

## ARTYKUŁ POGLĄDOWY / REVIEW PAPER

Otrzymano/Submitted: 08.04.2022 • Zaakceptowano/Accepted: 12.04.2022

© Akademia Medycyny

## Badanie gazometryczne krwi – przegląd aktualnych doniesień naukowych

### *Blood gas analysis – an updated literature review*

Mikołaj Seostianin, Przemysław Skulik

Szpital w Puszczykowie im. Prof. S.T. Dąbrowskiego



### Streszczenie

Badanie gazometryczne krwi (ang. *blood gas analysis*) stanowi podstawowy element diagnostyki laboratoryjnej u pacjentów hospitalizowanych w szpitalnych oddziałach ratunkowych oraz na oddziałach intensywnej terapii. Jego właściwe użycie oraz prawidłowa interpretacja umożliwia ukierunkowanie leczenia krytycznie chorych pacjentów. Niniejszy przegląd literatury podsumowuje najważniejsze informacje dotyczące poszczególnych paneli laboratoryjnych badania gazometrycznego krwi, prezentuje aktualne doniesienia dotyczące tej metody diagnostycznej oraz wskazuje na jej przydatność w poszczególnych sytuacjach klinicznych. *Anestezjologia i Ratownictwo 2022; 16: 33-41. doi:10.53139/AIR.20221602*

*Słowa kluczowe: badanie gazometryczne krwi, równowaga kwasowo-zasadowa, anestezjologia, intensywna terapia, medycyna ratunkowa*

### Abstract

Blood gas analysis (BGA) is a part of basic laboratory work-up in patients hospitalized within emergency departments and intensive care units. Proper use and interpretation of BGA facilitate directed therapy in critically ill patients. This article summarizes the most relevant information regarding BGA laboratory profiles, reviews up-to-date literature, and investigates the utility of BGA in particular clinical scenarios. *Anestezjologia i Ratownictwo 2022; 16: 33-41. doi:10.53139/AIR.20221602*

*Keywords: blood gas analysis, acid-base balance, anesthesiology, intensive care, emergency medicine*

### Wstęp

Badanie gazometryczne krwi to badanie laboratoryjne stosowane w codziennej praktyce klinicznej. W podstawowym zakresie badanie to obejmuje pomiar:

- pH krwi,
- ciśnienia parcjalnego tlenu ( $pO_2$ ),
- ciśnienia parcjalnego dwutlenku węgla ( $pCO_2$ ),
- osoczowego stężenia jonów wodorowęglanowych ( $HCO_3^-$ ),

- nadmiaru/niedoboru zasad (base excess/deficit; BE/BD),

- wysycenia krwi tlenem; saturacji ( $SaO_2$ ).

Może ono zostać rozszerzone także o pomiar stężenia elektrolitów (głównie sodu, potasu, chlorków, wapnia, fosforanów), hemoglobiny, mleczanów, bilirubiny, glukozy, a także innych parametrów.

Celem badania gazometrycznego krwi jest m.in. określenie równowagi kwasowo-zasadowej (RKZ) organizmu, pomiar natlenienia krwi oraz sprawdzenie efektywności wymiany gazowej pacjenta. Ogólne

Tabela I. Ogólne wskazania do wykonania badania gazometrycznego krwi. Na podstawie wytycznych American Association for Respiratory Care 2013 (AARC Clinical Practice Guideline: Blood Gas Analysis and Hemoximetry; 2013) [1]

Table I. General indications for blood gas analysis. Based on: American Association for Respiratory Care 2013 (AARC Clinical Practice Guideline: Blood Gas Analysis and Hemoximetry; 2013) [1]

Ocena adekwatności wentylacji ( $p\text{CO}_2$ ), równowagi kwasowo-zasadowej (pH), natlenienia krwi ( $p\text{O}_2$ , $\text{SaO}_2$ ), zdolności transportowej krwi dla tlenu ( $p\text{O}_2$ , $\text{SaO}_2$ , stężenie hemoglobiny, dyshemoglobiny – metHb, COHb) oraz przecieku śródplucnego
Określenie odpowiedzi na interwencje terapeutyczne (np. tlenoterapia bierna, wentylacja mechaniczna) lub próby diagnostyczne (np. wysiłkowa desaturacja krwi)
Ocena terapii ukierunkowanej na cele (goal-directed therapy; GDT) m.in. poprzez pomiar wysycenia tlenem krwi w żyłach centralnych ( $\text{ScvO}_2$ ) u pacjentów z sepsą, we wstrząsie septycznym, po dużym zabiegu chirurgicznym
Monitorowanie nasilenia oraz progresji choroby
Ocena układu krążenia (np. duża różnica wartości $p\text{CO}_2$ we krwi z żył centralnych oraz $p\text{CO}_2$ we krwi tętniczej ( <i>ang. central venous-to-arterial <math>\text{CO}_2</math> difference – <math>\Delta p\text{CO}_2</math></i> ) może wskazywać na niewystarczającą perfuzję narządową np. w ciężkim wstrząsie krwotocznym, zmniejszonym rzucie serca, podczas resuscytacji krążeniowo-oddechowej, czy po pomostowaniu aortalno-wieńcowym)

wskazania do wykonania badania gazometrycznego krwi zostały przedstawione w tabeli I.

