

Henryk JUNIEWICZ*

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

Komputerowy system monitorowania ciśnienia perfuzyjnego

Streszczenie

W artykule podano definicje, zakresy pomiarowe oraz parametry metrologiczne dotyczące pomiarów ciśnienia wewnątrzczaszkowego (Intracranial Pressure - ICP) i ciśnienia tętniczego (Arterial Blood Pressure - ABP) oraz niektórych parametrów wyliczanych z tych wielkości - ciśnienie perfuzyjne (Cerebral Perfusion Pressure - CPP) i wskaźnik wydolności krążenia mózgowego (Cerebral Circulatory-Pressure Index - CCPI). Szczegółowo przedstawiono wyposażenie i zastosowanie „wrocławskiego” komputerowego systemu monitorowania ICP, ABP i CPP u pacjentów po operacyjnym leczeniu ekspansywnych procesów wewnątrzczaszkowych (guzy mózgu, krwiaki śródmózgowe, tętniaki). Przedstawiono przykładowy przebieg ICP u pacjentki intensywnie leczonej po urazie mózgu (wypadek komunikacyjny) z wykazaniem przewagi ciągłego monitorowania tych wielkości nad pomiarem chwilowym. Zaprezentowano zastosowanie systemu do oceny stanu neurologicznego pacjentów przy wypisie (GOS) w oparciu o ICP, CPP i CCPI.

Abstract

Definitions, measurement ranges and metrological parameters related to Intracranial Pressure (ICP) and Arterial Blood Pressure (ABP) as well as parameters calculated from ICP and ABP i.e. Cerebral Perfusion Pressure (CPP) and Cerebral Circulatory-Pressure Index (CCPI) are presented in the paper. The „Wrocław - developed” computer system for ICP, ABP and CPP monitoring and its application in postoperative management of expansive intracranial processes (cerebral tumor, intracerebral hematoma, intracranial aneurysm) is detailed. The examples of ICP waves from a victim of traffic accident and the advantages of continuous monitoring over instantaneous measurement are presented. Application of the CPP monitoring system in evaluating a neurological patient outcome status (GOS) is also characterized.

Wstęp

Czaszka człowieka stanowi zamkniętą jamę kostną o pojemności ok. 1500 ml i wypełnioną przez tkanki mózgowie (80%), krew w naczyniach krwionośnych (10%) i płyn mózgowo-rdzeniowy (10%). Wspólną cechą tych składników przestrzeni wewnątrzczaszkowej jest ich nieściśliwość - suma objętości mózgu, krwi w łożu naczyniowym i płynu mózgowo-rdzeniowego jest wielkością stałą (reguła Monro-Kelly), a przyrost objętości jednego ze składników może nastąpić tylko przy jednoczesnym ubytku jednego lub dwu pozostałych składników. Wzrost ciśnienia wewnątrzczaszkowego może być spowodowany np. zmianami nowotworowymi (guzy mózgu pierwotne i przerzutowe), urazami głowy (krwiaki wewnątrzczaszkowe, obrzęk mózgu), chorobami naczyniowymi

mózgu (krwotok podpajęczynówkowy, zawał mózgu), wodogłowiem, infekcjami (zapalenie opon mózgowych) itp.

Podstawowym celem leczenia pacjenta z objawami nadciśnienia wewnątrzczaszkowego jest zapewnienie właściwego przepływu krwi tętniczej w tętnicach mózgowych, gdyż zaburzenia tego przepływu prowadzą do wystąpienia obszarów niedokrwiennych, rozległych uszkodzeń mózgu (przemieszczenia i deformacje), a w konsekwencji śmierci. Leczenie pacjenta prowadzi się w celu zachowania lub przywrócenia procesu autoregulacji, rozumianej jako zdolność łoża naczyniowego do zapewnienia prawidłowego przepływu mózgowego krwi mimo wahań ciśnienia skurczowego od 60 do 160 mmHg.

