

MARIAN PYTASZ, TADEUSZ GARBULIŃSKI, ANDRZEJ KURBIEL,
MIECZYŚLAW PRAŻAK

ELEKTROLITY I ODDZIAŁYWANIE MOCZU W ŚWIETLE DOŚWIADCZEŃ I ANALIZY STATYSTYCZNEJ

Z Zakładu Chemii Fizjologicznej WSR we Wrocławiu

Kierownik: z-a prof. dr *F. Wandokanty*

Z Zakładu Fizjologii AM we Wrocławiu

Kierownik: prof. dr *A. Klisiecki*

Z Zakładu Matematyki WSR we Wrocławiu

Kierownik: doc. dr *R. Hochenberg*

W licznych doświadczeniach na psach i ludziach *Klisiecki, Augustin, Sowiński* wykazali, że można doskonale alkalizować mocz przez spożywanie soi lub fasoli, przy czym oddziaływanie moczu może dochodzić do pH 9. Przy tym zaobserwowali, że w tak alkalizowanym moczu rośnie poziom potasu, a maleje fosforu. Te badania dowodziły, że oddziaływanie moczu musi zależeć od występującego w nim moderatora fosforanowego, co również potwierdzili później *Stettner* i *Pytasz*.

Ponieważ te sprawy nie wydały się nam jeszcze w całości wyjaśnione, postanowiliśmy zbadać jakim zmianom będzie ulegało pH moczu, gdy będą spożywane czyste sole fosforowe pierwszo- i drugorzędne potasowe i sodowe. Chodziło nam przy tym także o stwierdzenie jaką rolę odgrywa w moczu moderator węglanowy. W ostatnich bowiem latach sporo uwagi poświęcono wzajemnemu stosunkowi jonów sodu, potasu, jonów wodorowych i dwuwęglanom. Wielu autorów jak *Frey, Koch, Fuller, Malvin* pisze o wzajemnym konkurencyjnym podobieństwie wymienionych jonów w czasie ich przechodzenia przez nabłonek kanalikowy. Oczekiwaliśmy, że na to łatwiej znajdziemy odpowiedź, gdy badanie tych jonów w moczu poprzedzi spożywanie ich soli fosforowych. Wreszcie pragnęliśmy znaleźć odpowiedź na pytanie, czy zależnie od rodzaju spożywanych fosforanów pierwszo- i drugorzędowych zachodzą w składzie moczu istotne zmiany nieorganicznego i całkowitego fosforu.

METODYKA

Ogółem autorzy wykonali na sobie 33 doświadczenia, w których badany pobierał doustnie na czczo, 12 godzin po ostatnim posiłku, 3,0 g soli rozpuszczonej w 150 ml wody destylowanej. Tuż przed spożyciem soli zbierany był mocz, w którym ozna-

czano pH i ilość poszczególnych pierwiastków. Mocz zbierano po 1/2, 1, 2, 3 i 4 godzinach, mierzono jego ilość i badano kolorymetrycznie pH (dokładność do 0,1 jednostki). W pobranych moczach oznaczano ilość sodu, potasu, wapnia, chloru, fosforu nieorganicznego i całkowitego, oraz dwutlenku węgla. Na, K, Ca i Cl oznaczano metodami miareczkowymi, Sód, potas i wapń metodą Kraméra i Tisdalla [4], a chlor metodą Volharda w modyfikacji Arnolda [4]. Fosfor nieorganiczny i całkowity oznaczano kolorymetrycznie metodą Bell'a i Doisy [4], a dwutlenek węgla metodą gazometryczną Klisieckiego [13].

Podawano następujące sole: fosforany potasu i sodu pierwszo- i drugorzędowe, chlorek sodu, kwaśny węglan sodu i kwas cytrynowy.

Po zakończeniu doświadczeń przeprowadzono statystyczne badanie otrzymanych wyników metodą analizy wariancji i kowariancji oraz regresji prosto- i krzywoliniowych. W pracy podano jedynie wnioski wynikające z podanych metod obliczeń statystycznych, oraz rezultaty porównań średnich i wartości charakterystyk dotyczących współzależności pomiędzy cechami.

WYNIKI

Wpływ fosforanów potasowych i sodowych zasadowych i kwaśnych na:

a. *Fosfor moczu.* Spożywanie fosforanów powoduje zmiany w wydalaniu fosforu zarówno pod względem ilości jak i stężenia tego pierwiastka w moczu. Zmiany te są istotne w czasie, tzn. nie można ich kłaść na karb przypadkowych wahań fosforu w poszczególnych czasach oznaczeń, ponie-

Tabela 1. Zmiany średniego poziomu P w moczu po fosforanach potasu
Table 1. Changes in the average level of urine P after potassium phosphates

Czas w godz. 1)	Średni poziom P w mg% 2)	Średnie przyrosty w P w stosunku do poziomu początkowego 3)	Różnice poziomu P pomiędzy kolejnymi parami średnich w czasie 4)
0	23,88		
0,5	14,31	— 9,57	— 9,57
1	18,87	— 5,01	+ 4,56
2	32,95	+ 9,07	+14,08
3	45,35	+21,47	+12,40
4	50,08	+26,20	+ 4,73

$mt_{0,01} = 8,08$

Tabela 2. Zmiany średniego poziomu P w moczu po fosforanach sodu
Table 2. Changes in the average level of urine P after sodium phosphates

Czas w godz. 1)	Średni poziom P w mg 2)	Średnie przyrosty w P w stosunku do poziomu początkowego 3)	Różnice poziomu P pomiędzy kolejnymi parami średnich w czasie 4)
0	27,55		
0,5	30,87	+ 3,32	+ 3,32
1	47,36	+19,81	+16,49
2	50,37	+22,82	+ 3,01
3	52,64	+25,09	+ 2,27
4	61,61	+34,06	+ 8,97

$mt_{0,01} = 10,29$

Time in hours 1); Average level of P in mg 2); Average P increments in relation to original level 3); Differences in P level between consecutive times of averages in relation to time 4).

waż różnice średnich dla poszczególnych czasów leżą poza granicami błędu. Istotność różnic średnich czasowych obliczona jest z bardzo dużym prawdopodobieństwem, bo 99% (tabela 1 i 2).

