

# FIZJOLOGIA I FIZJOPATOLOGIA

MARIAN PYTASZ

## Ukrwienie a czynność nerek

Katedra Fizjologii Zwierząt Wydziału Weterynarii WSR w Lublinie  
Kierownik: prof. dr M. PYTASZ

W większości narządów (wątroba, serce, płuca, naczynia krwionośne) istnieją dwa rodzaje krążenia — krążenie tzw. czynnościowe oraz krążenie odżywcze, np. krążenie wieńcowe w sercu, oskrzelowe w płucach, tętnicy wątrobowej w wątrobie, *vasa vasorum* w naczyniach. Zmiany w krążeniu własnym narządu w niewielkim tylko stopniu (za wyjątkiem serca) wpływają bezpośrednio na funkcjonowanie innych narządów i tkanek, szczególnie w początkowym okresie ich powstawania. Inaczej jest w nerkach. W zasadzie nerki nie posiadają naczyń własnych, poza drobnymi naczyniami unaczyniającymi torebkę włóknistą i tłuszczową, wnękę nerki i moczowód. Krew odżywcza dostarczana jest do nerek tymi samymi naczyniami, którymi dopływa krew czynnościowa. Konsekwencją tego faktu jest to, że wszelkie zaburzenia w ukrwieniu nerek łączą się w sposób bardzo wyraźny nie tylko z zaburzeniami ich czynności, ale również wpływają (bezpośrednio bądź pośrednio) na czynność innych narządów, w pierwszym rzędzie na czynność narządu krążenia. Podobnie ściśle powiązania obserwujemy tylko w odniesieniu do krążenia mózgowego i wieńcowego.

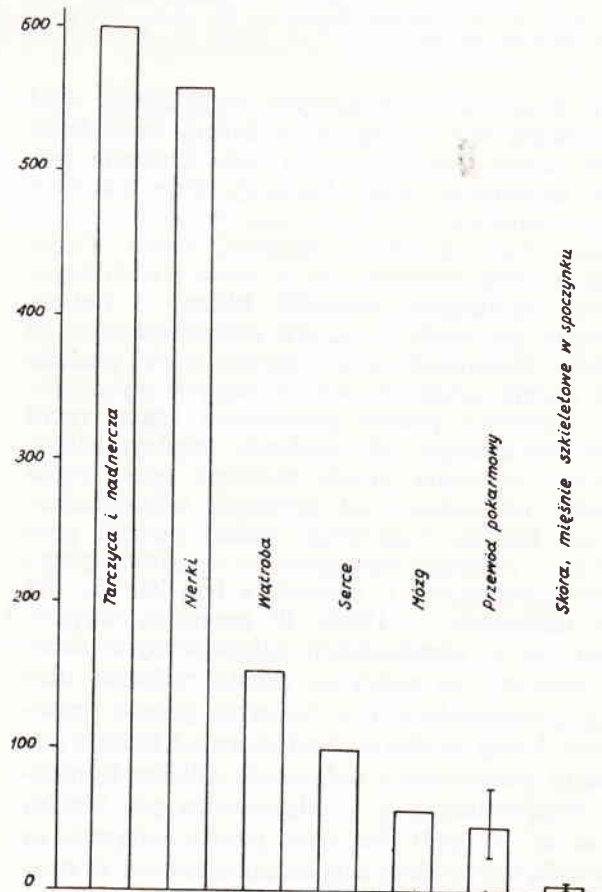
Ten ścisły związek stwarza trudności dla badacza, zarówno w przeprowadzaniu doświadczeń, ich interpretacji oraz w wyjaśnianiu mechanizmów reakcji nerkowych. Jest bardzo trudne, a czasami niemożliwe oddzielenie bezpośrednich wpływów jakichś czynników np. na funkcję komórek kanalików od ich wpływów pośrednich poprzez zmiany hemodynamiki nerek. Odnosi się to szczególnie do substancji, które wywierają wybitne działanie nie tylko na nerki, ale również i na inne narządy, zwłaszcza na narząd krążenia. Takimi substancjami są np. neurohormony.