Do oceny wewnątrzczaszkowych stosunków objętościowych wykorzystuje się różne metody diagnostyczne jak: badanie neurologiczne, tomografia komputerowa, rezonans magnetyczny, angiografia, pomiary prędkości przepływu krwi metodami ultradźwiękowymi, pomiary mózgowych potencjałów wywołanych. Nieinwazyjna ocena ciśnienia wewnątrzczaszkowego jest możliwa u dzieci z niezrośniętym ciemiączkiem oraz u chorych z wykonanym odbarczeniem (usunięcie części kości czaszki). Po-

Tabela 1. Zakres normalnych wartości ciśnienia tętniczego, ICP, CPP i CCPI

Nazwa wielkości	Wartości normalne	
SYS - Systolic Blood Pressure ciśnienie skurczowe	60 - 160 mmHg	8.0 - 21.3 kPa
DIA - Diastolic Blood Pressure ciśnienie rozkurczowe	60 - 100 mmHg	8.0 - 13.3 kPa
$MABP = \frac{1}{T} \int ABP(t)dt$ MABP - Mean Arterial Blood Pressure średnie ciśnienie tętnicze	70 - 120 mmHg	9.3 - 16.0 kPa
ICP - Intracranial Pressure ciśnienie wewnątrzczaszkowe	0 - 15 mmHg	0 - 2.0 kPa
CPP = MABP - ICP CPP - Cerebral Perfusion Pressure ciśnienie perfuzyjne	70 - 120 mmHg	9.3 - 16.0 kPa
$CCPI = \frac{CPP}{ICP}$ CCPI - Cerebral Circulatory-Pressure Index wskaźnik wydolności krążenia mózgowego	> 3.0	

miar ciśnienia wewnątrzczaszkowego (Intracranial Pressure - ICP) wykonuje się zasadniczo metodami inwazyjnymi, przez wprowadzenie czujnika ciśnienia do komory mózgowej (Intraventricular Pressure - IVP), miąższu mózgu (Intraparenchymal Pressure - IPP), przestrzeni podtwardówkowej (Subdural Pressure - SDP) lub przestrzeni nadtwardówkowej (Epidural Pressure - EDP). Możliwa jest również ocena ICP podczas wykonywania drenażu płynu mózgowo-rdzeniowego przez podłączenie

* Dr inż. Henryk JUNIEWICZ

Absolwent Wydziału Elektrycznej Politechniki Wrocławskiej z 1971 r. Doktorował się w Instytucie Metrologii Elektrycznej Politechniki Wrocławskiej w 1978 r. Autor lub współautor ok. 40 publikacji, 4 patentów, 40 raportów naukowo-technicznych, członek Stowarzyszenia Elektryków Polskich i Polskiego Towarzystwa Neurochirurgów.

czujnika ciśnienia do zewnętrznej części drenu lub podczas wykonywania punkcji lędźwiowej (o ile zapewniona jest drożność kanału kręgowego).

Definicje i zakresy prawidłowych wartości parametrów ciśnienia tętniczego (Arterial Blood Pressure - ABP) - maksymalne, minimalne, średnie, ICP oraz innych wielkości wyliczanych z ABP i ICP (ciśnienie perfuzyjne - CPP oraz wskaźnik wydolności krążenia mózgowego - CCPI) podano w Tabeli 1.

Na rysunku 1 przedstawiono nomogram zależności między ciśnieniami MABP i ICP [11]. Wprowadzono proste: MABP = 70 mmHg i 120 mmHg i ICP = 15 mmHg. Jakkolwiek wielu autorów [6] przyjmuje górną wartość normalnych wartości ICP = 20 mmHg, ale według badań w Klinice Neurochirurgii Akademii Medycznej we Wrocławiu wartość ICP = 15 mmHg powinna być przyjęta jako granica, której przekroczenie wymaga leczenia. Na podstawie licznych badań [5, 6] przyjęto CPP = 70 mmHg jako granicę, poniżej której należy podejmować intensywne leczenie zwiększające przepływ mózgowy. Obszar prawidłowych ciśnień ICP i CPP przyjmuje charakterystyczny kształt trapezu. Pacjenci, u których MABP, ICP i CPP mieszczą się w tym polu mają prawidłowe ciśnienie perfuzyjne i nie wymagają interwencji leczniczej.

Na rysunku 1 przedstawiono wszystkie wartości MABP, ICP i CPP, podzielone na obszary ograniczone wartościami prawidłowymi. W zależności od bieżących wartości MABP, ICP i CPP, występujących u pacjentów, należy podejmować odpowiednie interwencje terapeutyczne odpowiednio opisane na rysunku.