Fosforan potasu w ciągu pierwszej pół godziny od jego spożycia obniża przelotnie stężenie fosforu o ok. 50%. W drugiej połowie godziny fosfor wzrasta do ok. 80% poziomu wyjściowego. Po 1 i 1/2 godz. dochodzi do poziomu wyjściowego i energicznie dalej wzrasta.

Wydalanie fosforu pod względem ogólnej ilości w poszczególnych czasach przebiegało nieco inaczej. Największa ilość fosforu wydalila się w pierwszej i drugiej godzinie (po ok. 40 mg), później zmniejszyła się do 25 mg w czwartej godzinie (tab. 9). Ilość wydalonego każdorazowo fosforu wskazuje, że choć stężenie jego wzrasta to zmniejsza się wydalanie wskutek zmniejszającej się ilości moczu. W sumie w ciągu 4 godzin wydalona została tylko ok. 1/4 spożytego fosforu, co dowodzi, że w przeważającej ilości musiał zostać on w organizmie zatrzymany.

Fosforan sodu pobrany w roztworze powoduje wydalanie fosforu w coraz większych ilościach przez 2 godz. W sumie wydalilo się w tym czasie 50 mg fosforu. W następnych godzinach wydalanie progresywnie zmniejsza się do 19 i 12 mg. Ilość zatrzymanego fosforu jest procentowo podobna jak po fosforanach potasowych. Brak charakterystycznego załamania się krzywej w pierwszej godzinie powodowany jest obniżoną ilością wydalonego moczu.

Po fosforanach potasowych wydalone są większe ilości moczu niż po fosforanach sodowych (tab. 9). Dzieje się tak przypuszczalnie dlatego, że fosforany potasowe nie zawierają wody krystalizacyjnej, podczas gdy w fosforanach sodowych może ona stanowić znaczny procent ich masy. Wskutek tego fosforany potasowe działają silniej diuretycznie (ilość podanej soli przy tej samej wadze jest większa).

Kwasowość lub zasadowość spożywanej soli w różny sposób wpływa na ilość fosforu w moczu. Nie wpływają nań fosforany alkaliczne, istnieje natomiast istotna zależność pomiędzy fosforem i pH moczu po spożyciu fosforanów kwaśnych. Bardziej ścisła od prostoliniowej jest zależność krzywoliniowa, wyrażająca się wzorem

$$y = 775,01 - 245,19 x + 20,50 x^2 \quad (\text{ryc. 5}).$$

Krzywa wydalania fosforu całkowitego różni się od krzywej wydalania fosforu nieorganicznego tym tylko, że jego ilości są nieznacznie większe.

b. *Sód moczu.* Wpływ fosforanów sodu na sód moczu jest różny. Po solach potasowych stężenie sodu w moczu zmniejsza się w pierwszych dwóch godzinach, a po tym czasie różnie się ono zachowuje. Ilość sodu w moczu maleje nieustannie np. w pierwszej godzinie wydalilo się 437 mg, w drugiej 266 mg, a już w czwartej tylko 118 mg. (Tabele 3, 4, 9). Obniżanie się

poziomu sodu pod wpływem soli potasowych w pierwszych dwóch godzinach jest wysoko istotne z prawdopodobieństwem 99%.

Tabela 3. Średnie poziomy Na i ich różnice po spożyciu fosforanów sodowych

Table 3. Mean levels of Na and differences after ingestion of sodium phosphates

Czas w godz. 1)	Średnie poziomy Na w mg 2)	Zmiany poziomu Na w stosunku do poziomu początkowego 3)	Różnice poziomu Na pomiędzy kolejnymi parami średnich w czasie 4)
0,0	262,20		
0,5	250,93	—11,27	—11,27
1,0	254,15	— 8,05	3,22
2,0	247,31	—14,89	— 6,84
3,0	257,93	— 4,27	10,62
4,0	264,86	2,66	6,93

$$mt_{0,05} = 17,34$$

Tabela 4. Średnie poziomy Na i ich różnice po spożyciu fosforanów potasowych

Table 4. Average Na levels and differences after ingestion of potassium salts

Czas w godz. 2)	Średnie poziomy Na w mg 2)	Zmiany poziomu Na w stosunku do poziomu początkowego 3)	Różnice poziomów Na pomiędzy kolejnymi parami średnich w czasie 4)
0	250,31		
1/2	172,94	—77,37	—77,31
1	183,96	—66,35	+11,02
2	216,20	—34,11	+32,24
3	321,61	—18,70	+15,41
4	231,84	—18,46	+ 0,23

$$mt_{0,01} = 64,60$$

$$mt_{0,05} = 47,37$$

Time in hours 1); Average Na levels in mg 2); Changes in relation to original Na level 3); Differences in Na level between consecutive times of averages, in relation to time 4).

Natomiast po spożyciu fosforanów sodowych nie ma żadnych zmian w ilości sodu w moczu w pierwszej i drugiej godzinie (148 i 145 mg). Dopiero w trzeciej i czwartej godzinie ilość wydalonego w moczu sodu maleje o 1/3 i 2/3 początkowego stanu. Stężenie tego pierwiastka w moczu prawie się nie zmienia.

Nie stwierdza się zależności pomiędzy sodem moczu i charakterem zasadowym lub kwaśnym spożywanych fosforanów; ilości sodu są zmienne i niezależne od pH moczu.

c. *Potas moczu.* Po fosforanach potasowych od razu maleje wydalanie i stężenie potasu w moczu w pierwszej godzinie. W drugiej stężenie potasu zaczyna rosnać, ale maleje jego ilość. Po 4 godzinach potas w moczu osiąga 204% stężenia początkowego, a ogólnie wydalona ilość dalej się zmniejsza i w czwartej godzinie wynosi 60% ilości wydalonej w godzinie pierwszej. W sumie po fosforanach potasowych wydaliło się 150% spożytego potasu.