Odchylenia w niezafałszowanym badaniu gazometrycznym krwi mogą wynikać z upośledzenia funkcji narządów krytycznych dla utrzymania homeostazy organizmu (m.in. serca, płuc, nerek) i mają podstawowe znaczenie dla dalszego postępowania diagnostyczno-terapeutycznego w leczeniu szpitalnym. Wskazują one na obecność kwasicy lub zasadowicy, dominującą komponentę zaburzeń (oddechowa, nieoddechowa/metaboliczna, mieszana), stopień ich zaawansowania oraz wyrównania (zaburzenia niewyrównane, częściowo wyrównane, całkowicie wyrównane). Wczesne wykrycie nieprawidłowości wymienionych parametrów wraz z dokładną oceną kliniczną pozwalają na określenie przyczyny pogorszenia się stanu pacjenta, a właściwe postępowanie ukierunkowane na korekcję tych zaburzeń może poprawić rokowanie pacjentów hospitalizowanych z powodu ciężkiego rozstroju zdrowia. W związku z licznymi sytuacjami klinicznymi, w których badanie gazometryczne znajduje zastosowanie, stanowi ono nieodzowny element postępowania w leczeniu szpitalnym osób w każdym wieku.

Celem niniejszej pracy jest przypomnienie najważniejszych informacji dotyczących poszczególnych paneli laboratoryjnych badania gazometrycznego krwi, przegląd doniesień naukowych z okresu ostatnich trzech lat (publikacje wyselekcjonowane z bazy danych PubMed, hasło wyszukiwania: „blood gas analysis”, okres: 2019 – 2022, ostatni dostęp: 31 marca 2022) oraz przedstawienie przydatności badania gazometrycznego

krwi w poszczególnych sytuacjach klinicznych (włączając badania przyłóżkowe za pomocą analizatorów znajdujących się w otoczeniu pacjenta).

## Poszczególne profile badań gazometrycznych krwi

### Badanie gazometryczne krwi żyłnej

Badanie gazometryczne krwi żyłnej (inaczej gazometria krwi żyłnej, *ang. Venous Blood Gas analysis; VBG*) to analiza składu gazów oddechowych, pH, BE oraz stężenia jonów wodorowęglanowych w próbce krwi żyłnej. Stanowi ono pewnego rodzaju alternatywę (zwłaszcza w zakresie pomiaru pH oraz  $p\text{CO}_2$ ) do badania krwi tętniczej ze względu na występujące niekiedy trudności ze zlokalizowaniem (m.in. niskie ciśnienie krwi, miażdżycowe zmiany struktury naczyń) czy punkcją (np. nadmierna aktywność psychoruchowa pacjenta) naczynia tętniczego. Do uzyskania próbki krwi żyłnej można wykorzystać wkłucie do obwodowego naczynia żylnego, cewnik założony do centralnego naczynia żylnego (*ang. central venous catheter – CVC*) oraz cewnik umieszczony w tętnicy płucnej (*ang. pulmonary artery catheter – PAC*). Saturacja mieszanej krwi żyłnej ( $\text{SvO}_2$ ) uzyskana z PAC pozwala na określenie czy rzut serca oraz zaopatrzenie tkanek obwodowych w tlen są wystarczające dla potrzeb metabolicznych pacjenta [2].

Dotychczas dobrze udokumentowano korelację dla wartości pH,  $\text{CO}_2$  oraz BE pomiędzy krwią żylną uzyskaną z CVC, a krwią tętniczą [3]. Dla wartości

pH oraz CO<sub>2</sub> korelację taką udowodniono także dla krwi uzyskanej z wkłucia do żyły obwodowej [4]. Wykazano, że gazometria żylna z wkłucia obwodowego koreluje z tętniczą także u pacjentów z dusznością i/lub podejrzeniem ostrej niewydolności oddechowej [5]. Autorzy zgodnie jednak podkreślają – VBG nie stanowi substytutu gazometrii krwi tętniczej.

W warunkach szpitalnego oddziału ratunkowego (SOR) VBG może okazać się przydatna we wstępnej ocenie pacjentów z przewlekłą obturacyjną chorobą płuc (POChP) oraz kwasimą ketonową [6]. Na uwagę zasługuje fakt, że stwierdzenie niskich wartości pCO<sub>2</sub> we krwi żylnnej pozwala (z dużym prawdopodobieństwem) na wykluczenie hiperkapnii we krwi tętniczej (wartości pCO<sub>2</sub> ≤ 50 mmHg we krwi żylnnej pobranej z CVC pozwalają na wykluczenie tętniczej hiperkapnii, co może być wykorzystane w przesiewie pacjentów pod kątem hipowentylacji) [6,7]. Dodatkowo, wartości pH oraz pCO<sub>2</sub> są w małym stopniu zależne od wentylacji pęcherzykowej pacjenta w momencie pobierania próbki krwi. W badaniu Shastri i wsp. wartości pH i pCO<sub>2</sub> we krwi żylnnej cechowała mniejsza i bardziej opóźniona zmienność w porównaniu do wartości tożsamy parametrów uzyskanych z krwi tętniczej pod wpływem hipo- i hiperwentylacji podczas pobrania [8]. W badaniu Coggins i wsp., u pacjentów z pourazowym wstrząsem hipowolemicznym wartości pH, BD i mleczanów uzyskane z VBG cechowały się odpowiednio 71,6%, 80,7% i 90,0% zgodnością z gazometrią krwi tętniczej w granicach wartości referencyjnych, natomiast przy łącznej analizie prawidłowych oraz nieprawidłowych wartości (pH ≤ 7,2; BD ≤ -6; mleczany ≥ 4 mmol/L) zgodność ta wynosiła odpowiednio 96,6%, 97,7%, 92,9% [9]. Tym samym autorzy sugerują, że VBG może być używana we wstępnej ocenie pacjentów we wstrząsie pourazowym, jeżeli jednocześnie nie obserwuje się u nich cech niewydolności oddechowej.