Krążenie w nerce jest doskonale przystosowane do funkcji wydalniczej tego narządu, którego struktura i funkcja są ze sobą najściślej zespolone. Bezpośredni wpływ krążenia na czynność nerek, wzajemne przeplatające się oddziaływanie z krążeniem ogólnym, specyfika krążenia nerkowego sprawiają, że sprawy te były i wciąż jeszcze są przedmiotem żywego zainteresowania fizjologa oraz lekarza praktyka. Dlatego też w opisie zjawisk krążenia w nerce wydaje się bardziej celowe zwrócenie uwagi na cechy dla tego krążenia charakterystyczne, na jego strukturalną i czynnościową odrębność w porównaniu z krążeniem w innych

narządach, niż dokładne przedstawienie szczegółów hemodynamiki nerkowej.

W krążeniu nerkowym można osobno rozpatrywać krążenie kłębkowe i krążenie kanalikowe. Krążenie kłębkowe jest charakterystyczne przez swoją sieć dziwną tętniczko-tętniczą. Krew po przejściu przez sieć kapilarów kłębka pozostaje niezmieniona, jeśli chodzi o zawartość w niej tlenu. Drugą cechą charakterystyczną tego krążenia jest bardzo wysokie ciśnienie hydrostatyczne krwi w naczyniach włosowatych kłębka, wynoszące ok. 70% średniego ciśnienia tętniczego, a więc ok. 60–70 mm Hg. Tak wysokiego ciśnienia nie spotyka się poza nerką w żadnych innych naczyniach włosowatych organizmu. Wysokie ciśnienie utrzymywane jest dzięki temu, że średnica naczyń odprowadzających kłębka jest mniejsza niż średnica naczyń doprowadzających. Doty-

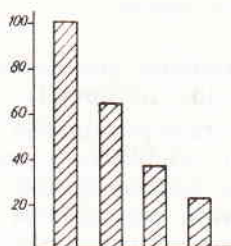
ml krwi (1 min) 100 g tkanki



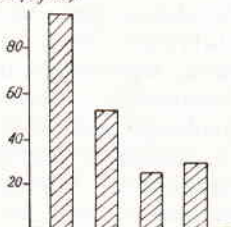
Ryc. 1. Przepływ krwi przez nerki i przez inne tkanki.

czy to kłębków warstwy korowej nerek. W warstwie przyrdzeniowej średnica obu tych naczyń jest mniej więcej taka sama, albo nawet przekrój naczyń odprowadzających jest nieco większy niż doprowadzających.

Ryc. 2A Diureza (% w stosunku do wyjściowej)



B. Przepływ krwi przez nerkę wyliczony z C-PAH (% w stosunku do bezpośrednich pomiarów przepływu)



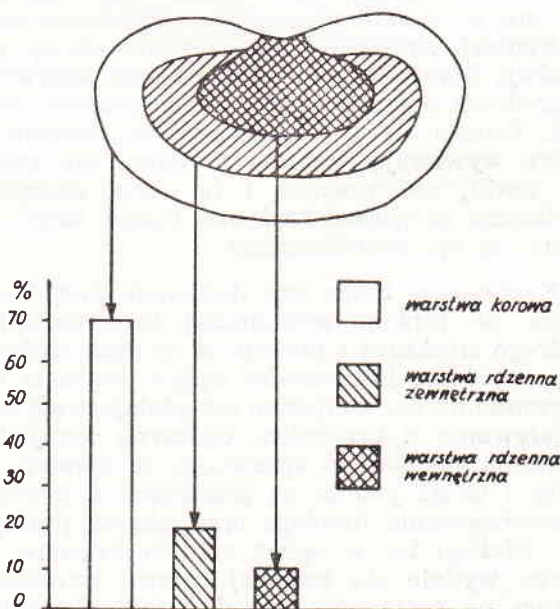
Ryc. 2. Wskazania przepływu krwi wyliczonego z C-PAH przy różnej diurezie: A. Zmiany diurezy w % w stosunku do diurezy wyjściowej przyjętej jako 100%. B. Wskazania przepływu krwi przez nerki wyliczonego z C-PAH w stosunku do rzeczywistego przepływu mierzonego metodą bezpośrednią; np. przy spadku diurezy do 60% wyjściowej przepływ nerkowy wyliczony z C-PAH wynosi ok. 55% tego, co płynie przez nerkę w rzeczywistości.

