

Dinámica de los hidrogeniones en la exploración funcional del riñón

M. Andériz López, J. Sola Boneta, B. Orradre Villanueva, S. Tanco Recalde, M. L. Cillero Jiménez, M. A. Pinillos Echeverría, J. Carasusán Coy *

Resumen

Se proponen técnicas para la determinación del pH intracelular y exploración del «aclaramiento» de hidrogeniones y excreción tubular de los mismos, señalando las aplicaciones del procedimiento.

Dynamics of the hydrogenions in the functional exploration of the kidney

Techniques for the determination of intracellular pH and the exploration of the clearance of hydrogenions and tubular excretion of the same are proposed, marking the applications of the process.

Hipótesis de trabajo

Una de las labores del riñón es la regulación del equilibrio ácido-base del organismo. Esta regulación se consigue, a nivel extracelular e intracelular, gracias al poder del riñón de excretar iones H^+ por mecanismos de todos más o menos conocidos que no vamos a comentar aquí.

Lo difícil es obtener técnicas que nos permitan estudiar valores fiables en la práctica médica. ¿Cómo podemos llegar al conocimiento del pH intracelular? ¿De qué manera podemos cuantificar la capacidad renal para excretar hidrogeniones? ¿Qué aplicación encontrarían estas determinaciones en el estudio y valoración de los diversos pacientes?

Nos proponemos en este trabajo intentar el comienzo de la solución de estas preguntas. Para ello, vamos a proponer unas técnicas de nuestro Equipo de Investigación y vamos a establecer unos parámetros, sin más pretensión que reali-

* Servicio de Medicina Interna. Hospital de Navarra, de la Diputación Foral de Navarra. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Institución «Príncipe de Viana». Pamplona.

zar un ensayo que, tal vez, dé lugar a posteriores estudios.

Material y métodos

Las cifras de pH no son manejables como lo son las de disoluciones, pese a que existe un homomorfismo entre ambos espacios sobre el cuerpo de los números reales. Por otra parte, las determinaciones de pH distan mucho de alcanzar un nivel aceptable de exactitud, a menos que se disponga de aparatos muy especiales, que no están al alcance de todos los equipos.

Hemos dividido nuestro estudio en dos partes diferentes, en las que incluso hemos utilizado pacientes distintos. En la primera, hemos investigado la dinámica celular del ión H^+ , y en la segunda hemos tratado de estudiar la dinámica renal del hidrogenión, valiéndonos en todo caso de determinaciones del pH mediante el aparato «Micro-Astrup» modificado.

Para el estudio de la dinámica celular, hemos utilizado las técnicas de determinación de iones intracelulares, ampliadas al pH, expuestas en (1). Se han practicado determinaciones de pH en sangre entera y plasma, calculando el pH intraeritrocitario mediante la fórmula

$$pH_i = P + \log H - \log (10^{P-S+2} - R)$$

(Donde pH representa el pH intraeritrocitario; P es el pH del plasma; H es el valor hematocrito; R es igual a $100 - H$; y S es el pH de la sangre entera.)

En la investigación de la dinámica renal del ión H^+ , por una parte hemos calculado la fracción de filtración plasmática y el volumen minuto urinario, además de los pH de plasma y orina; por otra, hemos introducido dos paráme-

tros: el tanto por ciento de excreción de hidrogeniones y el aclaramiento de los mismos, calculados mediante nuestras propias técnicas (2).

Al ser insuficientes estos nuevos parámetros, hemos reutilizado los valores hallados en forma de «índices», como veremos después.

Las fórmulas empleadas han sido las siguientes:

$$\text{Acl } H^+ = V_m \times 10^{P-O}$$

$$\% \text{ excr } H^+ = \frac{V_m}{Ff} \times 10^{P-O+2}$$

(En las que P es el pH del plasma; O, el de la orina; Vm, el volumen minuto urinario; y Ff, la fracción de filtración) (3).

Para el estudio de la dinámica celular del H⁺, hemos partido de tres grupos reducidos de pacientes: el primero de ellos, integrado por 12 enfermos afectos de insuficiencia renal crónica; el segundo, por 10 diabéticos antiguos; y el tercero, por 13 pacientes con cor pulmonale crónico.