Podstawową wadą gazometrii krwi żylnnej pozostaje brak możliwości zbadania rzeczywistego stopnia nasycenia krwi tlenem. Proponowane są rozwiązania, które wykorzystując matematyczne algorytmy, pozwalają na oszacowanie pO<sub>2</sub> we krwi tętniczej. Poddana weryfikacji klinicznej metoda v-TAC cechowała się 100% czułością, 93,8% specyficznością oraz 97% dokładnością i była porównywalna z pulsoksymetrią (SpO<sub>2</sub>) dla wykrywania hipoksemii [10]. Weber i Cave wykazali jednak, że trend matematycznie arterializowanych wartości pCO<sub>2</sub> we krwi żylnnej nie odzwierciedla trendu zmian tego parametru we krwi

tętniczej u pacjentów z niewydolnością oddechową [11]. Matematycznie arterializowana żylna wartość BE – jeżeli przeliczona prawidłowo – rzadko różni się od tej we krwi tętniczej i może stanowić wsparcie w podejmowaniu decyzji klinicznych [12]. Badanie autorstwa Thomsen i wsp. udowodniło, że wartości matematycznie arterializowanej gazometrii krwi żylnnej odpowiadają tym uzyskanym w badaniu gazometrycznym krwi włosniczkowej [13].

Należy pamiętać, że pobranie krwi żylnnej wiąże się ze znacznie mniejszym dyskomfortem i bólem zgłaszanym przez pacjentów w porównaniu do pobrania krwi tętniczej. Przeprowadzone we Francji, wielośrodkowe, prospektywne, randomizowane badanie kontrolne – VEINART – wykazało, że wykonywanie VBG w miejsce ABG u pacjentów niehipoksemicznych wiązało się ze zmniejszeniem zgłaszanych dolegliwości bólowych przy jednoczesnym podtrzymaniu użyteczności uzyskanych wyników (w opinii lekarzy) [14].

Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że gazometria krwi żylnnej może być zastosowana do wykonywania pomiarów hemodynamicznych. Badacze z Kolumbii zaproponowali metodę monitorowania rzutu serca na podstawie wartości gazometrii krwi żylnnej i tętniczej w oparciu o zasadę Ficka [15]. Metoda ta może stanowić alternatywę dla bardziej inwazyjnych i kosztowniejszych sposobów pomiaru rzutu serca. Użyteczność tej metody musi zostać jeszcze klinicznie potwierdzona. Badanie gazometryczne krwi żylnnej może również pomóc w określeniu reakcji organizmu pacjenta z sepsą na płynoterapię. Zmiana w różnicy zawartości pCO<sub>2</sub> pomiędzy krwią żył centralnych a krwią tętniczą ( $\Delta$ - $\Delta$ PCO<sub>2</sub>) oraz zmiana wysycenia tlenem krwi w żyłach centralnych ( $\Delta$ ScvO<sub>2</sub>) korelują ze zmianą wartości wskaźnika sercowego w odpowiedzi na zastosowaną płynoterapię. W badaniu Nassar i wsp. wartość  $\Delta$ - $\Delta$ PCO<sub>2</sub> ≤ -37,5% pozwoliła na kategoryzację pacjentów septycznych na odpowiadających oraz nieodpowiadających na przetoczone płyny (pozytywna wartość predykcyjna – 100%, negatywna wartość predykcyjna – 60%) [16].

### **Badanie gazometryczne krwi włosniczkowej**

Badanie gazometryczne krwi włosniczkowej (*ang. Capillary Blood Gasanalysis; CBG*) polega na analizie RKZ, składu gazów oddechowych oraz stężenia jonów wodorowęglanowych w próbce krwi włosniczkowej. Ze względu na punkt uchwytu pobieranej krwi (naczynia włosowate stale otrzymują krew tętniczą w celu zaopa-

trzenia tkanek obwodowych w tlen) jest to najdoskonalsza alternatywa dla gazometrii krwi tętniczej pod kątem analizy RKZ. Badanie przeprowadzone przez Collot i wsp. wykazało, że krew włosniczkowa cechuje się wysoką zgodnością z krwią tętniczną pod względem pH krwi oraz  $p\text{CO}_2$ , a umiarkowaną zgodnością pod względem stężenia kwasu mlekowego (nie badano zgodności  $p\text{O}_2$ ) [17]. Wartości procentowe dotyczące czułości i swoistości (wraz z punktami odcięcia) w wykrywaniu kwasicy, hiperkapnii oraz hiperlaktatemii za pomocą CBG przedstawiono w tabeli II.

Metoda ta cechuje się (w porównaniu do gazometrii krwi tętniczej) minimalną inwazyjnością, mniejszym ryzykiem powikłań, większym komfortem pacjenta oraz niezależnością od obecności lekarza przy pobraniu krwi. Zastosowanie arterializacji (ograniczenie okolicy pobrania celem rozszerzenia naczyń włosowatych i tym samym zwiększenia ilości dopływającej, natlenionej krwi tętniczej) zwiększa wiarygodność tej metody diagnostycznej. Pobranie krwi włosniczkowej z uprzednio ograniczonego płata ucha pozostaje techniką z wyboru w wykonywaniu CBG. Innym możliwym do wykorzystania miejscem pobrania pozostaje opuszka palca. Wartości pH,  $p\text{CO}_2$  oraz  $\text{HCO}_3^-$  uzyskane z niearterializowanej próbki krwi włosniczkowej pobranej z opuszki palca odpowiadają tym uzyskanym z krwi włosniczkowej płata ucha po uprzedniej arterializacji, co pokazało badanie Kongstad i wsp. przeprowadzone wśród pacjentów w stabilnej fazie POChP [18]. Ma to znaczenie, gdy arterializacja krwi włosniczkowej może wydłużyć czas potrzebny na pobranie krwi lub ze względów praktycznych.