Na rysunku 1 można zauważyć pole, w którym niezbędne jest zwalczanie nadciśnienia wewnątrzczaszkowego, mimo że CPP > 70 mmHg. Z drugiej strony występuje pole, w którym nie należy zwalczać nadciśnienia wewnątrzczaszkowego, chociaż CPP < 70 mmHg, natomiast konieczne jest podwyższenie

Tabela 2. Wynik leczenia pacjenta w skali GOS

GOS	Wynik leczenia pacjenta wg Glasgow Outcome Scale
GOS 5	bardzo dobry pacjent bez ubytkowych objawów neurologicznych
GOS 4	dobry pacjent z dyskretnymi ubytkowymi objawami neurologicznymi w pełni samodzielny
GOS 3	dość dobry pacjent z ubytkowymi objawami neurologicznymi niesamodzielny
GOS 2	zły stan wegetatywny
GOS 1	zgon

MABP w celu zapewnienia prawidłowego ciśnienia perfuzyjnego i przepływu mózgowego krwi.

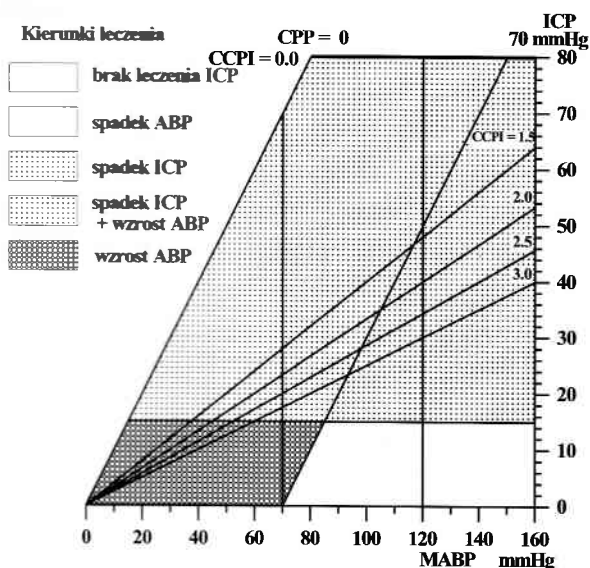
Po wykonaniu operacji neurochirurgicznej pacjent kierowany jest na salę neuroreanimacji. Stan neurologiczny pacjenta w momencie przyjęcia na salę jest oceniany w 14-stopniowej skali Glasgow Coma Scale (GCS), natomiast w momencie wypisu pacjenta w 5-stopniowej skali Glasgow Outcome Scale (GOS) - Tabela 2.

Taki ogólny opis stanu neurologicznego pacjenta pozwala na ogólną, statystyczną ocenę wyników leczenia pacjentów.

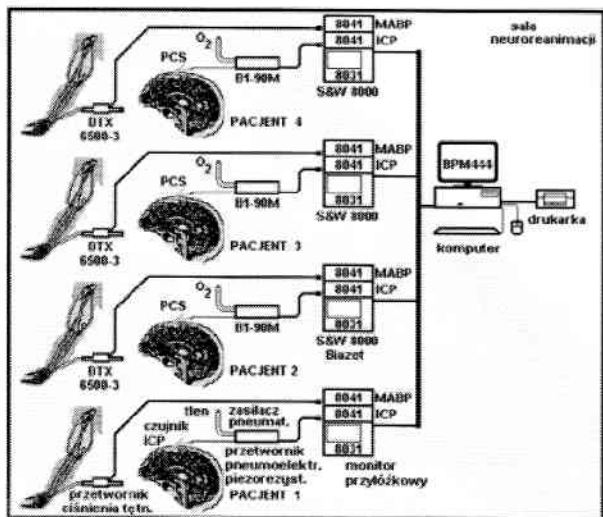
Komputerowy system monitorowania CPP

Ciśnienie wewnątrzczaszkowe wykazuje dość dużą dynamikę zmian. W warunkach normalnych amplituda zmian jest rzędu kilku mmHg (dla średnich ICP od 0 do 15 mmHg). W miarę wzrostu ICP amplituda zmian wzrasta do kilkunastu mmHg (dla średnich ICP od 15 do 50 mmHg), a następnie ponownie maleje do kilku mmHg (dla średnich ICP powyżej 50 mmHg). W miarę wyczerpywania się rezerwy objętościowej wzrasta średnie ICP. Tempo wzrostu średniego ICP może wynosić do kilkunastu mmHg/15 minut. Jeśli zachowana jest autoregulacja, to gwałtowne wzrosty ICP (nawet do 70÷80 mmHg) spowodowane chwilowymi zaburzeniami oddechu (kaszlnięcie) lub niezbędnymi zabiegami pielęgnacyjnymi, zostają w ciągu kilku sekund skompensowane i nie mają wpływu na przebieg leczenia - stanowią tzw. artefakty. Ze względu na wyprzedzający charakter wzrostu ICP w stosunku do innych objawów neurologicznych oraz bezpośredni wskaźnik wyczerpywania się wewnątrzczaszkowej rezerwy objętościowej, monitorowanie ICP powinno być rutynowym działaniem diagnostycznym, zwłaszcza po operacjach usunięcia tętniaków i guzów mózgu. Zgodnie z [7] oddział anesteziologii i intensywnej terapii powinien być wyposażony m.in. „w - 1 aparat do monitorowania ciśnienia wewnątrzczaszkowego na oddział liczący co najmniej 6 stanowisk intensywnej terapii”.

