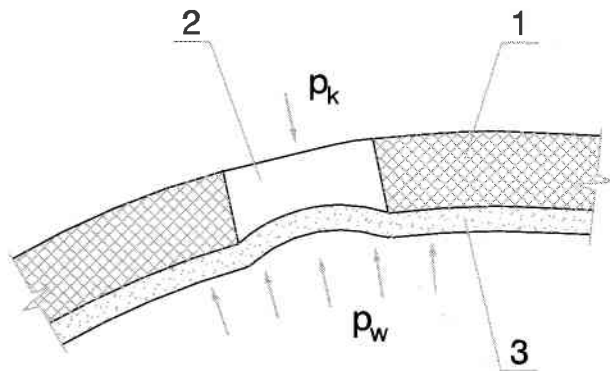
Bezpośrednia metoda pomiaru ciśnienia wewnątrzczaszkowego polega na pomiarze ciśnienia płynu mózgowo-rdzeniowego w komorach mózgowych lub przestrzeni podpajęczynkowej mózgu. Metoda ta wymaga wykonania w czaszce otworu trepanacyjnego, a następnie przebicia opony twardej i ewentualnie mózgowia, w celu wprowadzenia do jednej z wyżej wymienionych przestrzeni specjalnej sondy pomiarowej lub cewnika. Jest to metoda niebezpieczna, gdyż przebicie opony twardej grozi infekcją oraz naruszeniem mózgowia.

Bardziej bezpieczną metodą pomiaru ciśnienia wewnątrzczaszkowego jest metoda nadoponowa, która nie wymaga przebijania opony twardej, a jedynie wykonania otworu trepanacyjnego. Do otworu tego wprowadza się czujnik, którym mierzy się ciśnienie panujące bezpośrednio pod oponą twardą. Czujnikami do tego typu pomiarów były najczęściej czujniki piezorezystancyjne. Zalety tych czujników to wysoka czułość i bardzo dobre właściwości dynamiczne. Natomiast wadami są: duża wrażli-

wość na wpływy temperaturowe, pełzanie zera, kłopotliwa sterylizacja oraz wysoka cena.

Mając na uwadze słabe strony oraz niedostępną w kraju technologię wykonania piezorezystancyjnych czujników ciśnienia wewnątrzczaszkowego, w Instytucie Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów Politechniki Wrocławskiej opracowano koncepcję czujnika pneumatycznego, którego prototyp powstał przy czynnym współudziale pracowników Kliniki Neurochirurgii Akademii Medycznej i Zakładów Techniki Medycznej Służby Zdrowia we Wrocławiu.

Pomiar ciśnienia wewnątrzczaszkowego za pomocą czujników pneumatycznych opiera się na zasadzie kompensacji ciśnień, która głosi, że jeżeli na obie strony płaskiej membrany działa to samo ciśnienie, to pozostaje ona w swym neutralnym (nieodkształconym) położeniu [1]. Zasadę tę zilustrowano na rysunku 1, na którym jest pokazany fragment czaszki 1 z otworem trepanacyjnym 2 i wybruszoną pod wpływem ciśnienia wewnątrzczaszkowego  $p_w$  oponą twardą 3. Jeśli doprowadzilibyśmy do otworu trepanacyjnego sprężone powietrze o takim ciśnieniu  $p_k$ , które „zlikwidowałoby” wybruszenie opony twardej, sprowadzając ją do stanu pierwotnego, to wartość tego ciśnienia  $p_k$  byłaby równa wartości ciśnienia wewnątrzczaszkowego  $p_w$ . A zatem, mierząc wartość ciśnienia powietrza kompensującego  $p_k$  poznalibyśmy wartość ciśnienia wewnątrzczaszkowego  $p_w$ .