Biorąc pod uwagę małą inwazyjność badania, CBG jest podstawową metodą analizy RKZ na oddziałach pediatrycznych. Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że kwasica i hiperkapnia wykryte w gazometrii krwi włosniczkowej u dzieci hospitalizowanych z powodu

zapalenia oskrzelików są niezależnymi czynnikami ryzyka przekazania na OIT [19].

### Badanie gazometryczne krwi tętniczej

Badanie gazometryczne krwi tętniczej (inaczej gazometria krwi tętniczej, *ang.* *Arterial Blood Gas analysis*; ABG) to najbardziej precyzyjny rodzaj badania gazometrycznego krwi. Uznawany jest za szybką i tanią, a jednocześnie najbardziej inwazyjną i obciążoną największym ryzykiem powikłań metodę diagnostyczną RKZ. Badanie to polega na pobraniu (za pomocą jednorazowego zestawu lub po uprzedniej kaniulacji naczynia) krwi z tętnic: promieniowej, ramiennej lub udowej (znacznie rzadziej z tętnicy pachowej lub grzbietowej stopy).

Do szczególnych wskazań wymagających wykonania tego badania zalicza się duszność (ostrą i przewlekłą), niewydolność krążeniowo-oddechową, zaburzenia metaboliczne, zatrucia oraz zaostrzenie przewlekłych chorób układu oddechowego ze spadkami  $\text{SpO}_2 < 92\%$ . Przeciwwskazania do wykonania tego badania są zależne od miejsca pobrania, a także techniki wykonania (tabela III). Do powikłań związanych z pobraniem krwi tętniczej zaliczamy: ból w miejscu wkłucia, krwawienie, powstanie krwiaka, tętniaka rzekomego, rozwarstwienie, skurcz tętnicy, zakrzepicę naczynia, zatorowość tętniczą, uszkodzenie nerwów, przypadkowe nakłucie naczynia żylnego. W związku z powyższym, procedura ta powinna być przeprowadzana przez lekarza. Pobrana próbka krwi powinna zostać dostarczona w miejsce analizy jej składu najszybciej jak to tylko możliwe. Według literatury, gdy czas ten przekracza 5 minut próbówka powinna być transportowana w lodzie, aby spowolnić metabolizm krwinek wpływający na końcową zawartość gazów oddechowych w badanej próbce (spadek  $p\text{O}_2$  i wzrost  $p\text{CO}_2$ ). Zakres norm wartości parametrów gazometrii tętniczej został przedstawiony w tabeli IV.

Tabela II. Czulość i swoistość poszczególnych parametrów CBG w wykrywaniu kwasicy (pH), hiperkapnii ( $p\text{CO}_2$ ), hiperlaktatemii (Lac). Na podstawie badania autorstwa Collot i wsp. [17]. Wartości procentowe zostały zaokrąglone do liczb całkowitych

Table II. Sensitivity and specificity of selected CBG parameters in detecting acidosis (pH), hypercapnia ( $p\text{CO}_2$ ), hyperlactatemia (Lac). Based on the study by Collot et al. [17]. Percentages have been rounded to whole numbers

Parametr	Próg wartości	Czułość	Swoistość
pH	7,34	98%	97%
$p\text{CO}_2$	45,9 mmHg	89%	96%
Lac	3,5 mmol/L	66%	93%

Tabela III. Przeciwwskazania do wykonania badania gazometrycznego krwi tętniczej. Na podstawie: UpToDate.com, Interna Szczeklika – mały podręcznik oraz Oxford Handbook of Clinical and Laboratory Investigation (4th Edition, Oxford University Press, 2018) [20-22]

Table III. Contraindications to arterial blood gas test. Based on: UpToDate.com, Interna Szczeklika – mały podręcznik, Oxford Handbook of Clinical and Laboratory Investigation (4th Edition, Oxford University Press, 2018) [20-22]

Przeciwwskazania miejscowe	Przeciwwskazania ogólnoustrojowe
<i>T. promieniowa</i> : dodatni test Allena, obecność dializacyjnej przetoki tętniczo-żylną, złamanie nadgarstka, zaburzenia krążenia obwodowego w zakresie ręki, aktywny zespół Raynaud	małopłytkowość (zarówno punkcja jak i kaniulacja naczyń może być przeprowadzona przy wartościach PLT > 50 G/L; unikać przy PLT ≤ 30 G/L; dopuszcza się nakłucie naczyń tętniczych przy PLT 31-50 G/L jednak należy zastosować dłuższy czas ucisku naczyń (zwykle jest to ≥ 5 min w przypadku t. promieniowej, ≥ 10-15 min w przypadku t. ramiennej i udowej)
<i>T. ramienna</i> : przetoka tętniczo-żylna, złamanie w okolicy łokcia, zaburzenia krążenia obwodowego w zakresie kończyny	
<i>T. udowa</i> : obecność stentu i/lub graftu naczyniowego	
zakażenie miejsca wkłucia	koagulopatia lub leczenie trombolityczne np. streptokinazą (p. względne dla punkcji naczyń, p. bezwzględne dla kaniulacji naczyń) należy unikać powtarzalnych punkcji naczyń przy INR ≥ 3 i/lub APTT ≥ 100 s
zakrzepica naczyń	leczenie przeciwkrzepliwie (p. względne dla kaniulacji naczyń; w większości przypadków stosowanie preparatów kwasu acetylosalicylowego czy doustnych antykoagulantów nie stanowi przeciwwskazania)
wrodzone lub nabyte malformacje naczyniowe	wysokie wartości ciśnienia rozkurczowego (> 120 mmHg)
tętniak naczyń	
rozwarstwienie naczyń	