Po fosforanach sodu potas ulega w pierwszych dwóch godzinach stosunkowo nieistotnym zmianom. Wydalanie jego zmniejsza się dopiero w 3. i 4. godzinie (tabele 5, 6 i 9). Widać, że sód nie ma wyraźnego wpływu na

Tabela 5. Zmiany średniego poziomu potasu w moczu po fosforanach sodu
Table 5. Changes in mean urine potassium levels after sodium phosphates

Czas w godz. 1)	Średni poziom K w mg 2)	Zmiany poziomu K w stosunku do poziomu początkowego 3)	Różnice poziomu K pomiędzy kolejnymi parami średnich w czasie 4)
0,0	473,33		
0,5	457,82	-15,51	-15,51
1,0	453,64	-19,69	-4,18
2,0	503,28	+29,95	49,64
3,0	521,92	+48,59	18,64
4,0	466,42	-6,90	-55,49

$mt_{0,05} = 89,38$

Tabela 6. Zmiany średniego poziomu potasu w moczu po fosforanach potasu
Table 6. Changes in mean urine potassium levels after potassium phosphates

Czas w godz. 1)	Średni poziom K w mg% 2)	Zmiany poziomu K w stosunku do poziomu początkowego 3)	Różnice zmian poziomów K pomiędzy kolejnymi parami średnich w czasie 4)
0,0	322,20		
0,5	215,59	-106,61	-106,61
1,0	247,28	-74,92	+31,69
2,0	391,89	+69,69	+144,61
3,0	557,63	+235,43	+165,74
4,0	656,68	+336,68	+101,25

$mt_{0,01} = 159,20$ $mt_{0,05} = 102,07$

Time in hours 1); Mean K level in mg% 2); Changes in relation to original K level 3); Differences in K level between consecutive time of means, in relation to time 4).

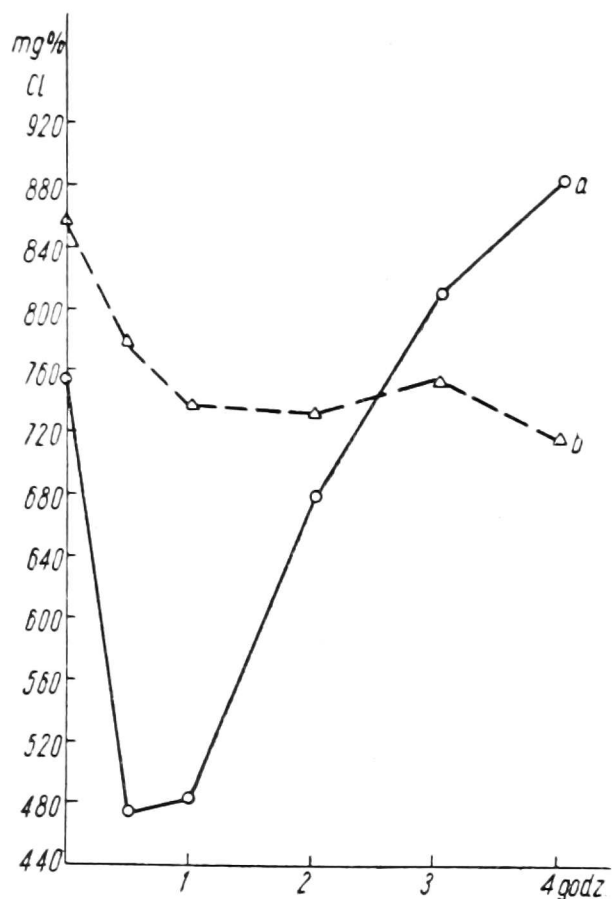
krażenie potasu w organizmie. Nie ma na to wpływu także pH zjadanej soli.

d. *Chlor i wapń moczu.* Fosforany potasowe początkowo obniżają stężenie chloru w moczu, które potem wzrasta wyżej początkowego w miarę zmniejszającej się ilości moczu. Natomiast fosforan sodu obniża poziom chloru przez cały czas trwania doświadczenia, tak że po 4 godz. wynosił on 83% poziomu wyjściowego (ryc. 1).

Ilość wydalonego w moczu chloru zmniejsza się po jednych i drugich fosforanach przez cały czas, tak że najmniej chloru wydalone było w 4. godzinie (tab. 9). Oddziaływanie soli fosforowych na chlor moczu nie wpływa.

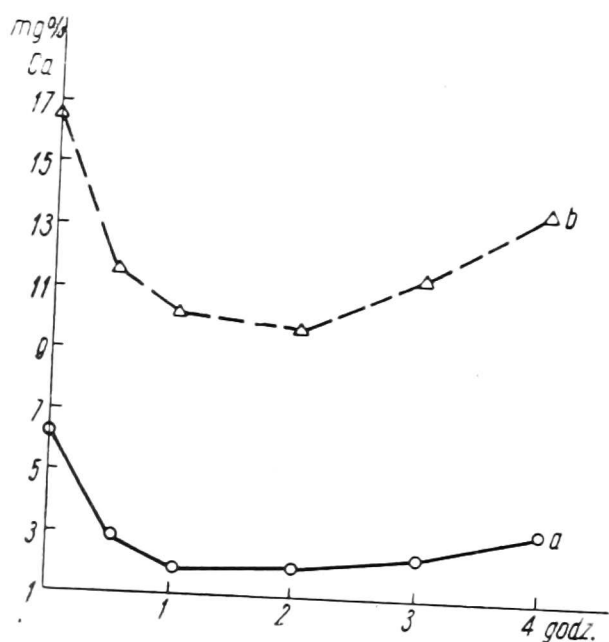
Przeciwnie do chloru zachowuje się wapń moczu. Stężenie jego jest bardziej obniżane przez fosforan potasu niż sodu (ryc. 2), co jest związane z większą chemiczną aktywnością potasu.

e. *Dwutlenek węgla i oddziaływanie moczu.* Spożywano drugorzędowe fosforany sodu i potasu oraz dwuwęglan sodu. Te sole alkalizują mocz zwykle w granicach 1 jednostki pH (np. z pH 5,4 do 6,4), czasem 2 jed-



Ryc. 1. Zmiany poziomu chloru w moczu po podaniu fosforanów potasowych i sodowych: a) poziom Cl po fosforanach potasu, b) poziom Cl po fosforanach sodu.

