

Wojciech Gubała

Ocena stanu trzeźwości na podstawie analizy powietrza wydychanego na zawartość alkoholu

Palestra 38/3-4(435-436), 30-35

1994

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

Ocena stanu trzeźwości na podstawie analizy powietrza wydychanego na zawartość alkoholu

Po spożyciu alkoholu można wyróżnić trzy etapy jego przemian w organizmie:

1. Fazę wchłaniania, która rozpoczyna się natychmiast po jego spożyciu. Najważniejszymi parametrami tej fazy jest najwyższe (szczytowe) stężenie alkoholu we krwi i czas niezbędny do jego osiągnięcia. Punkt, w którym występuje najwyższe stężenie oznacza najczęściej zmianę z rosnącego na malejące stężenie alkoholu we krwi. Czas ten dla dawki jednorazowej wynosi od 14 do 138 min., a zatem czas najdłuższy jest prawie dziesięciokrotnie większy od najkrótszego. Średnie czasy dla kobiet i mężczyzn wynoszą odpowiednio 42 i 57 min. Maksymalne stężenie alkoholu we krwi występujące po spożyciu wagowo identycznych dawek alkoholu zazwyczaj także różni się 2 do 3 razy, nawet w przypadku jednorodnej populacji i identycznych warunków doświadczalnych (Dubowski, O'Neil)¹.

2. Fazę dystrybucji alkoholu często nazywaną wyrównaniem stężeń w tkankach i płynach ustrojowych.

3. Fazę eliminacji alkoholu, która zasadniczo następuje poprzez enzymatyczne utlenianie w wątrobie, a także w niewielkim stopniu przez utlenianie nie wątrobowe i nieznaczne wydalanie alkoholu w postaci niezmienniczej z mo-

czem, powietrzem wydychanym i potem (Hankus). Należy zaznaczyć, że szybkość eliminacji alkoholu z krwi nie odzwierciedla bezpośrednio i wyłącznie metabolizmu alkoholu. Zmiany stężeń są też częściowo wynikiem wydalania alkoholu z moczem, powietrzem wydychanym, potem, śliną i łzami.

W celu lepszego zrozumienia istoty analizy powietrza wydychanego na zawartość alkoholu należy przypomnieć fizjologię wymiany gazowej w układzie oddechowym.

W wyniku przepływu powietrza przez drogi oddechowe, jego temperatura w momencie opuszczenia ust wynosi około 34,5°C. W trakcie normalnego oddychania występuje równowaga stężeń par alkoholu w wydychanym powietrzu i śluzie dróg oddechowych. Może ona jednak ulec zaburzeniu na skutek nieprawidłowego sposobu oddychania lub ekstremalnych zmian w temperaturze i wilgotności otaczającego powietrza. Możliwość rozpuszczania się par alkoholu w śluzie dróg oddechowych w trakcie wydechu jest jedną z przyczyn występowania rozbieżności w wartościach współczynnika podziału krew/powietrze wydychane.

Wymiana gazów następuje w miąższu płuc składającym się z oskrzelików oddechowych, przewodów pęcherzy-

kowych i pęcherzyków. Pęcherzyki płu-
cne są to małe rozdęcia końcowych
odcinków dróg oddechowych, zbudowa-
ne tylko z jednej warstwy cienkiego
nabłonka oddechowego, oplecione gę-
stą siecią włosowatych naczyń krwio-
nośnych i elastycznych włókien tkanki
łącznej. Tworzą one powierzchnię od-
dechową około 70 m², która jest wy-
starczająco duża i przepuszczalna, aby
przedyfundowała przez nią każda ilość
dwutlenku węgla i tlenu, jaką doprowa-
dza krew żylna i powietrze oddechowe.
Właściwą powierzchnię wymiany ga-
zów u człowieka stanowi ta część pęche-
rzyków płucnych, która przylega do
ścian naczyń włosowatych, powstałych
z rozgałęzienia tętnicy płucnej. Prze-
chodzenie alkoholu z krwi do powie-
rza wydychanego następuje na tej samej
drodze, co wymiana gazowa.