Tabela IV. Zakresy prawidłowych wartości parametrów w gazometrii tętniczej. Na podstawie UpToDate.com [21]

Table IV. Ranges of normal values for arterial blood gas parameters. Based on: UpToDate.com [21]

Parametr	Prawidłowy zakres
pH	7,35 – 7,45
pCO <sub>2</sub>	35 – 45 mmHg (4,7 – 6,0 kPa)
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	21 – 27 mEq/L
pO <sub>2</sub>	80 – 100 mmHg (10,7 – 13,3 kPa)
SaO <sub>2</sub>	>95 %

Pilcher i wsp. porównując wysycenie tlenem krwi tętniczej zmierzone za pomocą pulsoksymetru (SpO<sub>2</sub>) z SaO<sub>2</sub> wykazali, że u większości dorosłych pacjentów pulsoksymetria stanowi wiarygodne źródło informacji na temat natlenienia krwi. Rozbieżności pomiędzy rzeczywistymi wartościami SpO<sub>2</sub> i SaO<sub>2</sub> mogą mieć jednak wpływ na ocenę i dalsze postępowanie. Podkreślają tym samym konieczność interpretacji tych wyników w kontekście klinicznym [23].

Badanie gazometryczne krwi tętniczej jest jednym z kluczowych badań wykonywanych w warunkach OIT. Jego wyniki precyzyjnie wskazują na stan równowagi kwasowo-zasadowej pacjentów i pomagają w podjęciu decyzji o kierunku dalszego leczenia. Dotyczy to między innymi pacjentów poddawanych respiratoroterapii. Keyal i wsp. wykazali, że na podstawie wyników gazometrycznych można ocenić pacjentów pod kątem bezpiecznej ekstubacji (w szczególności, gdy



procedura ekstubacji może zakończyć się niepowodzeniem pomimo uzyskania pozytywnego wyniku próby spontanicznego oddechu) [24]. Warto wspomnieć, że wynik gazometrii tętniczej, oprócz cennych danych na temat stanu RKZ, może zawierać także informację o stężeniu glukozy we krwi i służyć jako element oceny glikemii u ciężko chorych pacjentów przebywających na oddziałach OIT. Jak wykazali Deng i wsp. stężenia glukozy w krwi tętniczej są istotnie statystycznie wyższe od stężeń glukozy uzyskanych z krwi włosniczkowej przy użyciu glukometru. Jednakże różnica pomiędzy tymi pomiarami jest akceptowalna klinicznie i pacjenci, u których wykonano badanie gazometryczne nie wymagają jednoczesnej kontroli glikemii z krwi włosniczkowej, a co za tym idzie, dalszej traumatyzacji [25].

Wyniki badania przeprowadzonego w Danii przez Zwisler i wsp. wskazują, że wykonanie ABG znacząco poprawia jakość leczenia pacjentów w postępowaniu przedszpitalnym [26]. Podkreślili oni rolę ABG w postępowaniu anestezjologa zespołu szybkiego reagowania (MECU – *anaesthesiologist-manned rapid-response-vehicle*) jako badania skutecznie nakierowującego na przeprowadzenie koniecznych procedur ratujących życie. Nie wykazano jednak, aby ABG zwiększała precyzyjność diagnozy przed przyjęciem do szpitala.

Badania pokazują, że pacjenci trafiający na SOR również odnoszą korzyść z wykonywania tego badania. Dotyczy to między innymi pacjentów z uszkodzeniem płuc powstałym w wyniku tępego urazu klatki piersiowej. Gazometria krwi tętniczej może pomóc w selekcji pacjentów, którzy odniosą potencjalną korzyść z wykonania TK klatki piersiowej [27]. Badanie AGREE autorstwa Boon Y. i wsp. przeprowadzone wśród urazowych pacjentów SOR wskazało na obecność istotnych różnic pomiędzy pomiarami gazometrycznymi krwi żyłnej i tętniczej dla pH i niedoboru zasad, sugerując tym samym, by na potrzebę oceny powyższych parametrów pobierać do badania krew tętniczą. W tym samym badaniu stężenie mleczanów nie wykazało istotnych rozbieżności pomiędzy ABG i VBG, co pozwala stwierdzić, że krew żylna może stanowić substytut dla krwi tętniczej w przypadku pomiaru tego parametru [28].

Warto w niniejszej pracy wspomnieć eksperyment przeprowadzony przez Hong i wsp., którzy wykazali przydatność wykonywania tętniczej gazometrii w trakcie resuscytacji krążeniowo-oddechowej na SOR u pacjentów z pozaszpitalnym nagłym zatrzymaniem krążenia (*ang. Out-Of-Hospital-Cardiac-Arrest* – OHCA).