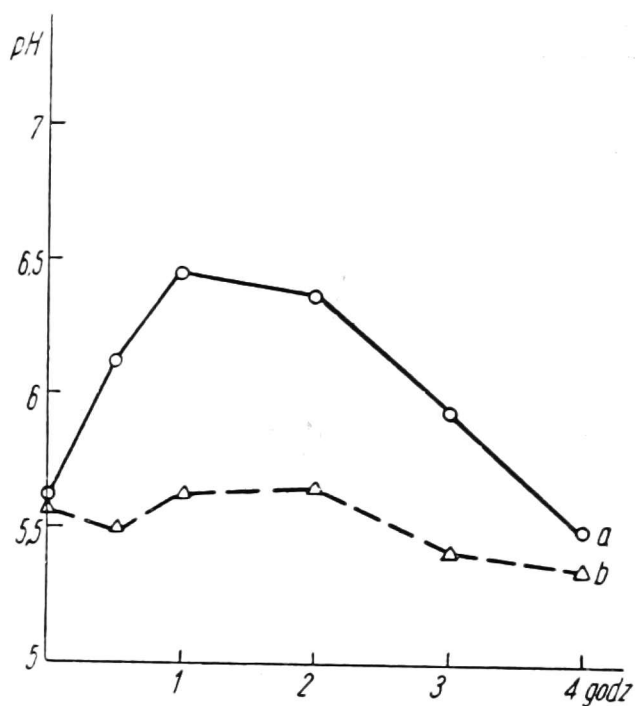
Fig. 1. Changes in urine chloride level after administration of potassium and sodium phosphates. a) Cl level after potassium phosphates, b) Cl level after sodium phosphates.



Ryc. 2.

Ryc. 2. Zmiany poziomu wapnia w moczu po podaniu fosforanów potasowych i sodowych. a) poziom Ca po fosforanach potasu, b) poziom Ca po fosforanach sodu.

Fig. 2. Changes in urine calcium level after administration of potassium and sodium phosphates. a) Ca level after potassium phosphates, b) Ca level after sodium phosphates.



Ryc. 3.

Ryc. 3. Zmiany pH moczu po: a) solach alkalicznych, b) solach kwaśnych.

Fig. 3. Changes in pH of urine after: a) alkaline salts, and b) acid salts.

nostek (doświadczenia 2, 4, 6 z tab. 7). Niekiedy moczu nie alkalizują wcale jak w doświadczeniach 8, 13, 16 i 20. Największe zmiany pH są po 1 godzinie, a po 4 godzinach oddziaływanie moczu jest mniej więcej takie jak na początku (ryc. 3). Średnie wzrosty pH są istotne w czasie z prawdopo-

Tabela 7. Zmiany pH moczu po spożyciu soli alkalicznych
Table 7. Changes in pH of urine after ingestion of alkaline salts

Nr doświadczenia 1)	pH moczu						Rodzaj soli 4)	pH 2% roztworu tej soli 5)
	wyjściowe 2)	po 1/2 godz. 3)	po 1 godz. 3)	po 2 godz. 3)	po 3 godz. 3)	po 4 godz. 3)		
1	5,1	6,3	6,7	5,4	5,1	—	K ₂ HPO ₄	9,6
2	4,8	6,5	6,7	6,3	5,1	—		
4	5,2	6,8	7,1	6,5	6,3	6,3		
5	5,1	6,3	6,7	6,8	6,2	5,4		
6	5,1	6,3	6,9	6,5	5,5	5,3		
7	5,2	5,6	6,2	5,6	5,8	6,1		
8	5,1	5,6	5,3	5,3	5,1	5,0		
13	6,8	7,2	7,0	6,7	6,3	5,3		
14	6,7	7,2	7,4	7,4	6,3	5,0	Na ₂ HPO ₄	8,7
15	5,0	5,2	5,2	5,7	5,2	4,8		
18	5,3	5,9	6,7	7,1	6,9	6,2		
19	5,4	5,7	6,1	6,4	6,3	6,0		
20	5,3	5,2	5,3	5,3	5,2	5,2		
21	5,2	5,2	6,2	6,4	5,7	6,4		
24	5,2	5,4	5,6	5,5	5,1	5,0		
25	6,0	5,4	5,8	5,6	5,2	5,2		
28	6,3	6,7	7,1	7,1	6,9	6,9	NaHCO ₃	8,5
30	5,2	6,2	7,0	5,6	6,7	6,9		

Experiments No 1); Starting 2); After 1/2, 1, 2, 3, 4 hours 3); salt 4); pH of 2% solution of the salt 5).

dobieństwem 95% dla okresu 1/2 godziny od podania soli, a z wysokim prawdopodobieństwem 99% dla okresów 1 i 2 godzin. Istotne poza wymienionymi są różnice pH pomiędzy poszczególnymi okresami np. po 1/2, po 3 i po 4 godzinach i oznaczają one albo istotny wzrost lub spadek pH w porównaniu z poziomem wyjściowym.

Sole kwaśne (I-rzędowe fosforany sodu i potasu) oraz kwas cytrynowy nie zakwaszają moczu tak wyraźnie jak alkalizują go sole alkaliczne (ryc. 3). Rzadko pojawiał się spadek pH moczu powyżej 1 jednostki. Są wprawdzie niewielkie obniżki średniego pH po 1/2 godz. od podania soli

kwaśnej, ale tak nieznaczne, że nie wykraczają poza granice błędu przy prawdopodobieństwie 95%. W niektórych doświadczeniach spożywanie soli kwaśnych nie tylko nie powodowało obniżenia się pH moczu, ale nawet jego wzrost jak np. w doświadczeniach 7, 8, 11, 22 i 23 z tab. 8. Szczególnie

Tabela 8. Zmiany pH moczu po spożyciu soli kwaśnych
Table 8. Changes in pH of urine after ingestion of acid salts

Nr doświadczenia 1)	pH moczu 2)						Rodzaj soli 9)	pH 2% jej roz- tworu 10)
	wyjściowy 3)	po 1/2 godz. 4)	po 1 godz. 5)	po 2 godz. 6)	po 3 godz. 7)	po 4 godz. 8)		
7	5,2	5,6	6,2	5,6	5,8	6,1	KH ₂ PO ₄	4,7
8	5,1	5,6	5,3	5,3	5,1	5,0		
9	6,7	6,0	5,7	6,3	6,2	5,6	NaH ₂ PO ₄	4,6
10	6,7	5,1	5,0	4,5	4,4	4,4		
11	5,0	5,5	6,2	6,4	6,6	6,2		
12	6,1	6,0	6,5	—	5,1	5,2		
22	5,1	5,2	5,3	5,3	5,1	5,2		
23	5,3	5,4	5,6	5,4	5,3	5,3		
29	6,5	5,2	5,9	6,5	6,4	6,2		
31	5,4	5,3	5,6	6,2	6,4	6,3	Kwas cytrynowy.	2,4

Experiment No 1); pH of urine 2); Starting 3); After 1/2 hour 4); After 1 hour 5); After 2 hours 6); After 3 hours 7); After 4 hours 8); Salt 9); pH of 2% solution of the salt 10).

w niskim pH moczu spożyte sole kwaśne, albo bardzo mało obniżały, czasem podnosiły pH, albo też w ogóle go nie zmieniały. Na ogół obniżki pH pod wpływem soli kwaśnych były większe, gdy wyjściowe pH moczu było stosunkowo wysokie.