W Klinice Neurochirurgii AM we Wrocławiu od kilkunastu lat prowadzone są badania nad zastosowaniem pneumatycznych czujników do pomiaru ICP [8]. W 1993 r. wprowadzono komputerowy system monitorowania ICP, MABP i CPP dla 4 pacjentów jednocześnie [2, 12]. Schemat tego systemu przedstawiono na rysunku 2. Składa się on z 4 monitorów przyłóżkowych typu 8031 firmy Simonsen&Weel z 8 nadstawkami typu 8041 do pomiaru ciśnienia tętniczego metodą inwazyjną. Jednorazowe piezorezystancyjne czujniki DTX firmy Ohmeda służą do pomiaru ABP. Jednorazowe czujniki kapsułkowe [9] zasilane z zasilaczy pneumatycznych typu B1-90M służą do pomiaru ICP. Ja-



Rys. 1. Nomogram zależności między MABP, ICP i CPP oraz kierunkami leczenia w zależności od ich wartości



Rys. 2. Schemat wyposażenia komputerowego systemu monitorowania CPP dla 4 pacjentów jednocześnie

ko przetworniki ciśnienia pneumatycznego służą piezorezystancyjne czujniki DTX wmontowane wewnątrz zasilaczy. Dzięki takiemu rozwiązaniu czujniki pneumatyczne i zasilacze mogą współpracować z modułami ciśnienia tętniczego w monitorach przyłóżkowych większości firm występujących na rynku (czułość wszystkich piezorezystancyjnych czujników ciśnienia tętniczego wynosi $5 \mu V/V_{zas}/mmHg$) [3]. Oprócz czujników kapsułkowych z zasilaczem pneumatycznym możliwe jest wykorzystanie jednorazowych piezorezystancyjnych czujników ICP firmy Codman lub PS Medical podłączanych bezpośrednio do modułów ciśnienia tętniczego. Wyjściowe sygnały analogowe z monitorów przyłóżkowych są przesyłane do karty przetworników *a/c* w komputerze, przetwarzane na sygnały cyfrowe, prezentowane na ekranie monitora komputerowego i zapamiętywane na twardym dysku z wykorzystaniem specjalnego programu BPM-444 firmy Convert Laboratories. Odtworzenie sygnałów zgromadzonych na twardym dysku możliwe jest za pomocą oddzielnego programu *ex-post*.

Program BPM-444 umożliwia:

- wprowadzanie informacji o pacjencie, rodzaju operacji, rozpoznaniu i dacie badania;
- wizualizację przebiegów ICP, MABP i CPP: ostatnie 4, 20 minut, 1, 12 lub 24 godz.;
- wprowadzanie linii poziomów alarmowych ICP, MABP i CPP dla dowolnej ich wartości;
- wprowadzanie znaczników leków lub czynności mających wpływ na mierzone ciśnienia;
- zmianę skali ciśnienia: 0..35, 0..70, 0..140, 0..210, 70..140 lub 140..210 mmHg;
- wyznaczanie histogramów ICP, MABP i CPP: trzy ostatnie półgodzinne histogramy,
- ostatni dwugodzinny histogram,

obliczanie parametrów statystycznych sygnałów ICP, MABP i CPP:

- wartość średnia, mediana, moda,
- wariancja, odchylenie standardowe,
- współczynnik skośności, współczynnik spłaszczenia (kurtoza).