W krążeniu kanalikowym wyróżniamy sieć włosowatą tętniczo-żylną, w której krew traci część tlenu. Szczyfocenne dla tego krążenia jest inne ukrwienie części korowej, inne warstwy przyrdzeniowej, o czym już wspomniano, a jeszcze inne warstwy rdzennej nerek. Część korowa zaopatrywana jest w krew z sieci kapilarnej oplatającej kanaliki bliższe i dalsze, biorącej początek z naczyń odprowadzających kłębka. Natomiast część rdzenna nerki posiada sieć naczyń prostych, wśród których wyróżniamy naczynia proste prawdziwe (*vasa recta vera*) odchodzące od tętniczek międzyzrazikowych i naczynia proste rzekome (*vasa recta spuria*) odchodzące od tętniczek odprowadzających kłębka. Ten drugi rodzaj naczyń prostych — rzekomo występuje w warstwie przyrdzeniowej nerki. U człowieka jest ich ok. 180 tys. (Edwards — 1956). W pewnych wypadkach, np. w przypadkach patologicznych może się zdarzyć, że naczynia proste rzekome ulegają przekształceniu w naczynia proste prawdziwe, kiedy zanika sieć włosowata kłębka i powstaje bezpośrednie połączenie między tętniczką doprowadzającą a odprowadzającą kłębka (Gömöri — 1963). Naczynia proste związane są z ważną czynnością zagęszczania moczu w nerce, której mechanizm wyjaśnia teoria przeciwpłądowa Wirtza (1957).

W nerkach, tak jak w innych narządach, istnieją również anastomozy tętniczo-żylnie, wykazane z całą pewnością u psa i człowieka (Serrato — 1962, Pipper — 1955). Nie odgrywają one jednak roli w warunkach fizjologicznych, gdyż wykazano, że normalnie przechodzi przez nie, nie więcej niż 1,5% kuleczek o średnicy ok. 15—19 mikronów (z tętnicy do żyły nerkowej). Anastomozy otwierają się jedynie w pewnych stanach: niedotlenienie nerek (hipoksja, skrwawianie), czy po infuzji albumin do tętnicy nerkowej (Gömöri — 1964).

Ciśnienie w całym łożysku naczyniowym nerki, poza naczyniami kłębka, jest w zasadzie podobne jak ciśnienie w analogicznych obszarach krążenia w innych narządach. W tętniczkach odprowadzających wynosi ono np. 25—30 mm Hg, w kapilarach okołokanalikowych mniej więcej 16—18 mm Hg, tyle samo w przybliżeniu w naczyniach prostych. W żyłach nerkowych spada do ok. 6 mm Hg.

Ilość krwi, która przepływa przez nerki od dawna budziła zdumienie swoją wielkością. Warto zaznaczyć, że wielkości podawane przez różnych autorów znacznie się między sobą różnią. Wymieniane są bowiem cyfry od 0,5 do ponad 10,0 ml na 1 min. na 1 g tkanki nerkowej (Landergren i Tiegerstedt — 1893, i Rein — 1928, Roads i wsp. — 1931). Ostatecznie na podstawie pomiarów bezpośrednich, jak również przy użyciu metod klirensowych ustalono, że ilość przepływającej krwi przez nerki psa, królika i człowieka wynosi 3,5—5,0 ml/min/g (Pytasz — 1958, Hinshaw — 1964, Scott — 1965), co w przeliczeniu na człowieka czyni średnio ok. 1700 l krwi przepływającej przez obie nerki w ciągu doby. U innych gatunków zwierząt przepływy różnią się bardziej między

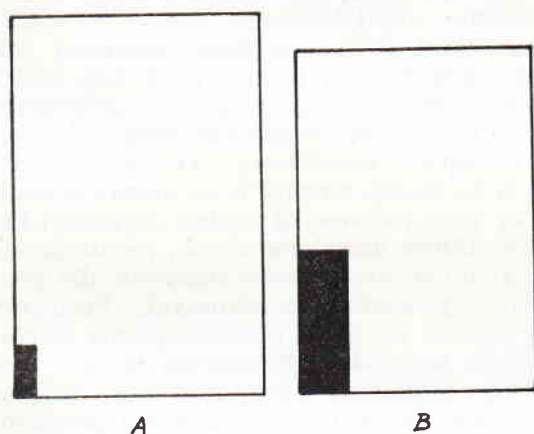


Ryc. 3. Ukrwienie różnych części nerek.



sobą i wahania gatunkowe wynoszą 2,0—7,1 ml/min/g. Przeliczając to na stosunki ludzkie otrzymujemy przepływ wynoszący 900—3000 l na dobę. Warto tutaj zwrócić uwagę na mały, w porównaniu z innymi gatunkami przepływ nerkowy u świni, która wytwarza mocz bardziej rozcieńczony w porównaniu z moczem innych zwierząt domowych i człowieka. Sprawy te są dość istotne z uwagi na traktowanie świni jako ewentualnego w przyszłości dawcy narządów, w tym również i nerek, do przeszczepień dla człowieka.