Zauważyli, że różnice  $pO_2$  we krwi tętniczej ( $\Delta paO_2$ ) pomiędzy dwoma pomiarami gazometrycznymi, z których pierwszy był wykonany po przyjeździe pacjentów do SOR, a drugi 10 minut po rozpoczęciu czynności resuscytacyjnych, pozytywnie korelowały z większą częstością utrzymania przez pacjentów stanu powrotu spontanicznego krążenia (*ang. return of spontaneous circulation* – ROSC). U pacjentów utrzymujących ROSC,  $\Delta paO_2$  była istotnie statystycznie wyższa niż u pacjentów z niepodtrzymanym ROSC. Można więc wywnioskować, że wskaźnik  $\Delta paO_2$ , może być użyty jako niezależna prognostyczna wartość dla utrzymania powrotu spontanicznego krążenia u pacjentów z OHCA [29].

Kolejnym przykładem istotności tętniczego badania gazometrycznego jest sepsa. Jak wykazano, wynik badania gazometrycznego stanowi istotny wskaźnik prognostyczny co do rokowania pacjentów. Zauważono, że największą śmiertelnością ogólną zagrożeni są pacjenci z sepsą i towarzyszącą kwasicią oddechową (44,4%), a niewiele mniejszą ze współistniejącą kwasicią metaboliczną (37,5%) [30].

## Badania przyłóżkowe

Literatura wskazuje na istotną rolę badań przyłóżkowych (*ang. Point-Of-Care Testing* – POCT) w postępowaniu z pacjentem hospitalizowanym. Szybkie testy diagnostyczne wykonywane nad pacjentem w miejscu opieki mogą dostarczyć istotnych informacji o stanie pacjenta i bezpośrednio wpływać na dalsze postępowanie. Pod względem czasu potrzebnego na uzyskanie wyniku, badanie gazometryczne krwi tętniczej przy użyciu analizatora POC (*ang. Point-Of-Care*) jest doskonałą alternatywą do badania wykonywanego przez szpitalne laboratorium. Jak donoszą Krzych i wsp. badanie gazometryczne przy użyciu takiego analizatora jest wskazane zwłaszcza celem wiarygodnej oceny pH krwi tętniczej, gdyż jego wartość jest ściśle związana z czasem realizacji analitycznej (*ang. turnaround time* – TAT; czasem od momentu pobrania próbki do uzyskania wyników badania). Im dłuższy jest ten czas tym wiarygodność pomiaru pH jest mniejsza. Jak zauważyli, czas ten powinien być krótszy niż 39 min. Autorzy wskazują także, że wiarygodność oceny  $pO_2$  we krwi tętniczej przy użyciu analizatora POC jest mniejsza niż w przypadku oceny tego parametru w laboratorium szpitalnym [31].

Badanie przeprowadzone w SOR, w którym porównano wyniki gazometrii włosniczkowej wykonanego

przy użyciu analizatora EPOC (*ang. Enterprise-Point-Of-Care*) z analizatorami referencyjnymi (badającymi krew żylną i tętniczą) u pacjentów z hipotensją pokazały korelację (lub zgodność; zależnie od rodzaju parametru) pomiędzy tymi dwoma metodami w zakresie pomiaru pH, stężeń  $\text{HCO}_3^-$ , wapnia, mleczanów, sodu, potasu, chlorków, glukozy, hemoglobiny, hematokrytu i kreatyniny. W grupie pacjentów z zatrzymaniem krążenia uzyskano podobną zależność w wynikach przy użyciu analizatora EPOC z analizatorami referencyjnymi dla pH, stężeń  $\text{HCO}_3^-$ , wapnia, sodu, potasu, glukozy, hemoglobiny, hematokrytu i kreatyniny. W obu grupach pacjentów zanotowano rozbieżności w wynikach  $\text{pO}_2$  i  $\text{pCO}_2$ . Wyniki tego badania pokazują więc, że analizatory EPOC wykorzystujące krew włósczkową mogą stanowić przydatne narzędzie w identyfikacji odwracalnych przyczyn stanów zagrożenia życia [32].

Prospektywne badanie obserwacyjne sprawdzające rozbieżności w wynikach uzyskanych przy użyciu analizatorów gazometrycznych POCT w porównaniu do wyników z analizatora laboratoryjnego wykazało brak istotnej różnicy statystycznej w stężeniach hemoglobiny (w przeciwieństwie do stężeń sodu i potasu). Autorzy podkreślają, że różnice w wynikach z porównywanych metod pomiaru były ze sobą zgodne w większości sytuacji klinicznych, gdy ich wartości mieściły się w prawidłowym zakresie lub były do niego zbliżone. W związku z tym rutynowe równoczesne wykonywanie badań przy użyciu tych dwóch metod (dla pomiaru stężenia hemoglobiny, sodu i potasu) jest nieuzasadnione [33]. Kolejna praca porównująca wyniki badania gazometrycznego (pH,  $\text{pCO}_2$ ,  $\text{pO}_2$ , mleczany) przy użyciu aparatów POC i aparatury laboratoryjnej (Nova pH Ox plus L<sup>®</sup>) wskazuje na brak istotnych rozbieżności w wynikach stężeń uzyskanych tymi metodami. Wykazano jednak, że wiarygodność aparatów POC może zmaleć przy stężeniu mleczanów większym niż 8 mmol/L, dlatego należy zachować ostrożność w przypadku uzyskania wysokich wartości stężenia mleczanów w POCT [34].

Ostrożność w interpretacji wyników gazometrii przy użyciu analizatorów POC należy zachować także u pacjentów będących dawcami narządów, na co wskazuje badanie przeprowadzone przez Marklin i wsp. [35]. Niektóre z aparatów mogą znacznie niedoszacowywać wartości  $\text{pO}_2$  we krwi tętniczej co przedkłada się zwiększenie ilości płuc zdyskwalifikowanych z tej procedury. Autorzy wykazali, że przy użyciu dokładniejszych analizatorów gazometrycznych

odsetek zakwalifikowanych do przeszczepu płuc był wyższy niż w roku poprzednim, w którym używano sprzętu o niższej dokładności (48 vs 35%) przy porównywalnych wynikach rocznego przetrwania przeszczepionego narządu (97 vs 94%).