Budowa anatomiczna oraz fizjologia
płuc zapewniają wystarczającą wymia-
nę gazową, aby móc przyjąć, że równo-
waga stężeń alkoholu we krwi i powie-
rzu w pęcherzykach płucnych pojawia
się natychmiast. Stężenie alkoholu
w powietrzu wydychanym jest nieco
niższe, aniżeli w powietrzu znajdującym
się w pęcherzykach płucnych. Zachodzące
procesy ogrzewania i oziębiania
powietrza wydychanego przechodzącego
przez drogi oddechowe powodują
wystąpienie zmiennej równowagi
stężeń alkoholu zawartego w tym
powietrzu, a warstwą śluzu. Na tej pod-
stawie można wyjaśnić szeroki zakres
wartości współczynnika podziału etano-
lu dla środowiska krew/powietrze
wydychane, zaobserwowany u człowie-
ka.

Ogólnie znany jest fakt, że nieznac-
na ilość alkoholu jest wydalana z po-

wietrzem wydychanym w formie nie-
zmienionej. Woń alkoholu w powietrzu
wydychanym wyczuwalna powonie-
niem była najprostszym testem na
stwierdzenie jego spożycia. Dopiero
pod koniec dziewiętnastego wieku za-
częły się pojawiać ilościowe metody
oznaczania zawartości alkoholu w pły-
nach ustrojowych.

W pracach dotyczących analizy po-
wietrza wydychanego na zawartość al-
koholu dla celów sądowych często po-
woływane jest prawo Henry'ego z 1803
r., dotyczące wpływu ciśnienia, objęto-
ści i temperatury na rozpuszczalność
gazów w cieczach ustalonych.

Analiza obecności alkoholu w po-
wietrzu wydychanym przeprowadzona
u człowieka dotyczy procesu dynamicz-
nej wymiany gazu, która nie tylko
związana jest z jego dyfuzją przez mem-
brany pęcherzyków płucnych, ale także
z wymianą w drogach oddechowych
w trakcie oddychania w układzie po-
wietrze i woda w śluzie. Objaśnienie
zatem zachodzącego procesu na pod-
stawie prawa Henry'ego jest znacznym
uproszczeniem. W 1910 r. brytyjski
farmakolog A.R. Gushng stwierdził, że
„Wydalenie lotnych substancji z płuc
jest analogiczne do ich wyparowywania
z roztworów w wodzie, a komórki płuc
zachowują się często pasywnie w tym
procesie”.

Pierwszym, który zaproponował
oznaczanie alkoholu w powietrzu wy-
dychanym dla celów sądowo-lekar-
skich był w 1927 roku Bogen. Pionier-
skie prace dotyczące fizjologicznych
zasad pomiaru stężenia alkoholu w po-
wietrzu wydychanym zostały opraco-
wane przez dwóch szwedzkich uczo-
nych Liljestrand i Linde w 1930 r.²

Badali oni rozmieszczenie alkoholu w układzie krew i powietrze przy różnych temperaturach. Stwierdzili oni, że stężenie alkoholu we krwi jest zbliżone do wartości uzyskanej z pomnożenia stężenia alkoholu w powietrzu wydychanym pochodzącym z pęcherzyków płucnych przez liczbę 2000. Jednakże jest oczywiste, że nie może istnieć uniwersalny stały współczynnik podziału etanolu dla układu krew/powietrze wydychane, który byłby wykorzystywany we wszystkich warunkach testowania. Wartości tego współczynnika uzyskane doświadczalnie wykazują zmienności między- i wewnątrzosobnicze, zależne między innymi od rodzaju analizowanej próby krwi. Istotne jest, czy bada się krew tętniczą czy też żylną. Jedną z możliwości opisanie procesu wchłaniania jest przyjęcie, że przebiega on w dwóch etapach. Pierwszy, polegający na przenikaniu alkoholu z przewodu pokarmowego do krwiobiegu (krew tętnicza); drugi na rozmieszczeniu w tkankach (Mattil)³. W związku z tym w fazie wchłaniania stężenie alkoholu będzie wyższe w krwi tętniczej (zmierzone poprzez analizę powietrza wydychanego), aniżeli w równoległe pobranej próbce krwi żyłnej. Istotne znaczenie ma także technika pobierania próby powietrza do analizy (końcowa faza wydechu, wydech mieszany) oraz specyficzność i precyzja metod analitycznych stosowanych do oznaczania alkoholu we krwi i powietrzu wydychanym. Powszechnie używany dla potrzeb sądowych współczynnik podziału dla układu krew/powietrze wydychane wynoszący 2100:1, może być traktowany jako rozwiązanie kompromisowe. Zakres współczynnika podziału etanolu w