- A. Waga nerki   
 Waga całego ciała
- B. Zużycie tlenu w nerkach   
 Ogólne zużycie tlenu



Ryc. 4.

Porównanie wagi nerek i zużycia tlenu w nerkach z wagą całego ciała i ogólnym zużyciem tlenu u człowieka

Przez nerkę przepływa więc w minucie 1/4—1/3 krwi wyrzucanej przez serce, tak że nerkowy przepływ minutowy przewyższa 5-krotnie wagę samego narządu. Poza gruczołami wewnątrz-wydzielniczymi nerki są najlepiej ukrwionym narządem w organizmie, otrzymując w minucie w przeliczeniu na jednostkę wagi 140 razy więcej krwi niż skóra czy mięśnie szkieletowe w stanie spoczynku, 10—20 razy więcej krwi niż przewód pokarmowy, 10-krotnie więcej w porównaniu z mózgiem, a nawet 4—5 razy więcej niż wątroba lub mięsień sercowy — ryc. 1. Jedynie takie gruczoły jak tarczyca czy nadnercza otrzymują w przybliżeniu podobną ilość krwi (na jednostkę wagi), bo zaledwie o 1/10 więcej niż nerki. Na zakończenie niniejszych rozważań na temat przepływu nerkowego wydaje się słuszne podkreślić, że rezultaty badań przepływu nerkowego otrzymane przy pomocy metod pośrednich np. z kli-

rensu PAH wiernie oddają rzeczywistość wtedy, kiedy diureza nie odbiega w istotniejszy sposób od normy. Znacznie pewniejsze wyniki otrzymuje się, jeśli badane jest jednocześnie stężenie PAH nie tylko w moczu i we krwi żyłnej obwodowej, ale we krwi żyłnej i tętniczej nerkowej (ekstrakcja PAH). Ocena nerkowego przepływu wyłącznie z C-PAH może być czasami bardzo zawodna (Balint — 1966, Pytasz — 1965). Dotyczy to stanów znacznego wzrostu, a szczególnie znacznego zmniejszenia ilości wytwarzanego moczu w porównaniu z normą. Rozbieżności między wartościami klirensowymi a rzeczywistym przepływem nerkowym (mierzonym metodami bezpośrednimi) mogą być bardzo duże. Np. w stanach oligurii pomiary klirensowe mogą wykazywać tylko 1/3—1/2 rzeczywistego przepływu — ryc. 2.

Rozmieszczenie krwi przepływającej przez nerkę między warstwą korową i rdzenną nie jest jednakowe. Najwięcej, bo 65—75% krwi otrzymuje część korowa nerek a 25—35% część rdzenna, z czego ok. 20% przypada na warstwę zewnętrzną rdzenną, a tylko 10—15% na warstwę rdzenną wewnętrzną i brodawkę nerki — ryc. 3. Podane wartości odnoszą się tylko do stanów normalnego nawodnienia nerek i zmieniają się wtedy, kiedy nawodnienie ulega zmianie. W stanach hydremii rośnie ilość krwi przepływającej przez część rdzenną nerki, z tym jednak że nie przekracza ona 50% całej przepływającej krwi.

Nasuwa się pytanie jaka jest rola i biologiczny sens tak dużego nerkowego przepływu. Z jednej strony może on dostarczać dużych ilości substancji, które mają być ostatecznie wydalane do moczu: z drugiej może chodzić o dostarczenie znacznych ilości tlenu i energii dla procesów metabolicznych, które w nerkach są niezmiernie intensywne.