Istotnym okazał się wpływ soli alkalicznych na ilość dwuwęglanów moczu. Istnieje wyraźna zależność pomiędzy pH moczu i CO₂ w nim zawartym, po podaniu soli alkalicznych (ryc. 4). W moczach kwaśnych nie ma wcale dwutlenku węgla, zaczyna się on dopiero pojawiać powyżej pH ok. 6. Wzrost dwutlenku węgla jest stosunkowo powolny do pH 6 i dopiero od tej granicy jego ilość szybko wzrasta.

Nie ma natomiast związku pomiędzy pH i CO₂ moczu po spożyciu soli kwaśnych, które utrzymując niskie pH nie zostawiają miejsca w moczu dla dwutlenku węgla.

Nie stwierdzono także związku pomiędzy dwutlenkiem węgla a spożywanymi fosforanami sodu czy potasu.

Tabela 9. Wydalanie P, Na, K, Ca i Cl po fosforanach sodu i potasu
 Table 9. Elimination of P, Na, K, Ca and Cl after sodium and potassium phosphates

Czas w godz, 1)	Ilość wydalonych pierwiastków w mg po: 2)																	
	pierwiastek 5)		fosforanach sodowych 3)						pierwia- stek 5)		fosforanach potasowych 4)							
	ilość mo- czu 6)		Na	K		Ca		Cl	P	ilość mo- czu 6)		Na	K		Ca		Cl	P
	1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*
0,5	34	85,3	155,7		3,9		285	10,5		138	239	299		3,9		654	19,7	
1,0	25	63,5	113,4		2,6		182	11,8		108	199	261		2,0		524	20,4	
2,0	54	145,5	271,8	101	5,3	80	364	27,2	122	123	266	492	88	2,5	42	836	71	40,5
3,0	37	95,5	193,1	72	4,3	62	279	19,5	87	73	235	407	73	1,7	30	560	47	34,9
4,0	20	52,9	93,3	35	2,7	41	149	12,3	55	51	118	336	60	1,6	28	452	38	25,5
Łącznie wydalone 7)		442,7	837,3		23,8		1259	81,3			1057	1795		11,7		3026	141,0	
Ilość pierwiastka pobrana 8)		419,3	0,0		00,0		0	366,1			0	1188		0,0		0	581,0	
% ilości wydalonej w stosunku do pobranej 9)		105						22				152					24	

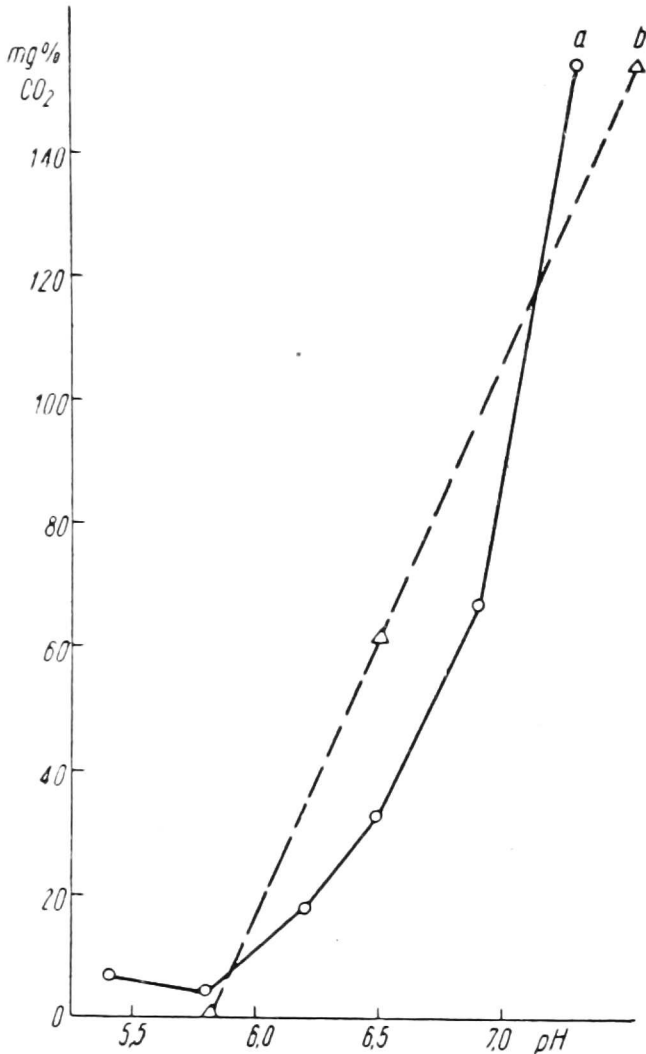
Uwaga: 1*) Oznacza ilość pierwiastka wydalonego w poszczególnych okresach. 2*) Oznacza % wydalonego pierwiastka w 2, 3 i 4 godz. w stosunku do godziny pierwszej.

Note: 1*) indicates amount of element eliminated within specific intervals. 2*) indicates % element eliminated in the 2d, 3d, and 4th hours in relation to 1st hour.