układzie krew/powietrze wydychane może wynosić od 1800:1 przy temperaturze 37°C do 2586:1 dla temperatury 34°C. Przy zastosowaniu urządzeń do analizy powietrza wydychanego na zawartość alkoholu w celach klinicznych i sądowych, musi być uwzględnione wiele czynników fizjologicznych. Liczba ich może ulec znacznemu zredukowaniu względnie mogą one powstawać niejako pod kontrolą, pod warunkiem standaryzowania stosownych urządzeń oraz przestrzegania wymogów instrukcji ich użytkowania. Ponadto niektóre analizatory ostatniej generacji posiadają elektroniczne układy umożliwiające kontrolowanie zachodzących zmian temperatury, objętości wydychanego powietrza oraz stężenie alkoholu w trakcie trwania wydechu.

Stężenie alkoholu w różnych częściach układu naczyniowego, jak tętnice, żyły i kapilary nie jest jednakowe, a różnice zależą w dużym stopniu od fazy jego przemian (wchłanianie, eliminacja) w ustroju w momencie pobierania prób. Stężenie alkoholu w powietrzu wydychanym odzwierciedla jego stężenie we krwi tętniczej. Szeroko stosowany współczynnik 2100:1 dla układu krew/powietrze wydychane został wyznaczony doświadczalnie przez analizę końcowej fazy wydechu i porównanie ze stężeniem we krwi żyłnej w fazie eliminacji. Różnice występujące między stężeniem alkoholu we krwi tętniczej, a obliczonym stężeniem we krwi żyłnej na podstawie stężenia alkoholu w powietrzu wydychanym są przedmiotem wielu dyskusji. Należy zaznaczyć, że bardziej miarodajnym wskaźnikiem narażenia mózgu na alkohol (zaburzenia psychomotoryczne)

jest jego stężenie stwierdzone we krwi tętniczej poprzez analizę powietrza wydychanego, aniżeli wykazane w równolegle pobranej próbie krwi żyłnej. Zostało stwierdzone, że na etapie fazy wchłaniania stężenie alkoholu we krwi żyłnej jest niższe w stosunku do stężenia we krwi tętniczej. Wyrównanie stężeń alkoholu w obu rodzajach krwi obserwujemy dopiero po osiągnięciu równowagi stężeń w tkankach ciała. Większość analizatorów powietrza wydychanego jest kalibrowana w ten sposób, aby wprost uzyskać stężenie alkoholu we krwi. Wykorzystuje się w tym celu współczynnik przeliczeniowy wynoszący 2100. Powoduje to, że jest niemożliwe uzyskanie całkowitej zgodności między stężeniem alkoholu we krwi żyłnej i wynikiem równoczesnego pomiaru alkoholu w wydechu we wszystkich fazach przemian etanolu w ustroju. Jest zrozumiałe, że różnice będą zależne od fazy przemian, w której dokonano pomiarów. Współczynnik przeliczeniowy 2100 jest porównywalny dla stężenia alkoholu we krwi żyłnej w fazie eliminacji, natomiast 2300 dla fazy wchłaniania.

Większość kierujących po spożyciu alkoholu jest zatrzymywana na etapie jego eliminacji z ustroju, kiedy współczynnik przeliczeniowy 2100:1 daje zdecydowanie lepszą korelację ze stężeniem alkoholu we krwi.

W wielu krajach europejskich i pozaeuropejskich z wieloletnim doświadczeniem w badaniu trzeźwości za pomocą analizy powietrza wydychanego, miarą wielkości wpływu alkoholu na kierowcę jest bezpośrednio jego stężenie w powietrzu wydychanym. Przewiduje to także ustawa „O wychowaniu w trzeź-

wości”, która obecność alkoholu w powietrzu wydychanym w stężeniu od 0,1 mg do 0,25 mg w 1 dm³ uznaje za stan po użyciu alkoholu, natomiast powyżej 0,25 mg/dm³ – za stan nietrzeźwości. Wprowadzenie do praktyki takiego rozwiązania eliminuje wszelkie wątpliwości wynikające z zastosowania współczynników przeliczeniowych, na podstawie których z zawartości alkoholu w powietrzu pochodzącym z pęcherzyków płucnych określa się stężenie alkoholu we krwi.