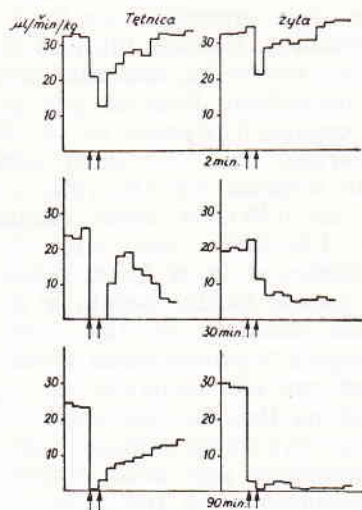
Odpowiedź na te problemy może dać analiza stopnia wykorzystania tlenu w nerkach, biorąc pod uwagę jego zawartość we krwi tętniczej i żyłnej nerkowej. Różnica tętniczo-żylna krwi nerkowej jest niewielka, znacznie mniejsza niż w innych narządach. Podczas gdy przeciętnie w innych organach wynosi ok. 4—5% (przeciętna zawartość tlenu we krwi tętniczej nie jest zwykle większa niż 18—19%, a we krwi żyłnej ok. 13—14%). W nerce różnica ta nie przekracza 1,0—2,5%, jest więc 2—3 razy mniejsza, ponieważ krew żylna odpływająca z nerek jest jeszcze bardzo bogata w tlen, którego zawartość dochodzi do 16,5—18%. Z racji niskiego stopnia wykorzystania tlenu może się na pierwszy rzut oka wydawać, że zapotrzebowanie nerek na tlen nie jest wielkie. Tak jednak nie jest, gdyż mimo słabego wykorzystania tlenu, bezwzględne jego ilości zużywane przez nerki w przeliczeniu na 100 g tkanki są duże, wielokrotnie większe niż przeciętne zużycie tlenu w całym organizmie — ryc. 4. Duże zużycie tlenu wskazuje jasno na bardzo intensywny

metabolizm tkanki nerkowej, czego ilustracją może być następujące wyliczenie. Z różnicy tętniczo-żylną (ok. 1,5%) i ilości przepływającej przez nerki krwi (ok. 1,5 l na 1 min) można wyliczyć, że obie nerki u człowieka zużywają ponad 22 ml tlenu na minutę, a więc przeszło 30 l na dobę (1,5 l krwi  $\times$  15 ml  $O_2$  na 1 l = 22,5 ml). Jeden litr zużytego tlenu przy wykorzystaniu pokarmów składających się z białek, tłuszczów i węglowodanów daje ok. 4,8 kal. Dobowa przemiana materii obu nerek wynosi 140—150 kal. Nerki produkują więc mniej więcej 1/12 całej energii organizmu (przeciętna przemiana spoczynkowa ok. 1700 kal), stanowiąc zaledwie 1/230 masy ciała. Mało jest tkanek i narządów w organizmie o podobnie intensywnej jak w nerkach przemianie materii. Duża ilość krwi przepływająca przez nerki służy jak widać dostarczaniu znacznych ilości tlenu. Jednak chyba nie tylko o sam tlen chodzi, ponieważ zapotrzebowanie tlenowe mogłoby być z powodzeniem zaspokojone przez znacznie mniejsze ilości krwi, w granicach 600—900 l, na co swego czasu zwracano uwagę (Pytasz — 1957), pod warunkiem, że stopień wykorzystania tlenu byłby jak w innych narządach. Drugim przeto czynnikiem, który musi być brany pod uwagę w rozważaniach nad przepływem nerkowym, jest konieczność dostarczania substancji wydalniczych i wody sączonych w kłębkach i wydalanych ostatecznie do moczu. Znaczne ilości wody, która przesącza się w kłębkach pozwalają na wypłukiwanie z kanalików tego co jest do ich światła wydalone. Duża ilość przepływającej przez nerki krwi zabezpiecza również względną stałość jej składu, mimo usuwania niektórych składników osocza do moczu. Dzięki temu zmiany stężeń między krwią tętniczą a żylną nerkową stosunkowo nie są wielkie. Dlatego też trudno jest doszukać się bezpośredniej zależności między np. wielkością nerkowego przepływu a

wielkością diurezy (Pytasz — 1958), czy też między ilością moczu, a zużyciem przez nerki tlenu. Istnieje natomiast wyraźna zależność między np. składem moczu, a ilością zużytego tlenu, czy też wielkością nerkowego metabolizmu. Energia przemian zużywana jest głównie na podtrzymanie funkcji komórek kanalików, na zaspokojenie ich potrzeb energetycznych związanych z kanalikowym transportem, na pierwszym miejscu dla utrzymania resorpcyjnej czynności kanalików w odniesieniu do jonów sodu. Mówi się, że 90% całej energii służy podtrzymaniu funkcji „pompy sodowej” w komórkach kanalików nerkowych.