Rys. 1. Ilustracja zasady kompensacji ciśnień

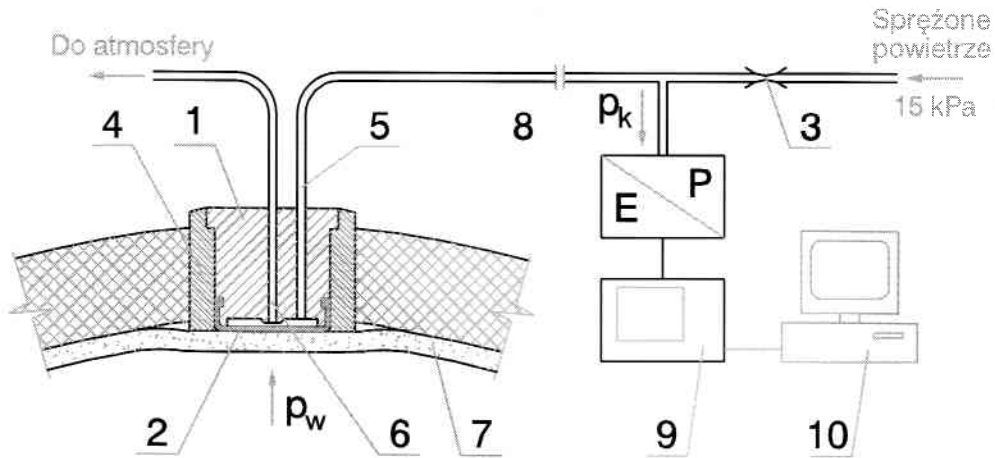
W rzeczywistości powietrze kompensujące nie oddziałuje bezpośrednio na oponę twardą, lecz dzieje się to za pośrednictwem wiotkiej membrany czujnika, która ponadto utrzymuje oponę twardą w swym neutralnym położeniu. Dotychczas opracowano trzy odmiany takiego czujnika: wielokrotnego użytku, jednorazowego użytku i ciemiączkowej.

\* Prof. dr hab. inż. Miroslaw WERSZKO

jest kierownikiem Zakładu Automatyki Procesów Termoeenergetycznych w Instytucie Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów Politechniki Wrocławskiej.

\* Dr inż. Radosław WERSZKO

jest adiunktem w Zakładzie Podstaw Konstrukcji Maszyn i Tribologii Instytutu Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej.



Rys. 2. Pneumatyczny czujnik ciśnienia wewnątrzczaszkowego wielokrotnego użytku

### Czujnik wielokrotnego użytku

Pierwszym z opracowanych czujników pneumatycznych był czujnik metalowy, wkręcany w otwór trepanacyjny [2]. Budowę tego czujnika przedstawiono na rysunku 2. Składa się on z metalowego korpusu 1, wymiennej gumowej membrany 2 i dławika pneumatycznego 3. W korpusie 1, osadzonym we wkręconej w czaszkę tulei 4, występuje otwór zasilający 5 oraz dysza wypływowa 6.

Sprężone powietrze o stałym ciśnieniu  $p = 15 \text{ kPa}$  przepływa przez dławik 3, a następnie przez otwór 5 trafia do przestrzeni nad membraną 2, skąd odpływa do otoczenia poprzez dyszę 6. Gdy ciśnienie wewnątrzczaszkowe  $p_w$  jest większe od ciśnienia kompensującego  $p_k$ , wówczas opona twarda 7, łącznie z przylegającą do niej membraną 2, ugina się w kierunku dyszy 6 i przymyka ją, co prowadzi do wzrostu ciśnienia kompensującego  $p_k$ , przy czym ten wzrost trwa aż do momentu zrównania się z ciśnieniem  $p_w$ .

Ciśnienie wyjściowe czujnika  $p_k$  jest zwykle przetwarzane na sygnał elektryczny w przetworniku 8. Sygnał ten trafia następnie do monitora przyłóżkowego 9, na którym można obserwować przebieg mierzonego ciśnienia, oraz do centralnego komputera 10, gdzie następuje analiza i archiwizacja ciśnienia wewnątrzczaszkowego.

Opisany czujnik jest w istocie pneumatycznym wzmacniaczem typu dysza-przysłona z ujemnym sprzężeniem zwrotnym. Dzięki samoczynnemu przymykaniu i otwieraniu dyszy 6 opona twarda 7 jest utrzymywana w swym neutralnym położeniu, a ciśnienie kompensujące  $p_k$  równa się ciśnieniu wewnątrzczaszkowemu  $p_w$ .

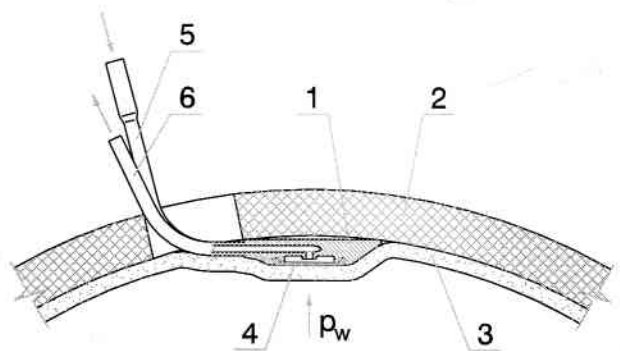
### Czujnik jednorazowego użytku

Na rysunku 3 pokazano drugą odmianę pneumatycznego czujnika ciśnienia wewnątrzczaszkowego - tzw. czujnik kapsułkowy [3]. Jego korpus 1, wykonany z tworzywa sztucznego, jest wsuwany pomiędzy czaszkę 2 i oponę twardą 3 w taki sposób, aby membrana czujnika 4 przylegała do opony 3. Zasada działania tego czujnika jest taka sama jak czujnika wielokrotnego