Program *bpm444.exe* umożliwia wizualizację przebiegów ICP, MABP i CPP jednego, dwóch, trzech lub czterech pacjentów jednocześnie w indywidualnej skali czasu i zakresu ciśnie-

nia. Ponadto możliwe jest wygaszanie aktualnie prezentowanego przebiegu ICP, MABP lub CPP, alarmów oraz kodów leków w celu indywidualnego ustawienia zakresu ciśnienia do bieżącej prezentacji i wydruku przebiegu ciśnienia. Program *exp444.exe* umożliwia analizę wyników *ex post*. Program pozwala na odtworzenie parametrów pacjenta, szybki przegląd wartości ICP, MABP i CPP metodą przewijania, wyświetlanie przebiegów dla dowolnego odcinka 4, 24 minut lub 1, 2, 6, 12 lub 24 godziny oraz wyznaczanie histogramów i parametrów statystycznych przebiegów ICP, MABP i CPP w przedziale czasowym aktualnie prezentowanym na ekranie. Możliwy jest również wydruk aktualnego stanu ekranu. Oba programy obsługiwane są za pomocą myszy, a większość funkcji może być również uruchomiona z klawiatury.

W latach 1993÷98 dokonano w Klinice Neurochirurgii AM we Wrocławiu zapisów sygnałów ICP u ok. 500 pacjentów, a CPP u ok. 80 pacjentów. Rezultaty monitorowania mają tak istotny wpływ na diagnostykę i leczenie pacjentów neurochirurgicznych, że przyjęto monitorowanie ICP i CPP jako postępowanie rutynowe. Wyniki badań były wielokrotnie prezentowane podczas konferencji i sympozjów naukowych (np. [10, 11]) oraz podczas krajowych i międzynarodowych seminariów szkoleniowych dla neurochirurgów i anestezjologów (Frankfurt n. Menem i Wrocław 1994÷97, Książ 1998), jak również wykorzystywane w pracach na stopień (obroniona praca doktorska i złożone dwie monografie prac habilitacyjnych).

Znany jest również program monitorowania wielu parametrów życiowych pacjenta opracowany na Politechnice Warszawskiej i w Uniwersytecie Cambridge (Anglia) i używany praktycznie do prac badawczych w Cambridge [1], jak również program monitorowania ICP i temperatury mózgu opracowany w Klinice Neurochirurgii AM w Białymstoku [4].

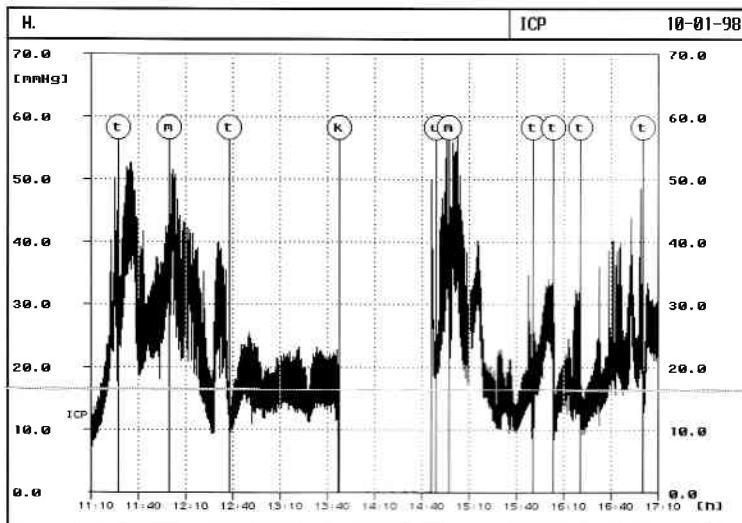
Program BPM-444 został opracowany kilka lat temu i wymaga już unowocześnień, ale podstawowe zasady obróbki i prezentacji sygnałów ciśnienia nie powinny ulec zasadniczym zmianom, zwłaszcza przy stosowaniu systemu do bieżącej kontroli ICP, MABP i CPP w szpitalnych oddziałach intensywnej terapii.

