

Interrelaciones electrolíticas y electrocardiográficas bajo la acción de un 7 % de O₂ en N₂

J. L. Rey de Viñas, F. Ruiz y J. Lucas-Gallego (†)

Departamento de Bioquímica del C.S.I.C.
Cátedra de Fisiología Animal
Facultad de Farmacia
Universidad Complutense
Madrid-3

(Recibido el 26 de septiembre de 1977)

J. L. REY DE VIÑAS, F. RUIZ and J. LUCAS-GALLEGU. *Electrolytic and Electrocardiographical Correlations Under 7 % Oxygen in Nitrogen in Dogs*. Rev. esp. Fisiol., 34, 379-384. 1978.

Electrolytic concentrations in plasma and electrocardiographic parameters in dogs have been studied by means of lineal and canonical correlations, after the animals have been submitted to 7 % oxygen in nitrogen for three hours.

At the end of hypoxia there appeared hypokalemia, increased T wave potential, low R wave and enlargement of ST segment and PQ interval.

The coefficients of lineal correlation between Mg⁺⁺ levels in plasma and R wave potential and those of Na⁺ and QRS interval were reversed at the final stages of hypoxia.

Las concentraciones de los electrolitos en hipoxia varían según el grado y duración de la misma (6, 18). También la desigual distribución de Na⁺ y K⁺ en los líquidos intra y extracelulares depende de la actuación de la bomba de Na⁺-K⁺, habiéndose comprobado (4) que, a nivel renal, en alturas superiores a 7.600 m, su actividad disminuye. En el mismo sentido actúa la aldosterona (8). Asimismo, se sabe que para mantener la permeabilidad de estos electrolitos es necesario que la concentración intraeritrocitaria de Ca⁺⁺ sea baja, lo cual se consigue mediante la activación de la bomba de Ca⁺⁺ (14, 17).

El intercambio de Cl⁻ y CO₃H⁻ a nivel de la membrana eritrocitaria se intensifica en atmósfera deficiente en O₂, con activación de la anhidrasa carbónica e incremento de la síntesis de 2-3 DPG, desviando la curva de la oxihemoglobina a la derecha (1).

CHO *et al.* (5) y WARREN *et al.* (20) encontraron modificaciones en el voltaje de la onda T y duración del segmento ST al aplicar un 7 % y un 4 % de O₂ en N₂, respectivamente.

Teniendo en cuenta estas observaciones, se ha creído de interés estudiar las variaciones de las concentraciones plas-

máticas de Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} y Cl^- , así como la de los voltajes de las ondas electrocardiográficas P, Q, R, S y T y la duración de los segmentos PQ y ST y espacios PQ, QRS y QT y los grados de correlación lineal y canónica establecidos entre las mismas, producidos al aplicar a perros un 7 % de O_2 en N_2 .

Material y métodos

Se han empleado 18 perros de ambos sexos, de peso comprendido entre 15 y 18 kilos.

La anestesia y la hipoxia se aplicaron según la técnica de Ruiz *et al.* (15).

En el plasma arterial se determinaron Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} y Cl^- . El Na^+ y K^+ se analizaron con un fotómetro de llama, a presión de 15 atmósferas, previa calibración con soluciones patrones y diluciones de las muestras a 1/50. El Ca^{++} se valoró empleando una técnica complejométrica con EDTA en medio alcalino y en presencia de hidrox-naftol; el Mg^{++} por los métodos de MANN (10), MANN y YOE (11) y BOHUON (2), y el Cl^- empleando la técnica de NATELSON (12).

Los registros electrocardiográficos se realizaron con un dignógrafo Beckman tipo R con su acoplador y transductor adecuados. Se registró la derivación bipolar de los miembros DII y en ella se midieron los voltajes de las ondas P, Q, R, S y T y la duración de los segmentos PQ y ST y espacios PQ, QRS y QT.