Nie bez znaczenia pozostaje wpływ temperatury i wilgotności otaczającego powietrza na wyniki ilościowego badania stężenia alkoholu w powietrzu wydychanym. Obserwuje się zmiany stężenia alkoholu w powietrzu wydychanym, jeżeli oddychanie będzie odbywało się w podwyższonej lub obniżonej temperaturze. W miarę możliwości aparaty powinny być używane w stałej temperaturze i wilgotności. Jones (1982 r.^{4,5,6}) badał wpływ ekstremalnych zmian temperatury i wilgotności na stężenie alkoholu w wydychanym powietrzu. Oddychanie zimnym suchym powietrzem lub zimnym wilgotnym powodowało obniżenie stężenia alkoholu w wydechu o 10 procent. Przyczyną tego może być oziębienie dróg oddechowych. Wydychane powietrze opuszczając usta ulega oziębieniu poniżej normalnej temperatury ciała, powoduje to obniżenie stężenia alkoholu w wydechu. Oziębienie to wynika z oddawania ciepła wodzie i śluzowi zawartemu w drogach oddechowych. Oddychanie powietrzem wysyconym wilgotnością w temperaturze wyższej niż 37°C prowadzi do kondensacji par na śluzie i do usunięcia części alkoholu z wydychane-

go powietrza pochodzącego z pęcherzyków płucnych.

Sposób dmuchania przez badanego może znacząco zmienić stężenie alkoholu w powietrzu wydychanym. (Schoknecht 1989)⁷. Efekt hiperwentylacji, duża częstotliwość głębokich oddechów, bezpośrednio przed testem, była przedmiotem badań. (Mulder, Neuteboom 1987, Normann 1988)^{8,9}. Taki sposób oddychania może zaniżyć stężenie alkoholu w wydechu do około 20 procent w porównaniu z pojedynczym oddechem. Zatrzymanie oddechu przez krótki czas (20 sekund) podnosi stężenie alkoholu w wydychanym powietrzu o około 15 procent. Całkowita zmiana stężenia alkoholu przy hipo- i hiperwentylacji może być większa niż 20 procent.

Schorzenia płuc z pewnością będą wpływać na wielkość i zmienność niektórych parametrów oddychania. Wpływ zmian patologicznych na stężenie alkoholu w powietrzu wydychanym musi być oceniany w sposób indywidualny. Należy jednak zaznaczyć, że wyniki takich badań stanowią bardzo trudny materiał do interpretacji. Między innymi wiąże się to ze zmianami współczynnika podziału alkoholu między krew a wydech (Jones 1983)¹⁰.

Należy zwrócić uwagę, że w przypadku analizy stężenia alkoholu w powietrzu wydychanym z górnych dróg oddechowych mamy do czynienia z powietrzem zalegającym w tzw. martwej przestrzeni płuc. Stężenie alkoholu jest mniejsze i wynosi 65 procent stężenia alkoholu mierzonego w końcowej fazie wydechu, które pochodzi z pęcherzyków płucnych. Obserwacja ta nie jest jeszcze całkowicie rozpoznana, ale można wnioskować, że jest konsekwencją

wysokiej rozpuszczalności alkoholu na powierzchni śluzu ust i górnych dróg oddechowych. Z drugiej strony alkohol zawsze ma tendencje do dyfuzji ze śluzu do powietrza martwej przestrzeni.