Przykład monitorowania zmian ICP

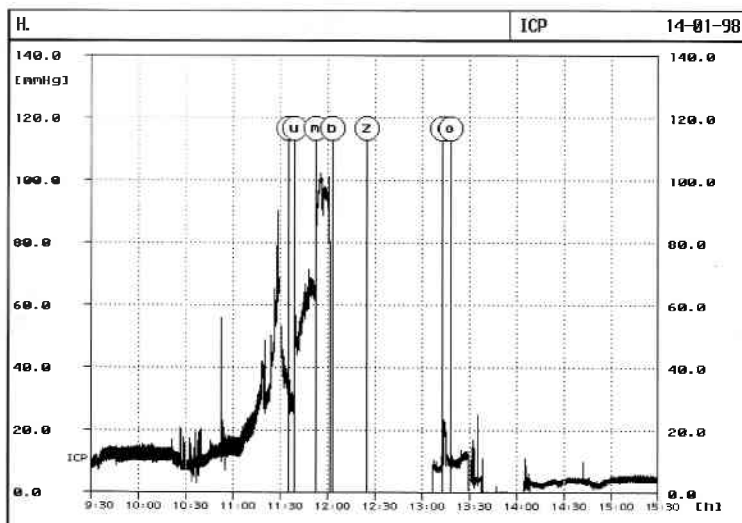
Jako przykład monitorowania zmian ICP wybrano 23-letnią pacjentkę, która uległa wypadkowi komunikacyjnemu i u której stwierdzono na podstawie zdjęcia tomograficznego rozległy obrzęk mózgu. Pacjentka była nieprzytomna, w bardzo ciężkim stanie. Wykonano implantację w przestrzeni nadwardłkowej pneumatycznego czujnika kapsułkowego, który pozostał w otworze trepanacyjnym przez okres ok. 7 dni. Występujące bardzo wysokie wartości ICP bezpośrednio zagrażały życiu pacjentki.

Na rysunku 3 pokazano przykładowy 6-godzinny okres prowadzenia tej pacjentki na oddziale neuroreanimacji w trzecim dniu od urazu. W tym czasie podano leki odwadniające (6 razy tiopental (*t*) w bolusie i 2 razy mannitol (*m*)), przeprowadzono badania za pomocą tomografu komputerowego (*k*) oraz zmiany ułożenia głowy (*u*) pacjentki w celu obniżenia ICP. Można zaobserwować bardzo gwałtowne wzrosty ICP - od poziomu normalnego 10 mmHg do niebezpiecznie wysokich wartości rzędu 50 mmHg. Wzrosty ICP usiłowano opanować przez podanie leków odwadniających, co dawało przejściowo pozytywny efekt. Wykonane zdjęcia tomograficzne wykazały utrzymujący się znaczny obrzęk mózgu.

Utrzymujące się wysokie wartości ICP ponad 30 mmHg, mimo stosowania leków odwadniających (rysunek 4), a od pewnego momentu szybki wzrost ICP do krytycznie wysokich wartości ponad 50 mmHg, zdecydowały o podjęciu decyzji wykonania bardzo agresywnego zabiegu - odbarczenia kostno-twardówko-



Rys. 3. Przykładowy zapis zmian ICP podczas intensywnego leczenia nadciśnienia wewnątrzczaszkowego spowodowanego pourazowym obrzękiem mózgu



Rys. 4. Przebieg ICP przed i po wykonaniu odbarczenia kostno-twardówkowego

wego. Po wykonaniu zabiegu wartości ICP spadły i pozostawały na poziomie normalnym. Intensywne leczenie pooperacyjne i rehabilitacja psychofizyczna dały bardzo dobre wyniki. Ostatnio przywrócono płat kości czaszki i przeprowadzono operację stawu kolanowego, również uszkodzonego podczas wypadku. Pacjentka powraca do zdrowia i przygotowuje się do powrotu na studia uniwersyteckie w toku indywidualnym.

Monitorowanie przebiegu ICP u tej pacjentki miało ogromny wpływ na bieżące leczenie nadciśnienia wewnątrzczaszkowego i przyczyniło się do podjęcia decyzji o wykonaniu odbarczenia.