użytku. Sprężone powietrze, po przejściu przez nie pokazany na rysunku dławik, przewodem 5 dopływa do przestrzeni podmembranowej czujnika i „kompensuje” ciśnienie wewnątrzczaszkowe  $p_w$ , działające na oponę twardą 3, a następnie uchodzi do atmosfery przewodem 6.

Ciśnienie kompensujące, przetwarzane w nie pokazanym na rysunku przetworniku pneumo-elektrycznym, jest miarą ciśnienia wewnątrzczaszkowego.

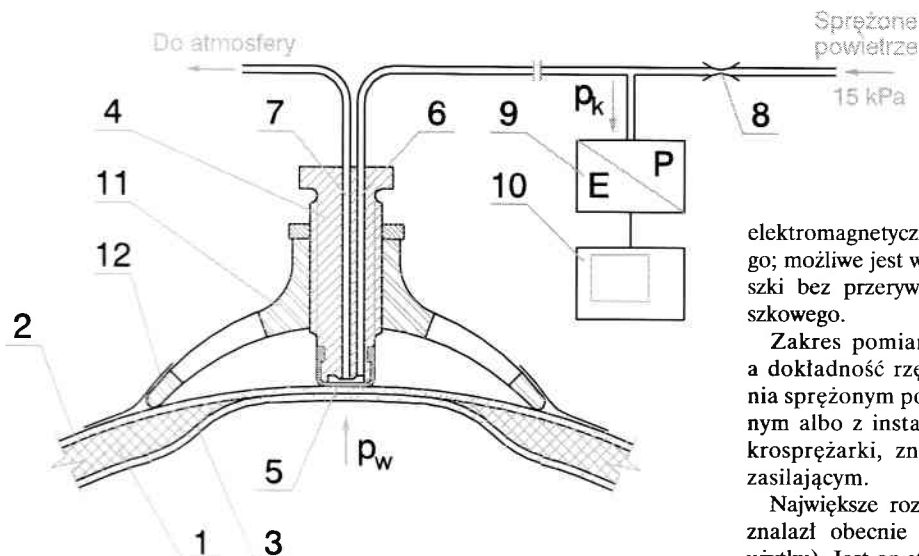
Czujnik dostarczany jest do szpitali w postaci sterylnej i jest jednorazowego użytku.



Rys. 3. Pneumatyczny czujnik ciśnienia wewnątrzczaszkowego typu kapsułkowego

### Czujnik ciemiączkowy

Czujnik ciemiączkowy służy do bezinwazyjnego pomiaru ciśnienia wewnątrzczaszkowego u niemowląt, przy czym miejscem pomiaru jest ciemiączko przednie. Jak wiadomo, ciemiączko jest luką pomiędzy kośćmi czaszki 1 (rys. 4) niemowlęcia pokrytą z zewnątrz czepcem i skórą 2, a od wewnątrz oponą



- brak konieczności zerowania oraz wzorcowania, nawet podczas wielodniowego monitorowania,
- niewrażliwość na zmiany ciśnienia i temperatury otoczenia oraz temperatury ciała pacjenta,
- odporność na działanie pól

elektromagnetycznych i promieniowania radioaktywnego; możliwe jest wykonywanie zdjęć rentgenowskich czaszki bez przerywania pomiaru ciśnienia wewnątrzczaszkowego.

Zakres pomiarowy czujników wynosi  $0,4 \div 12$  kPa, a dokładność rzędu 1,5%. Czujniki wymagają zasilania sprężonym powietrzem o ciśnieniu 15 kPa, czepnym albo z instalacji powietrznej szpitala albo z mikrosprężarki, znajdującej się w specjalnym module zasilającym.

Największe rozpowszechnienie w praktyce klinicznej znalazł obecnie czujnik kapsułkowy (jednorazowego użytku). Jest on stosowany do wyznaczania ciśnienia wewnątrzczaszkowego, jak również ciśnienia perfuzyjnego w komputerowym systemie monitorowania [4].