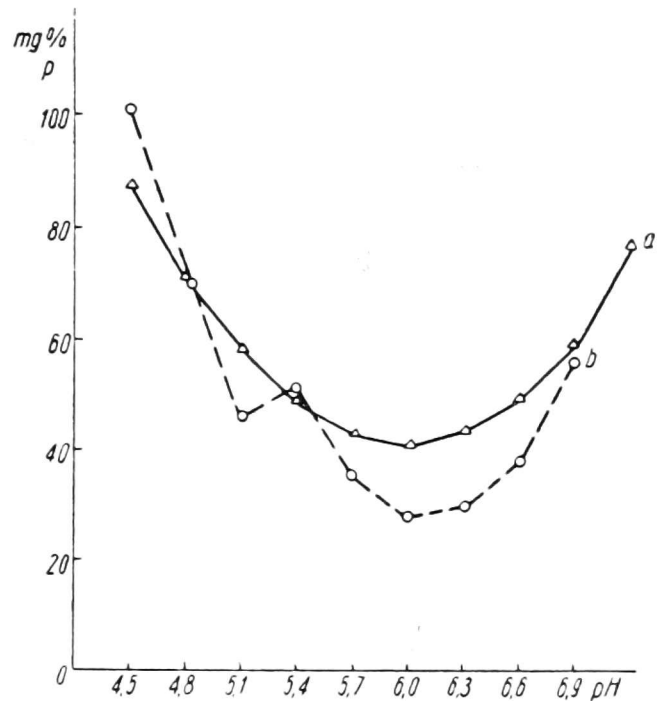
Time in hours 1); Amount of elements eliminated in mg after: 2); Sodium phosphates 3); Potassium phosphates 4); Element 5); Urine volume 6); Eliminated jointly 7); Intake of element 8); Elimination in % of intake 9).

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Pogląd o konkurencyjnym podobieństwie potasu do sodu w ich wydalaniu, względnie wchłanianiu przez nerkę znalazł w naszych doświadczeniach potwierdzenie. Widać to na ryc 1 i 3, które ilustrują wpływ poda-



Ryc. 4.



Ryc. 5.

Ryc. 4. Wykres zależności pomiędzy CO₂ i pH moczu po solach alkalicznych: a) empiryczna linia regresji, b) prosta regresji $y = 84,73 x - 496,75$.

Fig. 4. Graph of relation between CO₂ and pH urine after alkaline salts: a) empirical line of regression, b) straight of regression $y = 84,73 x - 496,75$.

Ryc. 5. Wykres zależności pomiędzy pH i fosforanem moczu po solach kwaśnych. a) Paraboliczna linia regresji $y = 775,01 - 245,19 x + 20,05 x^2$, b) empiryczna linia regresji.

Fig. 5. Graph of relation between pH and phosphorus of urine after acid salts. a) Parabolical line of regression $y = 775,01 - 245,19 x + 20,05 x^2$, and b) empirical line of regression.

wania potasu na wydalanie i poziom sodu w moczu. Spożycie soli potasowych i wzrost potasu powoduje obniżenie stężenia i ilości sodu w moczu.

Inaczej dzieje się po spożyciu soli sodowych. Te nie zmieniają w sposób istotny sodu i potasu w moczu. Wynika z tego, że sól posiada słabsze

zdolności konkurencyjnego wypierania potasu. Tam, gdzie przez kanaliki nerkowe, obojętne w którym kierunku, wędruje potas, tam jest ograniczone miejsce dla sodu. Jest to zrozumiałe, gdy założymy, że wędrówka substancji do moczu wbrew różnicy ciśnień osmotycznych odbywa się albo dzięki odpowiednim przenośnikom enzymatycznym, albo dzięki potencjałom elektrycznym rozmieszczonym na błonach komórek kanalikowych. W tym ostatnim wypadku potas jako czynniejszy stanowi dla sodu silniejszą konkurencję niż na odwrót. Silniejsze konkurencyjne oddziaływanie potasu niż sodu widać także w ich wpływie na wapń moczu (ryc. 2).

W przypadku chloru fosforan potasowy i sodowy powoduje zwiększone jego wydalanie wskutek początkowej diurezy. Później mimo wzrostu stężenia chloru w moczu ogólna ilość wydalanego Cl zmniejsza się. Fosforany sodowe i potasowe powodowały zmiany w wydalaniu chloru, wapnia i potasu przez wpływ na ilość moczu, natomiast na wydalanie fosforu, sodu i dwutlenku węgla miały wpływ jeszcze inne czynniki, np. oddziaływanie moczu, wzajemne współzawodnictwo.

W czasie wędrówki jonów przez nerkę w ich wzajemnym współzawodnictwie mogą odgrywać dużą rolę zjawiska Donnana. Nerka przedstawia jedną, dużą, półprzepuszczalną błonę kłębków i kanalików zamkniętą w niewielkiej przestrzeni. Nieustannie zmieniające się potencjały elektryczne tej błony powodują odpowiedni ruch elektrolitów przez jej ścianę, zmienny w swej szybkości i kierunku. Równowagi Donnanowskie mogą tłumaczyć wymianę poszczególnych jonów w nerce, ich wzajemne konkurencyjne oddziaływanie na siebie, względnie przechodzenie tych jonów do roztworu, pozornie wbrew różnicy ciśnień osmotycznych.

W błonach o wąskich kanalikach, zależnie od ich ładunku, ruchliwym może być tylko jeden z jonów, a jego partner o znaku przeciwnym pozostaje unieruchomiony przez potencjały elektryczne błony, obejmujące światło kanalika. Szybkość wymiany jonów będzie zależała od ich objętości jonowej (wraz z przylegającymi warstwami wodnymi). Stąd możliwość współzawodnictwa w wędrówce, jonów tej samej względnie sąsiadującej grupy układu okresowego. Opisane zjawiska komplikują się ponadto jeszcze bardziej, gdy uzmysłowimy sobie, że w grę wchodzi potencjały oksydo-redukcyjne żywych komórek, zwłaszcza nerki, narządu o bardzo żywej przemianie materii i stąd dużych wahaniami tychże potencjałów.

W procesie nerkowego wydalania na uwagę zasługuje fakt, że stężenie soli mineralnych w moczu osiąga szczyt dopiero do upływie 4 godzin od ich spożycia, a ilość wydalonych substancji jest największa w 1-ej i 2-ej godzinie. To dowodzi ścisłej zależności nerki w jej funkcji wydalniczej od reszty organizmu. Tkanki najpierw chłoną z krwi pojawiającą się w niej substancję, a dopiero gdy jej stężenie we krwi odpowiednio zmaleje, oddają ją z powrotem i wreszcie dostaje się ona do moczu. Szybkość nasycania

nia się tkanek, także i nerki, decyduje o szybkości i wielkości wchłaniania zwrotnego wielu ciał do krwi. Gdy nasycona jest nerka i krew, wchłanianie zwrotne w kanalikach ustaje i dana substancja jest usuwana do moczu. O tym, że nie tylko nerki, ale wszystkie tkanki ustroju stoją na straży składu krwi (*Klisiecki* — 12), dowodzą także nasze ostatnie badania nad wydalaniem przez nerki radioaktywnego fosforu (P^{32}), które zostaną opublikowane.