Ocena stanu pacjentów (GOS) w porównaniu z CCPI, ICP i CPP

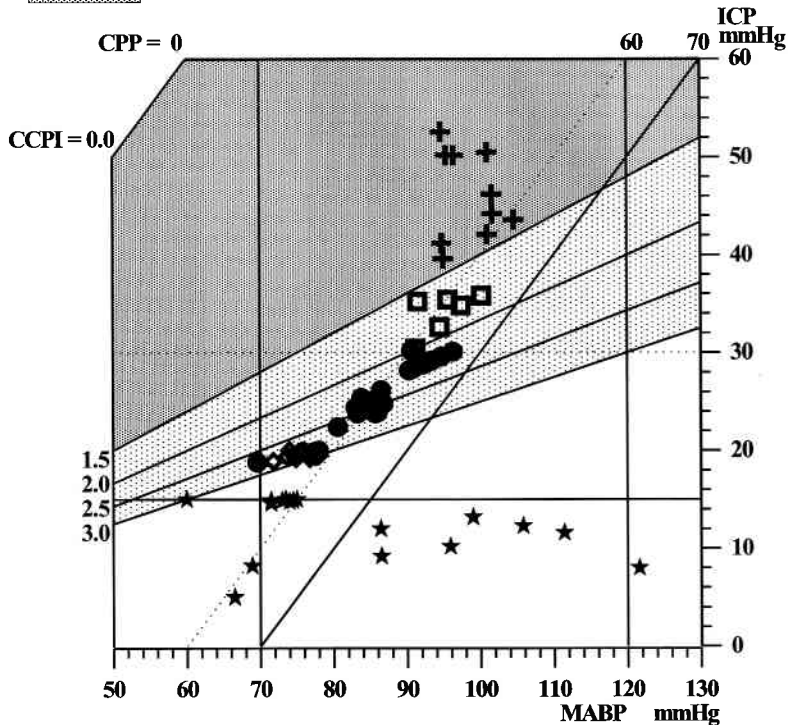
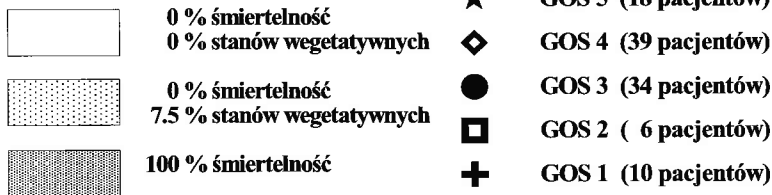
Bieżąca ocena stanu pacjenta, zwłaszcza pod względem zachowania rezerwy objętościowej, może być przeprowadzona

z wykorzystaniem wyników pomiarów ICP i CPP zmierzonych przy pomocy systemu BPM-444. W Klinice Neurochirurgii AM we Wrocławiu przeprowadzono badania grupy 107 pacjentów po operacjach usunięcia guza mózgu, operowanych w latach 1993÷97. Przeanalizowano stan neurologiczny pacjentów po zabiegu operacyjnym w momencie rozpoczęcia monitorowania (GCS) i przy wypisie (GOS) oraz wartości ICP, MABP, CPP i CCPI w momencie rozpoczęcia monitorowania [11].

Na rysunku 5 zestawiono stany neurologiczne pacjentów przy wypisie (GOS) i zaznaczono charakterystyczne obszary CCPI. Wszyscy pacjenci z CCPI powyżej 3,0 wypisani zostali w dobrym stanie neurologicznym (GOS 5). Wszyscy pacjenci z CCPI w przedziale 1,5÷3,0 mieli różnego stopnia ubytki neurologiczne, natomiast wszyscy pacjenci z CCPI w przedziale od 0,0÷1,5, niezależnie od sposobu leczenia, zmarli (GOS 1).

Podobnie jednoznacznej oceny nie można sformułować na podstawie analizy GOS i CPP. Co prawda wszyscy pacjenci,

Wnioski



Rys. 5. Stan neurologiczny przy wypisie (GOS) oraz wartości początkowe ICP, MABP, CPP i CCPI pacjentów po operacjach guzów mózgu

których CPP było powyżej 70 mmHg (7 pacjentów) opuścili oddział w dobrym stanie neurologicznym, ale pozostałych 11 pacjentów z GOS 5 miało CPP poniżej 70 mmHg. W grupie pacjentów z CPP w przedziale 55 ÷ 65 mmHg byli pacjenci ze wszystkich grup GOS, od GOS 5 do GOS 1, a w grupie pacjentów z CPP w zakresie 50 ÷ 55 mmHg byli pacjenci zarówno z GOS 4, jak i z GOS 1. Jak wynika z analizy tego materiału CPP nie jest jednoznacznym parametrem pozwalającym na prognozowanie stanu neurologicznego pacjenta przy wypisie (GOS). Ponadto powszechnie przyjęta graniczna wartość CPP = 70 mmHg wydaje się wartością zawyżoną i być może należałoby ją obniżyć do 65 mmHg, co wymaga jednak dalszych badań.

Przyjęty prawidłowy zakres ICP w przedziale 0 ÷ 15 mmHg okazał się skutecznym kryterium, gdyż wszyscy pacjenci, których ICP mieściło się w tym przedziale, osiągnęli GOS 5. Przyjęcie wartości granicznej ICP = 20 mmHg nie wydaje się korzystne, gdyż u pacjentów z ICP w przedziale 15 ÷ 20 mmHg stwierdzono ubytki neurologiczne (GOS 4 i GOS 3) i w związku z tym wymagają oni wcześniejszego intensywnego leczenia nadciśnienia wewnątrzczaszkowego.