Analizatory POC mogą pomóc także w identyfikacji próbek krwi poddawanych badaniu gazometrycznemu krwi, a zagrożonych przypadkowym zafałszowaniem wyników. Badanie przeprowadzone przez Duhalde i wsp. wykazało, że hemoliza (zdefiniowana jako więcej niż 50 mg/dL wolnej hemoglobiny) występowała w 7,9% próbek krwi pobranych do analizy gazometrycznej. Opierając się na literaturze wskazali także na wzrost stężenia potasu, spadek stężenia wapnia, a także spadek  $\text{pO}_2$  oraz wzrost  $\text{pCO}_2$  w zhemolizowanych próbkach poddawanych badaniu gazometrycznemu [36].

## Wnioski

Badanie gazometryczne krwi pozostaje standardem w postępowaniu diagnostyczno-terapeutycznym u pacjentów hospitalizowanych z powodu ciężkiego rozstroju zdrowia. Wybór poszczególnych profili laboratoryjnych badania gazometrycznego krwi powinien być podyktowany wymaganiami jakie stawia przed lekarzem konkretna sytuacja kliniczna. Literatura wskazuje na rosnącą rolę gazometrii krwi żyłnej jako badania o dużej wartości diagnostycznej przy zmniejszonym dyskomforcie pacjenta związanym z procedurą pobrania krwi. Należy również pamiętać, że chociaż POCT umożliwia wykonanie badania gazometrycznego w krótkim czasie, wyniki uzyskane tą metodą nie zawsze są w pełni wiarygodne.

## Dedykacje i podziękowania

Autorzy pragną zadedykować niniejszą pracę ś.p. Michałowi Boguckiemu, studentowi Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie.

Konflikt interesów / Conflict of interest

Brak/None

Adres do korespondencji / Correspondence address

✉ Mikołaj Seostianin

Szpital w Puszczykowie im. Prof. S.T. Dąbrowskiego, ul. Kraszewskiego 11, 62-041 Puszczykowo