Z rozważań o krążeniu fosforu, dwuwęglanów i zmianach pH moczu po podaniu soli alkalicznych lub kwaśnych wynika, że w regulacji pH moczu, spośród dwóch nieorganicznych moderatorów, pierwszeństwo ma moderator fosforanowy, złożony m. in. z silniejszego kwasu niż kwas węglowy. Sole tego kwasu, fosforany, mogą być wydalone tylko przez nerkę. Na drugim planie stoją dwuwęglany, sole słabego kwasu, którego aniony są wydalone u zwierząt mięsożernych tylko przez płuca, a także tylko tą drogą u zwierząt roślinożernych w głodzie, gdy kwaśne produkty przemiany materii przekształcają fosforan zasadowy w kwaśny. Wtedy kwaśnym staje się mocz i znikają z niego dwuwęglany.

Węglany mogą jednak występować czasami obok zasadowych fosforanów. W dużych ilościach pojawiają się w moczu wtedy, gdy istnieje obfity dopływ zasad (zwierzęta roślinożerne). W tym razie węglany przyczyniają się do ustalania pH zasadowego moczu. Dwutlenek węgla moczu jest więc wyrazem alkalicznego oddziaływania przesączu kłębuszkowego, co dzieje się wówczas, gdy, jak podaje *Pitts*, stężenie dwuwęglanów osocza wzrośnie powyżej 25 milimoli na 1 litr. Wzrostowi pH moczu o 1 jednostkę towarzyszy, wykazała to analiza statystyczna, wzrost ilości CO_2 średnio o 84,75 mg^{0/0}. Natomiast ogólna ilość moderatora fosforanowego w moczach alkalicznych zmniejsza się, co zauważyli już *Klisiecki*, *Augustin*, *Sowiński* i *Ignacy*.

Podawanie soli kwaśnych i zasadowych wykazało także, że ta sama ilość soli u tego samego osobnika, podana w pozornie tych samych warunkach, nie zawsze daje taki sam efekt odnośnie wpływu na pH moczu. Obserwaliśmy czasem zmiany pH dochodzące do ponad 1,5 jednostki, a czasem pH nie ulegało wcale zmianie. Stanowi to dalszy dowód, że nie tylko nerka, ale wszystkie tkanki stoją na straży odpowiedniego oddziaływania płynów organizmu. O pH moczu nie decyduje tylko jakość i ilość podanej soli, ale współdecyduje zasób zasad całego organizmu.

Obserwacje nad zakwaszaniem i alkalizacją moczu, oraz przeprowadzona analiza statystyczna, wykazały różną reakcję ustroju na podawanie soli kwaśnych i zasadowych. Mocz łatwiej ulega alkalizacji niż zakwaszeniu. To zjawisko jest biologicznie zrozumiałe. Narażenie organizmu na zalew kwasów jest o wiele większe niż na alkalizację (pobierana duża ilość kwasów organicznych z pokarmem, czy też powstawanie kwasów w przemia-

nach ustrojowych). Alkalizowanie organizmu występuje w warunkach naturalnych bardzo rzadko (nie licząc bardzo słabej alkalizacji powodowanej hiperwentylacją płuc) i ma miejsce raczej w warunkach wywoływanych sztucznie, np. w doświadczeniu. Stąd wykształcenie w organiźmie systemu ochronnego skierowanego przede wszystkim przeciw zakwaszeniu. Zakwaszanie silnymi kwasami reagującymi z buforem, między innymi węglanowym, powoduje powstanie bardzo słabego kwasu (kwas węglowy) i obojętnej soli, natomiast alkalizacja silną zasadą daje wodę i alkaliczną, choć słabiej oddziaływującą niż wlewana zasada, sól, np. NaHCO_3 . To nastawienie się organizmu w procesie ewolucji na ochronę przed nieustannie odbywającym się zakwaszeniem ma sens biologiczny.

WNIOSKI

Spożywanie soli kwaśnych i zasadowych doprowadziło do następujących wniosków potwierdzonych analizą statystyczną:

1. Istnieje konkurencyjne podobieństwo między jonami potasu i sodu w czasie ich przenikania przez kanaliki nerkowe. Podaż i nadmierne wydalanie potasu zmniejsza wydalanie sodu w moczu, natomiast wpływ sodu na wydalanie potasu jest o wiele mniejszy.

2. Stwierdzono znaczne zatrzymywanie fosforu w organiźmie, słabsze sodu, zaś potas po spożyciu jest z organizmu wydalany.

3. Spożycie fosforanu sodu w pierwszych dwóch godzinach zwiększa wydalanie fosforu w moczu, natomiast po fosforanie potasu ilość wydalonego w pierwszych dwóch godzinach fosforu nie zmienia się.

4. Fosforan potasu powoduje niewielki wzrost stężenia chloru w moczu, a fosforan sodu wydatnie zmniejsza jego poziom i wydalanie.

5. Sód, a przede wszystkim potas zmniejszają poziom wapnia w moczu.

6. Spożyte sole wydalają się z organizmu dopiero w ciągu 2 godzin. Najpierw wnikają one do tkanek, a dopiero potem są wydalane.

7. Istnieje taka sama zależność pomiędzy fosforanami, a pH moczu w moczach kwaśnych, jak węglanami a pH moczu w moczach alkalicznych, oraz słabo kwaśnych. Dowodzi to, że pH moczu zależąc w zasadzie od moderatora fosforanowego, jest także regulowany przez moderator węglanowy, gdy mocz jest alkaliczny lub lekko kwaśny (od około pH 6).

8. Łatwiej zalkalizować mocz spożyciem soli zasadowych niż zakwaszyć spożyciem soli kwaśnych. Jest to zrozumiałe ze względu na dużą zdolność organizmu do buforowania substancji kwaśnych i wydalanie dwutlenku węgla przez płuca, podczas gdy nadmiar zasad opuszcza ustrój prawie wyłącznie przez nerki.