El estudio de la dinámica renal se ha abordado partiendo de 12 sujetos considerados normales a estos efectos, y de 10 pacientes con insuficiencia renal crónica. Todos ellos del Servicio de Medicina Interna del Hospital de Navarra.

Resultados

Los resultados obtenidos aparecen en las tablas I y II, donde, además de consignarse las cifras a que hemos hecho referencia, se incluyen, como datos estadísticos, las medias de cada columna, las desviaciones estándar y el error estándar de las medias. Hay, además, una clave de siglas que permite la fácil interpretación de los datos.

Del estudio de los resultados, que en seguida comentaremos brevemente, se deduce la insuficiencia y gran variabilidad de los nuevos parámetros introducidos, esto es, del «aclaramiento de hidrogeniones» y del «procento de excreción de los mismos». Para obviar esta dificultad, hemos modificado ligeramente las fórmulas, valiéndonos del homomorfismo que antes hemos señalado, y proponemos la introducción de dos índices, en lugar de los parámetros anteriores: el «índice de excreción del H⁺» y el «índice de aclaramiento de H⁺».

Estos índices tienen la siguiente expresión:

$$I_e = \frac{100 \cdot V_m}{Ff} (P - O + 2)$$

$$I_a = V_m (P - O)$$

TABLA 1

Dinámica celular de hidrogeniones

A) Pacientes con insuficiencia renal crónica

N.º	Edad	S.	pH s	pH p	pH i	Hematocrito	
1	MGH	62	V	7,39	7,70	7,19	46
2	MJM	29	V	7,37	7,47	7,18	27
3	JGL	73	V	7,37	7,70	6,95	25
4	AAM	82	H	7,38	7,74	7,19	51
5	FLU	47	V	7,47	7,69	7,32	49
6	JLM	67	H	7,33	7,59	7,02	30
7	AAO	29	V	7,39	7,61	7,19	40
8	TIL	63	H	7,32	7,48	7,10	32
9	PCM	65	V	7,37	7,51	7,13	27
10	AOP	49	H	7,37	7,55	7,12	30
11	MCA	69	H	7,40	7,65	7,21	45
12	JJP	71	V	7,42	7,60	7,15	28
Media			7,38	7,61	7,15		
Desv. típ.			0,04	0,09	0,09		
Sm			0,01	0,03	0,03		

B) Pacientes con diabetes mellitus

N.º	Edad	S.	pH s	pH p	pH i	Hematocrito	
1	AGP	65	H	7,36	7,64	7,14	42
2	CUA	75	V	7,49	7,70	7,34	49
3	ASZ	58	H	7,43	7,58	7,24	35
4	PPO	61	H	7,43	7,64	7,25	43
5	ENH	45	H	7,35	7,54	7,15	38
6	SAU	53	H	7,35	7,70	7,12	45
7	BOL	87	H	7,46	7,58	7,38	54
8	BST	54	H	7,45	7,62	7,27	39
9	PGO	54	H	7,38	7,69	7,12	38
10	JRC	68	H	7,48	7,65	7,16	23
Media			7,42	7,63	7,22		
Desv. típ.			0,05	0,05	0,09		
Sm			0,02	0,02	0,03		

C) Pacientes con cor pulmonale crónico

N.º	Edad	S.	pH s	pH p	pH i	Hematocrito	
1	FFI	63	V	7,38	7,62	7,24	53
2	MFB	62	V	7,34	7,69	7,21	62
3	VIL	15	H	7,38	7,55	7,25	48
4	MFH	75	V	7,47	7,68	7,27	40
5	CAR	65	V	7,35	7,61	7,21	54
6	ASM	68	V	7,36	7,68	7,29	77
7	DLA	57	V	7,45	7,63	7,56	50
8	JAL	73	V	7,43	7,75	7,35	71
9	JAG	54	V	7,44	7,59	7,34	54
10	CCL	43	H	7,50	7,68	7,33	41
11	PFL	68	V	7,45	7,68	7,26	43
12	VCB	74	V	7,42	7,70	7,21	43
13	MRC	55	V	7,40	7,62	7,22	43
Media			7,41	7,65	7,29		
Desv. típ.			0,05	0,05	0,01		
Sm			0,01	0,01	0,002		