☎ (+48 22) 627 39 86

✉ mseostianin@gmail.com

## Piśmiennictwo/References

1. Davis MD, Walsh BK, Sittig SE, Restrepo RD. AARC clinical practice guideline: blood gas analysis and hemoximetry: 2013. *RespirCare*. 2013;58(10):1694-703.
2. CENTRAL VENOUS/MIXED VENOUS OXYGEN SATURATION, London Health Science Centre, Critical Care Trauma Centre. <https://www.lhsc.on.ca/critical-care-trauma-centre/central-venous/mixed-venous-oxygen-saturation>.
3. Malinoski DJ, Todd SR, Slone S, Mullins RJ, Schreiber MA. Correlation of central venous and arterial blood gas measurements in mechanically ventilated trauma patients. *ArchSurg*. 2005;140(11):1122-5.
4. Tavakol K, Ghahramanpoori B, Fararouei M. Prediction of Arterial Blood pH and Partial Pressure of Carbon dioxide from Venous Blood Samples in Patients Receiving Mechanical Ventilation. *J MedSignals Sens*. 2013;3(3):180-4.
5. Golub J, Gorenjak M, Pilinger EŽ, Lešnik A, Markota A. Comparison between arterial and peripheral-venous blood gases analysis in patients with dyspnoea and/or suspected acute respiratory failure. *Eur J Intern Med*. 2020;75:112-3.
6. Chong WH, Saha BK, Medarov BI. Comparing Central Venous Blood Gas to Arterial Blood Gas and Determining Its Utility in Critically Ill Patients: Narrative Review. *AnesthAnalg*. 2021;133(2):374-378.
7. Bloom BM, Grundlingh J, Bestwick JP, Harris T. The role of venous blood gas in the emergency department: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Emerg Med*. 2014;21(2):81-88.
8. Shastri L, Kjærgaard S, Thyrrerstrup PS, Rees SE, Thomsen LP. Is venous blood a more reliable description of acid-base state following simulated hypo- and hyperventilation?. *Scand J Trauma ResuscEmerg Med*. 2021;29(1):35.
9. Coggins AR, Vivekanandamoorthy N, Byth K, et al. Utility of venous blood gases for the assessment of traumatic shock: a prospective observational study. *EmergMed J*. 2021;38(9):711-717.
10. Ekström M, Engblom A, Ilic A, Holthius N, Nordström P, Vaara I. Calculated arterial blood gas values from a venous sample and pulse oximetry: Clinical validation. *PLoS One*. 2019;14(4):e0215413. Published 2019 Apr 12. doi:10.1371/journal.pone.0215413.
11. Weber M, Cave G. Trending peripheral venous PCO<sub>2</sub> in patients with respiratory failure using mathematically arterialised venous blood gas samples. *BMJ Open Respir Res*. 2021;8(1):e000896.
12. Ziegenfuß T, Zander R. Understanding blood gas analysis. *IntensiveCare Med*. 2019;45(11):1684-1685.
13. Thomsen LP, Klein AC, Vitali-Serdoz L, et al. Evaluation of Mathematical Arterialization of Venous Blood in Intensive Care and Pulmonary Ward Patients. *Respiration*. 2021;100(2):164-172.
14. Chauvin A, Javaud N, Ghazali A, et al. Reducing pain by using venous blood gas instead of arterial blood gas (VEINART): a multicenter randomised controlled trial. *EmergMed J*. 2020;37(12):756-761.
15. Santiago Giraldo Gutiérrez D, José Velásquez Gutiérrez J, Octavio Ruiz-Villa J. Cardiac output estimation based on arterial and venous blood gas analysis: proposal of a monitoring method. *AnaesthesiolIntensiveTher*. 2021;53(2):179-183.
16. Nassar B, Badr M, Van Grunderbeek N, et al. Central venous-to-arterial PCO<sub>2</sub> difference as a marker to identify fluid responsiveness in septic shock. *Sci Rep*. 2021;11(1):17256.
17. Kongstad HK, Rosendal CAH, Rasmussen BS, Weinreich UM. Agreement between arterial and non-arterialised fingertip capillary blood gas and acid-base values. *EurClinRespir J*. 2019;6(1):1644892.
18. Collot V, Malinverni S, Haltout J, Schweitzer E, Mols P, Bartiaux M. Agreement between Arterial and Capillary pH, pCO<sub>2</sub>, and Lactate in Patients in the Emergency Department. *EmergMedInt*. 2021;2021:7820041.
19. Wrotek A, Kobiałka M, Jackowska T. Capillary Blood Gas Predicts Risk of Intensive Care in Children with Bronchiolitis. *Children (Basel)*. 2021;8(8):719.
20. Theodore CA. Arterial blood gases. *UpToDate*. [https://www.uptodate.com/contents/arterial-blood-gases?search=blood%20gas%20analysis&source=search\\_result&selectedTitle=1~150&usage\\_type=default&display\\_rank=1](https://www.uptodate.com/contents/arterial-blood-gases?search=blood%20gas%20analysis&source=search_result&selectedTitle=1~150&usage_type=default&display_rank=1).
21. Jankowski M, Szułdrzyński S. Pobieranie krwi tętniczej. *Interna – mały podręcznik*. <https://www.mp.pl/interna/chapter/B16.IV.24.5.3.1>.
22. Oxford Handbook of Clinical and Laboratory Investigation, 4th Edition, Oxford University Press, 2018, ISBN 978-0-19-876653-7.
23. Pilcher J, Ploen L, McKinstry S, et al. A multicentre prospective observational study comparing arterial blood gas values to those obtained by pulse oximeters used in adult patients attending Australian and New Zealand hospitals. *BMC Pulm Med*. 2020;20(1):7.
24. Keyal NK, Amatya R, Shrestha GS, Acharya SP, Shrestha PS, Marhatta MN. Influence of Arterial Blood Gas to Guide Extubation in Intensive Care Unit Patients after Spontaneous Breathing Trial. *J Nepal Health Res Counc*. 2020;18(1):21-26.
25. Deng T, Liu M, Pan L, Jiang K, Li Y. A comparison of arterial blood glucose and peripheral blood glucose levels in critically ill patients: measurements using the arterial blood gas analyzer and the rapid glucose meter. *Ann Palliat Med*. 2021;10(3):3179-3184.
26. Zwisler ST, Zinck Y, Bering CB, Zinck A, Nybo M, Mikkelsen S. Diagnostic value of prehospital arterial blood gas measurements - a randomised controlled trial. *Scand J Trauma ResuscEmerg Med*. 2019;27(1):32.
27. Carlino MV, Guarino M, Izzo A, et al. Arterial blood gas analysis utility in predicting lung injury in blunt chest trauma. *RespirPhysiolNeurobiol*. 2020;274:103363.
28. Boon Y, Kuan WS, Chan YH, Ibrahim I, Chua MT. Agreement between arterial and venous blood gases in trauma resuscitation in emergency department (AGREE). *Eur J Trauma EmergSurg*. 2021;47(2):365-372.



29. Hong SI, Kim JS, Kim YJ, Kim WY. Dynamic changes in arterial blood gas during cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest. *Sci Rep.* 2021;11(1):23165.
30. Mukherjee S, Das S, Mukherjee S, Ghosh PS, Bhattacharya S. Arterial blood gas as a prognostic indicator in patients with sepsis. *Indian J Med Microbiol.* 2020;38(3 & 4):457-460.
31. Krzych L, Wojnarowicz O, Ignacy P, Dorniak J. Be cautious during the interpretation of arterial blood gas analysis performed outside the intensive care unit. *Acta Biochim Pol.* 2020;67(3):353-358.
32. Shin H, Lee I, Kim C, Choi HJ. Point-of-care blood analysis of hypotensive patients in the emergency department. *Am J Emerg Med.* 2020;38(6):1049-1057.
33. Triplett KE, Wibrow BA, Norman R, et al. Can the blood gas analyser results be believed? A prospective multicentre study comparing haemoglobin, sodium and potassium measurements by blood gas analysers and laboratory auto-analysers. *AnaesthIntensiveCare.* 2019;47(2):120-127.
34. Indrasari ND, Wonohutomo JP, Sukartini N. Comparison of point-of-care and central laboratory analyzers for blood gas and lactate measurements. *J Clin Lab Anal.* 2019;33(5):e22885.
35. Marklin GF, Bresler R, Dhar R. Point-of-care blood gas analyzers have an impact on the acceptance of donor lungs for transplantation. *Scand J Clin Lab Invest.* 2020;80(8):623-629.
36. Duhalde H, Skogö J, Karlsson M. Point-of-care hemolysis detection in blood gas specimens directly at the emergency department. *Scand J Clin Lab Invest.* 2019;79(5):283-287.