Rys. 4. Pneumatyczny czujnik ciśnieniowy

twardą 3. Ciśnienie wewnątrzczaszkowe  $p_w$ , działające na tę powłokę, wypukła i napina je. Istnieje zatem również i w tej sytuacji możliwość pomiaru ciśnienia wewnątrzczaszkowego metodą kompensacji ciśnień.

Czujnik ciśnieniowy zbudowany jest podobnie jak czujnik wielokrotnego użytku, opisany w rozdziale 2. Stanowi go korpus (rys. 4) z wymienną gumową membraną 5 oraz kanałem zasilającym 6 i odpowietrzającym 7. Czujnik zasilany jest sprężonym powietrzem o ciśnieniu  $p = 15$  kPa poprzez dławik 8, a jego ciśnienie wyjściowe  $p_k$  jest przetwarzane w przetworniku 9 na sygnał elektryczny przekazywany do monitora przyłóżkowego 10.

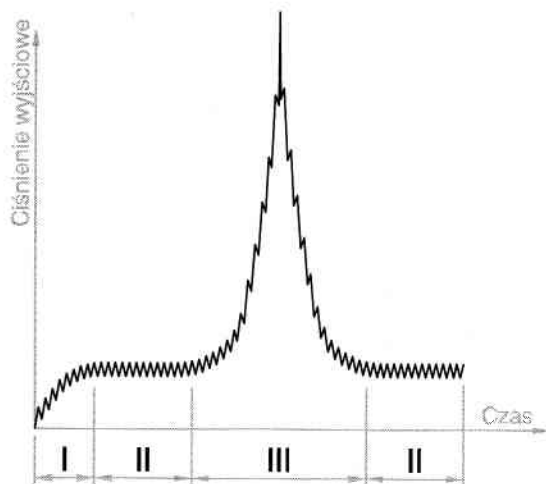
W czasie pomiaru czujnik jest wkręcony w plastikowy „talerzyk” 11 przymocowany do głowy niemowlęcia za pomocą przylepca 12.

Warunkiem dokładnego pomiaru jest wkręcenie czujnika na właściwą głębokość. Wkręcanie odbywa się przy równoczesnej obserwacji ekranu monitora, na którym wyświetlany jest przebieg w czasie ciśnienia wyjściowego czujnika. Na rys. 5 pokazano taki przebieg ciśnienia podczas jednorazowego wkręcania czujnika w kierunku ciemiączka. Zaznaczone są tam trzy przedziały głębokości: przedział I zaczyna się w momencie zetknięcia membrany czujnika z ciemiączkiem, przedział II zaczyna się w momencie spłaszczenia (zlikwidowania wybrzuszenia) ciemiączka, a przedział III zaczyna się w momencie zetknięcia się opony twardej z mózgowiem. Właściwe wskazanie mierzonego ciśnienia uzyskuje się jedynie w przedziale II. W przedziale I wskazania są zaniżone, a w przedziale III - zawyżone.

## Podsumowanie

Wszystkie opisane wyżej czujniki pomyślnie przeszły próby kliniczne na pacjentach i są od lat stosowane w kraju. Ich głównymi zaletami są:

- bardzo prosta konstrukcja i łatwa technologia wytwarzania oraz niska cena, zwłaszcza w porównaniu z czujnikami piezorezystancyjnymi,
- absolutne bezpieczeństwo pod względem możliwości porażenia prądem elektrycznym,



Rys. 5. Przebieg w czasie ciśnienia wyjściowego czujnika ciśnieniowego podczas jego wkręcania

W chwili obecnej trwają prace nad doskonaleniem konstrukcji czujników, zwłaszcza kapsułkowego.

## LITERATURA

- [1] M. WERSZKO, M. MORAWSKI:  
Zastosowanie zasady kompensacji ciśnień do pomiaru ciśnienia wewnątrzczaszkowego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Mechanika nr 112, 1992, s. 155-160.
- [2] M. WERSZKO, J. WRÓŃSKI, J. FERBER:  
Płynowy przetwornik ciśnienia wewnątrzczaszkowego. Patent nr 131236, 1982 r.
- [3] M. WERSZKO, J. WRÓŃSKI, M. MORAWSKI:  
Pneumatyczny czujnik ciśnienia wewnątrzczaszkowego. Patent nr 169488, 1992 r.
- [4] H. JUNIEWICZ:  
Komputerowy system monitorowania ciśnienia perfuzyjnego. Materiały Sympozjum nt. Modelowanie i Pomiary w Medycynie. Krynica 1999.