Przy stosowaniu analizy powietrza wydychanego na zawartość alkoholu musimy mieć pewność, że badany zakończył konsumpcję alkoholu nie później niż 15–20 minut przed badaniem. Czas ten jest niezbędny, aby alkohol będący w wysokiej dyspersji w ślinie i warstwie śluzowej uległ zanikowi. Stężenie alkoholu w piwie, winie i wódkach jest przecież wielokrotnie większe aniżeli spotykane we krwi i powietrzu wydychanym. Jeżeli badanie zostanie przeprowadzone zbyt wcześnie po zakończeniu picia, występuje ryzyko obecności w powietrzu wydychanym pozostałości alkoholu. W konsekwencji prowadzi to do fałszywie wysokich odczytów. Badanie wykazuje, że okres 15–20 minut jest wystarczający dla zaniku alkoholu zalegającego w ustach.

Prostym sposobem kontroli obecności alkoholu w jamie ustnej jest wykonanie dwukrotnego pomiaru powietrza wydychanego w odstępie 15 minut. Przy badaniach przeprowadzonych bezpośrednio po wypiciu alkoholu jego stężenie w ślinie i śluzie jamy ustnej opada gwałtownie. Jeżeli wartości pojedynczych prób z podwójnych oznaczeń wykazują zgodność lub jeżeli drugi wynik jest wyższy od pierwszego, wówczas można wykluczyć obecność alkoholu reszkowego. Niektóre analizatory nowej generacji (Alcomat, Alcotest 7110) mają możliwość kontrolowania zmian stężenia alkoholu w czasie pojedynczego wydechu oraz wskazują na obecność tzw. alkoholu zalegającego. Przepro-

wadzano również szereg badań dotyczących wpływu powracającej do jamy ustnej zawartości żołądka i wywołanych z tego powodu zaburzeń pomiaru. Wyniki badań wskazują, że na przykład zaburzenia wywołane tzw. odbijaniem normują się po kilku minutach. Należy jednak liczyć się z możliwościami podjęcia prób przez badanego polegających na unieważnieniu wyniku badania przez powołanie się na fakt odbicia tuż przed pomiarem. W związku z tym operator analizatora musi

zwracać baczność uwagę na badanego i zauważyć każdy ruch ciała lub nietypowe zachowanie przed testem.

Na zakończenie należy stwierdzić, że analiza powietrza wydychanego na zawartość alkoholu może w wielu przypadkach zastąpić laboratoryjną analizę prób krwi. Uzyskanie prawidłowego, miarodajnego wyniku wymaga współpracy ze strony badanego (odpowiedni wydech) oraz znajomości podstawowych zasad wykonywania pomiaru przez prowadzącego badanie.

Wybór piśmiennictwa:

¹ Dubowski K.M., O'Neil B.: *The blood/ breath ratio of alcohol*, „Clinical Chemistry” nr 25, 1144, 1979.

² Liljestrand G., Linde P.: *Über die Ausscheidung des Alkohols mit der Expirationsluft*, „Scandinavischen Archiv für Physiolog” nr 40, 273–298, 1930.

³ Mattil: *Die Alkoholblutprobe*. Erich Schmidt Verlag 1956.

⁴ Jones A.W.: *Effects of temperature and humidity of inhaled air on the concentration of ethanol in a man's exhaled breath*. „Clinical Science” nr 63, 441–445, 1982.

⁵ Jones A.W.: *Quantitative measurements of the alcohol concentration and the temperature of breath during a prolonged exhalation*, „Acta Physiologica Scandinavica”, nr 114, 407–412, 1982.

⁶ Jones A.W.: *How breathing technique can influence the results of breath alcohol analysis*, „Medicine Science and Law” nr 22, 275–280, 1982.

⁷ Schoknecht G., Kophamel B., Barduhn B.: *Temperaturmessung bei der Atemalkoholanalyse*, „Blutalkohol” nr 26, 137–149, 1989.

⁸ Mulder J.A.G., Neuteboom W.: *The effects of hypo- and hyperventilation on breath alcohol measurements*, „Blutalkohol” nr 24, 341–346, 1987.

⁹ Normann P.T., Olsen H., Sakshaug J., Morland J.: *Measurement of ethanol by Alcomat breath analyzer: Chemical specificity and the influence of lung function, breathing technique and environmental temperature*, „Blutalkohol” nr 25, 153–162, 1988.

¹⁰ Jones A.W.: *Determination of liquid/air partition coefficients for dilute solutions of ethanol in water, whole blood and plasma*, „Journal of Analytical Toxicology”, nr 7, 193–197, 1983.