Clave de siglas

S. — Sexo. pH p — pH plasma.
pH s — pH sangre entera. pH i — pH intrahemático.

TABLA II

Dinámica renal de hidrogeniones

A) Sujetos normales

N.º	Edad	S.	pH s	pH p	pH i	pH o	V/m	FFP	% E H+	Acl H+	Observaciones	
1	NPO	61	V	7,35	7,55	7,17	5,75	0,69	54,56	79,79	43,54	
2	MMR	84	V	7,44	7,75	7,20	5,00	1	83,70	671,85	562,34	
3	FUV	63	H	7,44	7,75	7,24	5,50	0,56	71	140,26	99,58	
4	JBE	46	H	7,44	7,70	7,26	5,90	1	122,22	51,72	63,10	
5	MME	65	V	7,35	7,54	7,20	5,60	0,97	101,60	83,15	84,48	
6	MMS	68	H	7,43	7,77	7,11	5,80	0,43	100,65	39,89	40,13	
7	ABM	30	V	7,42	7,75	7,22	5,40	0,76	66,10	257,40	170,14	
8	MMM	55	H	7,45	7,85	7,23	5,70	0,83	55,79	210,15	117,24	
9	OGC	57	H	7,40	7,82	7,15	6,30	0,63	50,47	41,33	20,86	
10	RLG	64	V	7,45	7,74	7,22	5,60	0,83	85,58	133,90	114,57	
11	MEM	45	V	7,40	7,70	7,14	6,30	0,76	61,91	9,75	6,04	
12	JAR	38	V	7,41	7,90	7,14	6,30	1	68,75	57,91	39,81	
Media				7,42	7,74	7,20	5,80	0,79	76,86	89,52	68,80	
Desv. típ.				0,04	0,11	0,01	0,48	0,19	22,23	180,64	148,96	
Sm.				0,01	0,03	0,003	0,14	0,06	6,70	54,46	44,91	

B) Pacientes con insuficiencia renal crónica

N.º	Edad	S.	pH s	pH p	pH i	pH o	V/m	FFP	% E H+	Acl H+	Observaciones
1	CLL	74	H	7,54		6,40	1,46	34	59,22	20,15	
2	MSG	69	H	7,48		6,40	1,54	79,9	23,20	18,51	
3	FCO	81	H	7,64		6,20	4,44	177	69,13	122,3	Bajo diuresis forzada.
4	AUE	71	V	7,52		5,60	1,09	103	88,17	90,66	
5	NEM	61	H	7,52		6,00	1	27,9	118,54	33,11	
6	PGR	72	V	7,55		6,20	1,47	23,65	139,25	32,90	
7	AVE	69	H	7,65		5,60	0,76	61	140,25	85,27	
8	PIM	69	H	7,50		5,00	0,28	17,1	518,61	88,54	
9	AHM	59	H	7,42		5,40	1,65	24,7	699,48	172,77	
10	ALV	56	H	7,47		5,40	2,29	7,4	3.366,31	269,05	
Media				7,53		5,82	1,60	55,59	206,2	93,33	
Desv. típ.				0,07		0,48	1,61	54,90	236	79,13	
Sm				0,02		0,16	0,38	17,43	78,7	26,38	

Clave de siglas. — Como en Tabla I. Además:

pH o — pH orina.
V/m — Vol. minuto urinario.

FFP — Fracción de filtración.

% E H+ — Procento excreción hidrogeniones.

Acl H+ — Aclaramiento hidrogeniones.

(Donde las siglas tienen el mismo significado que en las fórmulas anteriores, y siendo Ie el llamado «Índice de excreción» e Ia el «Índice de aclaramiento».)

En la tabla III, comunicamos estos índices, que corresponden a la misma numeración con que figuran en la tabla II.

Comentarios

A) *Dinámica celular.* El pH de la sangre hallado en diabéticos y en pacientes de CPC se puede considerar normal, dado que los pacien-

tes estaban compensados en el momento de su estudio. Las cifras de pH del plasma, en cambio, están algo por debajo de las consideradas normales con nuestro método (7, 8). El pH intra aparece, lógicamente, más elevado (consideramos normal la cifra de 6,90).