Z powyższych rozważań jasno wynika, że wszelkiego rodzaju stany połączone z niedotlenieniem narządu, ze zmniejszeniem się ilości płynącej przez nerki krwi będą powodowały z jednej strony zaburzenia czynności nerek połączone z reakcjami kompensacyjnymi, których efektem mogą być ogólne reakcje hemodynamiczne. Niedokrwienie nerek wywołane np. upustami krwi, spadkami ciśnienia tętniczego, zamykaniem tętnicy nerkowej, zastojami w obrębie żylnego krążenia, upośledzają zarówno procesy sączenia kłębkowego jak również transport kanalikowy. O ile ischemia nerek trwa dłużej, zmiany te są nieodwracalne. Dotyczy to w pierwszym rzędzie czynności kanalików. Dobre ukrwienie nerek, regulacja ich hemodynamiki ma ogromne znaczenie dla podtrzymania procesów wydalniczych. Problemy te są istotne w dobie przeszczepiania narządów, kiedy sam zabieg operacyjny narusza mechanizmy regulacyjne a poza tym z nim związana jest anemizacja narządu. Zwykle przyjmować się za względnie bezpieczny czas niedokrwienia nerek nie dłuższy niż 2 godziny. Jednak według naszych obserwacji okres ten może okazać się czasami zbyt długi, po którym nerki nie podejmują swej funkcji, albo też po którym ich czynność ulega poważnym zaburzeniom w postaci oligurii lub nawet anurii, białkomoczu, krwiomoczu, zaburzeń we wchłanianiu kanalikowym, w zdolności zagęszczania (Pytasz i wsp. — 1969) — ryc. 5. Pewniej jest, jeśli okres niedokrwienia nie przekracza 1 godziny, co w zasadzie jest czasem najzupełniej wystarczającym dla dokonania zabiegu na nerkach, nawet jeśli chodzi o ich przeszczepienie. Również wszelkie stany związane z zaburzeniami w obrębie narządu krążenia, czy też wyłącznie w samym krążeniu nerkowym, odbijają się wybitnie na czynności nerek, te zaś na zasadzie reakcji kompensacyjnych wpływają na krążenie, zamykając błędny krąg nasilającego się procesu chorobowego.

Wymienione w niniejszym artykule problemy, żywo interesujące fizjologa, nefrologa i kardiologa, mają może mniejsze znaczenie w medycynie weterynaryjnej. Choroby nerek nie są w zasadzie pierwszoplanowym problemem



Ryc. 5. Wpływ zaciskania naczyń nerkowych (tętnicy i żyły) na diurezę.

Ryc. 5. Wpływ zaciskania naczyń nerkowych (tętnicy i żyły) na diurezę.



terapeutycznym w weterynarii, za wyjątkiem chyba dwóch gatunków zwierząt — psów i bydła. Długotrwały zwykle przebieg tych schorzeń, nawet w postaciach ostrych, zbyt długie, uciążliwe i trudne ich leczenie, trudna nawet u ludzi diagnoza, ryzykowne często rokowania, słabe rozeznanie w tych schorzeniach u bydła, sprawiają, że lekarz weterynarii staje przed trudnym dylematem wyboru między ryzykiem leczenia, a problemami ekonomicznymi z tym

związanymi. Wydaje się jednak, że z uwagi na ciągły i szybki postęp metod diagnostycznych i terapii tych schorzeń u bydła, ich leczenie może stawać się coraz to bardziej opłacalne, oraz z uwagi na punkty styczne między medycyną ludzką, a weterynaryjną, sprawy te winny interesować także i lekarza weterynaryjnego.

Przegląd piśmiennictwa znajduje się u autora.  
Adres autora: prof. dr Marian Pytasz, Lublin, ul. Akademicka 12.