W wyniku badań grupy 107 pacjentów po operacjach usunięcia guza mózgu stwierdzono charakterystyczne obszary zmienności CCPI, w których należy spodziewać się bardzo dobrych wyników leczenia - GOS 5 (CCPI powyżej 3), średnich wyników leczenia - GOS 4 i GOS 3 (CCPI w przedziale 2,0 ÷ 3,0) oraz śmierci pacjenta - GOS 1 (CCPI poniżej 1,5).

1. Komputerowy system monitorowania ICP, ABP i CPP powinien należeć do podstawowego wyposażenia oddziału anestezjologii i intensywnej terapii i jest niezbędny do pooperacyjnego prowadzenia pacjentów z ekspansywnymi procesami wewnątrzczaszkowymi.
2. Monitorowanie ICP, MABP, CPP i CCPI pozwala na wcześniejsze wykrycie wyczerpywania się wewnątrzczaszkowej rezerwy objętościowej, bieżącą ocenę wpływu leków i zabiegów terapeutycznych na wartość i tendencje zmian ciśnienia.
3. Monitorowanie ICP, MABP, CPP i CCPI pozwala na gromadzenie danych niezbędnych do opracowania nowych procedur leczenia pacjentów oraz statystyczną ocenę wyników leczenia.

LITERATURA

- [1] M. CZOSNYKA, H. WHITEHOUSE, P. ŚMIELEWSKI i inni: Computer supported multimodal bed-side monitoring in neuro intensive care. International Journal of Clinical Monitoring and Computing, vol. 11, 1994, s. 223-232.
- [2] H. JUNIEWICZ, M. WERSZKO: Intracranial pressure monitoring system with pneumatic capsule sensor. Proceedings of SPIE, vol. 2634, 1995, s. 150-156.
- [3] H. JUNIEWICZ, Z. K DRYŃA: Sensors, transducers and systems for blood pressure and intracranial pressure monitoring. (Invited Paper), Proceedings of SPIE, vol. 3054, 1997, s. 76-83.
- [4] Z. MARIAK: Skomputeryzowane urządzenie do wielokanałowej rejestracji sygnałów analogowych w intensywnym nadzorze chorych neurochirurgicznych. Neurologia i Neurochirurgia Polska, t. 28, nr 5, 1994, s. 749-755.
- [5] A. MARMAROU, R.L. ANDERSON, J.D. WARD i inni: NINDS Traumatic Coma Data Bank: Intracranial Pressure Monitoring Methodology. Journal of Neurosurgery, vol. 75, 1991, s.21-27.
- [6] M.J. ROSNER, S.D. ROSNER, A.D. JOHNSON: Cerebral Perfusion Pressure: Management Protocol and Clinical Results. Journal of Neurosurgery, vol. 83, 1995, s. 949-962.
- [7] Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Zdrowotnej z dn. 27 lutego 1998 r., Dz.U. nr 37, poz. 214.
- [8] M. WERSZKO, R. WERSZKO. Wrocławskie czujniki ciśnienia wewnątrzczaszkowego. I Sympozjum Modelowanie i Pomiar w Medycynie, Krynica, 1999.
- [9] M. WERSZKO, J. WRÓŃSKI, M. MORAWSKI: Pneumatyczny czujnik ciśnienia wewnątrzczaszkowego. Pat. nr 169 488 z 30.11.1992.
- [10] J. WRÓŃSKI, H. JUNIEWICZ, B. CZAPIGA i inni: Cerebral Perfusion Pressure Monitoring of Neurosurgical Patients. Neurologia i Neurochirurgia Polska, supl. nr 4/1996, t. I, s. 301-311.
- [11] J. WRÓŃSKI, H. JUNIEWICZ, J. MIERZWA, R. ABRASZKO: Usefulness of the Cerebral Circulatory Index (CCI) in Postoperative Management of Neurosurgical Patients, abstrakt w Joint Meeting of Neuroanaesthesia Societies of Finland, Scandinavia, Great Britain and Ireland, Helsinki, 22-24 maja, 1998, Finlandia.
- [12] J. WRÓŃSKI, M. WERSZKO, H. JUNIEWICZ i inni, BPM-100 - komputerowy system pomiaru, wizualizacji i analizy ciśnienia śródczaszkowego, Elektronizacja, nr 5, 1994, s. 20-23.