М. Пыташ, Т. Гарбулиньски, А. Курбель, М. Пражак

ЭЛЕКТРОЛИТЫ И РЕАКЦИЯ МОЧИ В СВЕТЛЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Содержание

Авторы съедали по 3,0 г фосфорнокислого натрия и калия одно и двузамещенного, собирали мочу после 1/2, 1, 2, 3 и 4 часов и определяли количество мочи, содержание натрия, калия, неорганического и общего фосфора, кальция, хлора и угольной кислоты. После статистического анализа полученных результатов на их основании авторы выдвигают следующие положения:

1. Наблюдается конкурирующее сходство между натрием и калием при их прохождении через почечные канальцы. Поступление и чрезмерная экскреция калия уменьшает выделение натрия в моче. В то время влияние натрия на экскрецию калия значительно слабее выражено.

2. Наблюдалась значительная ретенция фосфора в организме, более слабая ретенция натрия; калий после приёма выделяется из организма.

3. Прием фосфорнокислого натрия увеличивает выделение фосфора с мочой в первые два часа, но после приема фосфорнокислого калия количество выделяемого фосфора не изменяется.

4. Фосфорнокислый калий приводит к незначительному увеличению содержания хлора в моче, а фосфорнокислый натрий значительно снижает содержание и выделение хлора.

5. Натрий, а прежде всего калий снижают содержание кальция в моче.

6. Принятые соли выделяются из организма в течение 2 часов. Сначала они дифундируют в ткани, а потом подлежат экскреции.

7. Наблюдается такая же зависимость между фосфатами и рН мочи при кислотной ее реакции, как между карбонатами и рН мочи при щелочной или слабокислой ее реакции. Факт этот свидетельствует что рН мочи в основном обуславливается фосфатным модератором, но регулируется и карбонатным модератором в случае, когда реакция мочи является щелочной или слабокислой (начиная с рН вблизи 6).

8. Алкализация мочи приемом щелочных солей легче чем ее подкисление приемом кислых солей. Это понятно ввиду больших возможностей организма нейтрализовать кислые субстанции при помощи буферов и выделения CO_2 легкими, в то время когда избыток щелочей выделяется почти исключительно почками.

М. Pytasz, T. Garbuliński, A. Kurbiel, M. Prażak

ELECTROLYTES AND THE REACTION OF URINE IN THE LIGHT OF EXPERIMENTS AND STATISTICAL ANALYSIS

Summary

The authors took each 3,0 g. of first and second order sodium and potassium phosphates, collected urine after intervals of 1/2, 1, 2, 3 and 4 hours, measured its volume and pH, and determined concentrations of sodium, potassium, inorganic and total phosphorus, calcium, chloride and carbon dioxide. The results were analysed statistically and suggested the following conclusions:

1. Sodium and potassium compete during filtration in the kidneys. Supply and excessive excretion of potassium diminish excretion of sodium in urine, but conversely, sodium has a much smaller effect on potassium excretion.

2. There is considerable retention of phosphorus in the organism, a smaller one of sodium, and virtually none of potassium.

3. Ingestion of sodium phosphate increases excretion of phosphorus with urine over the first two hours, whereas potassium phosphate has no such effect.

4. Potassium phosphate slightly increases concentration of chlorine in urine, and sodium phosphate notably diminishes it.

5. Sodium and especially potassium diminish the level of calcium in urine.

6. The salts ingested are eliminated from the organism not before two hours. First they penetrate into tissues and are only then excreted.

7. In acid urines there is the same relationship between phosphates and pH as between carbonates and pH in alkaline or weakly acid urines. This proves that pH of urine, which essentially depends on the phosphate moderator, is controlled also by the carbon moderator when the urine is alkaline or slightly acid (beginning with pH roughly 6).

8. It is easier to alkalize urine by ingestion of basic salts than to acidify it by acid salts. This is readily appreciated in view of the fact that the organism has a notable capacity to buffer acid substances and to eliminate carbon dioxide through the lungs, but removes excessive alkalis almost exclusively through the kidneys.

PIŚMIENNICTWO

1. *Auditore G., Holland W.*: A. J. of Physicol., 1956, 1, 187, 57.
2. *Augustin Z., Ignacy E.*: Compt. Rend. de la Soc. des Sc. et des Lettres de Wrocław, 1947, 3.
3. *Augustin Z., Klisiecki A., Sowiński S.*: Compt. Rend. 1947.
4. *Charłampowicz-Laszczykowa B.*: Mikrochemiczne analizy lekarskie krwi i moczu, Kraków 1945.
5. *Chihard F., Enns T.*: Am. J. of. Physiol., 1955, 2, 182, 247.
6. *Frey J.*: Deutsche Med. Wochenschr., 1957, 40.
7. *Frey J., Suter F.*: Handbuch der Inneren Medizin, Nieren und Ableitende Harnwego, Berlin 1951.
8. *Fuller G., Macleod M., Pitts R.*: Am. J. of Physiol., 1955, 1, 111, 182.
9. *Greene J., Hiatt E.*: Am. J. of. Physiol., 1955, 1, 179, 180.
10. *Howell D., Dawis J.*: Am. J. of Physiol., 1954 2, 34, 287.
11. *Jacobellis M., Muntwyler M., Griffin G.*: Am. J. of Physiol., 1955, 3, 183, 395.
12. *Klisiecki A.*: Polski Tygodnik Lekarski 28—31/47.
13. *Klisiecki A.*: Acta Physiol. Polon., 1956, 2, 229.
14. *Koch A., Brazean P., Gilman A.*: Am. J. of. Physiol., 1956, 2, 186, 350.
15. *Malvin R., Lotspeich W.*: Am. J. of Physiol., 1956, 1, 51, 187.
16. *Parnas J. K.*: Chemia fizjologiczna, Lwów 1938.
17. *Pitts R.*: Abstracts of Communications of the XVII International Physiol. Congress, Oxford 1947, 245.
18. *Pytasz M.*: Acta Physiol. Polon. 1959, 10, 325.
19. *Selkurt E.*: Physiological Reviews, 1954, 2, 34, 287.
20. *Stettner Z.*: Patologia Polska, 1956, 3.

Otrzymano: 2. 2. 1959.