En los pacientes con IRC aparece disminuido, como era de esperar, el pH de la sangre, disminuido también el del plasma, y aumentado el intraeritrocitario. Es claro el papel del hematíe en la lucha contra el ambiente reductor de su interior, llevado al extremo en estas situaciones patológicas.

TABLA III

Indices de excreción (Ie) y de aclaramiento (Ia) de hidrogeniones

A) Sujetos normales

N.º	Ie	Ia
1	4,81	1,24
2	5,68	2,75
3	3,35	1,26
4	3,11	1,80
5	3,76	1,88
6	1,70	0,85
7	5,00	1,79
8	6,17	1,78
9	4,39	0,96
10	4,02	1,78
11	3,56	0,68
12	5,24	1,60
Media	4,23	1,53
Desv.	1,24	0,57
Sm	0,37	0,17

B) Pacientes con IRC

N.º	Ie	Ia
1	13,48	1,66
2	5,94	1,66
3	8,63	6,39
4	4,15	2,09
5	12,62	1,52
6	20,82	1,98
7	5,05	1,56
8	7,37	0,70
9	26,85	3,33
10	125,95	4,74
Media	23,09	2,56
Desv.	36,87	1,76
Sm	12,29	0,59

B) *Dinámica renal.* Los valores medios obtenidos en las pH-metrías y determinaciones funcionales renales coinciden con los que cabría esperar.

En principio, la cifra de 4,23, media de los valores del «índice de excreción de hidrogeniones», puede considerarse como normal. Llama, por tanto, la atención el aumento de esta cifra (23,09) en las IRC, aumento que no tiene nada de particular, si tenemos en cuenta el mayor estado de acidosis metabólica de estos pacientes,

y la necesidad del riñón de desembarazarse de mayor cantidad de hidrogeniones en estas situaciones.

Lo mismo podemos decir del «índice de aclaramiento de H⁺». Su valor que parece normal se encuentra en las vecindades de 1,53, y en la IRC lo vemos aumentar, en promedio, a 2,56. Las mismas razones invocadas antes son válidas ahora.

Lo que no conviene olvidar es que un índice de excreción relaciona la fracción de filtración, es decir los H⁺ suministrados por el glomérulo a los túbulos, con la excreción de hidrogeniones; mientras que el aclaramiento es expresión de un volumen de plasma «despejado» de H⁺ en un tiempo dado, comúnmente 1 minuto, por la actividad funcional renal.

En el estudio de la tabla II, está claro que, al ser mayor que 100 el % excreción de H⁺, el papel de secreción tubular es evidente, hasta el punto de que, al igual que sucede con el potasio, se puede pensar que el H⁺ que aparece en la orina es exclusivamente fruto de la gestión tubular. Similares consideraciones podemos hacer del aclaramiento.

Conclusión

Las exploraciones funcionales del riñón de que habitualmente disponemos nos informan de su eficiencia en la formación de la orina, de su poder depurador de catabolitos y de su influencia en la regulación del equilibrio hidrosalino, pero no disponemos de procedimientos para explorar su eficiencia en la regulación del equilibrio ácido-base. En este estudio inicial, proponemos un principio de solución a este problema, y rogamos sugerencias a quienes estén interesados en el tema, al objeto de poder mejorar estas técnicas, tan imprecisas en este momento, pero de indudable interés.

Bibliografía

1. Andérez, M.; Muñiz, G.; Velilla, J. P.; Sola, J.: Determinación de parámetros intracelulares. An. Instit. Méd. Benef. Navarra, XI, 1, 11, 1976.
2. La Figuera, E.; Andérez, M.; Cebollada, J.; Ferreira, I.; San Sebastián, R.; Muñiz, G.; Alagón, M.: Exploración funcional del riñón y del equilibrio hidrosalino. Rev. IBYS, XXVII, 3, 245, 1969.
3. Andérez, M.; Sola, J.; Da Costa, M.; Uriz, J.; Castiello, J.; Velilla, J. P.: Excreción urinaria de hidrogeniones. Cálculo del porcentaje de eliminación. An. Instit. Méd. Benef. Navarra, XIV, 3, 67, 1979.