ALEKSANDRA MALINOWSKA, **FELICJA DASZYŃSKA**

## Poziom cukru, ciał ketonowych oraz cholesterolu i jego frakcji we krwi bydła, w różnych warunkach hodowlanych

Katedra Chemii Fizjologicznej Wydziału Weterynarii SGGW w Warszawie  
Kierownik: prof. dr S. NYREK

Dotychczas przeprowadzono u bydła wiele badań nad zawartością, zwłaszcza we krwi, różnych substancji chemicznych. Wśród nich szczególnie dużo miejsca poświęcono badaniom poziomu cukru i ciał ketonowych. Duża ilość badań poświęcona zachowaniu się tych czynników we krwi bydła jest związana z zagadnieniem występowania zespołu objawów chorobowych, określanego ogólnie mianem ketozy. U zwierząt z tymi objawami obserwuje się odchylenia od wartości prawidłowych w poziomie ciał ketonowych i cukru, jak również w poziomie innych metabolitów gospodarki tłuszczowcowej. Przeglądu piśmiennictwa z tego zakresu, ze szczególnym uwzględnieniem czynników żywieniowych dokonał Pehrson (7), z polskich autorów należy wymienić Chwojnowskiego i Dziubka (2). Z przeglądu badań wynika, że w stanach głodowych dochodzi do nagromadzenia się we krwi produktów pośrednich przemiany tłuszczowcowej tj. kwasu beta-hydroksymasłowego, kwasu acetoctowego i acetonu. Temu zjawisku towarzyszy niski poziom glikogenu w wątrobie oraz glikozy we krwi. Ambo i wsp. (1) jak również Radloff i Schultz (8) obserwowali w tych przypadkach obniżenie się poziomu trójglicerydów oraz wolnych kwasów tłuszczowych. Simesen i wsp. (9) podają, że oprócz czynników żywieniowych duży wpływ na poziom cukru i ciał ketonowych wykazują takie czynniki fizjologiczne jak ciąża i mleczość.

Zarówno czynniki fizjologiczne jak i warunki hodowlane, w tym żywienie, oddziałują na zawartość cholesterolu i jego frakcji we krwi bydła. Obszerne badania nad tym zagadnieniem prowadził O'Kelly (5, 6). Autor ten obserwował zachowanie się cukru i cholesterolu w krwi bydła, zależnie od pici, wieku oraz od różnych sposobów żywienia. Podobne badania nad za-

chowaniem się poziomu cukru i cholesterolu u bydła były prowadzone również przez Tashjian'a i wsp. (10).

Celem niniejszej pracy było zbadanie poziomu glikozy, ciał ketonowych oraz cholesterolu i jego frakcji we krwi bydła, pochodzącego z dwóch różnych środowisk hodowlanych. Wyniki uzyskane u krów z dobrych warunków hodowlanych opracowano statystycznie, badając ich zależność od wieku oraz zaawansowania ciąży. Ponadto porównano z sobą średnie wartości wyników u zwierząt z obu środowisk.

### Materiał i metody

Badania zostały przeprowadzone u 78 krów rasy nizinnej czarno-białej w wieku od 2 do 13 lat. Zwierzęta podzielono na dwie grupy: Grupę I stanowiło 23 krowy z RZD z obory wolnej od gruźlicy i burcelozy. Zwierzęta te były dobrze odżywione i utrzymane. W tej grupie 16 krów było w okresie ciąży. Grupa II obejmowała 55 krów, pochodzących z gospodarstw indywidualnych, położonych na terenach ubogich w dobrą karmą. Warunki utrzymania oraz żywienie były dużo gorsze. Wydajność mleka znacznie mniejsza. Wszystkie zwierzęta były klinicznie zdrowe.

W krwi badanego bydła, pobieranej z żyły jarzmowej rano, przed pierwszym karmieniem oznaczono: 1) Poziom cukru metodą Hagedorna i Jensena. 2) Poziom ciał ketonowych wg metody Henniga (4) opartej na zasadzie destylacji z  $K_2Cr_2O_7$ . Aceton całkowity oznaczano kolorymetrycznie. 3) Cholesterol oraz jego frakcje oznaczano metodą kolorymetryczną, podaną przez Zlatkisa i wsp. (11).

### Wyniki badań

Średnie wartości poziomu oznaczonych substancji we krwi zwierząt kontrolnych (grupa I) zestawiono w tab. 1.

Jak wynika z danych badanie statystyczne w/w składników od wieku nie wykazało żąd-