Los coeficientes de correlación lineal y las relaciones establecidas de los mismos se calcularon según el método de LAMOTTE (9) y los coeficientes de correlación canónica según el de Cooley y Lohnes y la ayuda de un computador IBM.

Condiciones experimentales. Los parámetros antes descritos se analizaron siempre bajo las mismas condiciones de anestesia: en condiciones normales y al finalizar tres horas de exposición a hipoxia.

Resultados

Al comparar los valores obtenidos en el control y después de tres horas de hipoxia de todos los parámetros anteriormente mencionados, únicamente resultó significativa la disminución en la concentración plasmática de K^+ en el transcurso de la hipoxia. Aparecieron significativas en el E.C.G., la elevación de la onda T y la mayor duración del segmento ST y espacio PQ y el descenso de la onda R (tabla I).

En el estudio de los coeficientes de correlación lineal (r_1 y r_2), sus correspon-

Tabla I. Valores medios de las concentraciones de Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} y Cl^- en plasma arterial y parámetros electrocardiográficos de los voltajes de las ondas P, Q, R, S y T, segmentos PQ y ST y espacios PQ, QRS y QT de 18 perros sometidos a hipoxia (O_2 7 % y N_2 93 %) durante tres horas.

	Control	Hipoxia
Na^+ (mEq/l)	139,550 $\pm$ 2,24	142,660 $\pm$ 2,12 ^b
K^+ (mEq/l)	3,840 $\pm$ 0,22	3,210 $\pm$ 0,16 ^c
Ca^{++} (mEq/l)	5,970 $\pm$ 0,32	6,230 $\pm$ 0,32 ^b
Mg^{++} (mEq/l)	3,120 $\pm$ 0,43	3,530 $\pm$ 0,53 ^b
Cl^- (mEq/l)	113,650 $\pm$ 1,64	112,020 $\pm$ 1,10 ^b
Onda P (mv/cm)	0,253 $\pm$ 0,02	0,325 $\pm$ 0,02 ^b
Onda Q (mv/cm)	0,080 $\pm$ 0,01	0,103 $\pm$ 0,01 ^b
Onda R (mv/cm)	0,921 $\pm$ 0,09	0,625 $\pm$ 0,09 ^c
Onda S (mv/cm)	0,093 $\pm$ 0,03	0,106 $\pm$ 0,03 ^b
Onda T (mv/cm)	0,197 $\pm$ 0,04	0,362 $\pm$ 0,04 ^c
Segmento PQ (s)	0,024 $\pm$ 0,002	0,031 $\pm$ 0,003 ^b
Segmento ST (s)	0,026 $\pm$ 0,003	0,040 $\pm$ 0,005 ^c
Espacio PQ (s)	0,093 $\pm$ 0,003	0,107 $\pm$ 0,003 ^c
Espacio QRS (s)	0,071 $\pm$ 0,004	0,072 $\pm$ 0,005 ^b
Espacio QT (s)	0,186 $\pm$ 0,009	0,197 $\pm$ 0,001 ^b

b: $P > 0,5$; c: P entre 0,05-0,01.

Tabla II. Coeficientes significativos de correlación lineal (r_1 y r_2), transformados (z_1 y z_2) y relaciones entre las constantes electrolíticas y electrocardiográficas en el control y al final de tres horas de hipoxia.

Control	r_1	z_1	Hipoxia	r_2	z_2	R
Na ⁺ -Onda S	-0,014 ^b	-0,014	Na ⁺ -Onda S	-0,510 ^c	-0,563	1,504 ^b
Ca ⁺⁺ -Onda P	0,461 ^c	0,499	Ca ⁺⁺ -Onda P	0,416 ^b	0,445	0,417 ^b
Mg ⁺⁺ -Onda P	-0,078 ^b	-0,078	Mg ⁺⁺ -Onda P	-0,444 ^c	-0,478	1,095 ^b
K ⁺ -Onda T	0,187 ^b	0,189	K ⁺ -Onda T	-0,440 ^c	-0,473	1,813 ^b
Mg ⁺⁺ -Onda R	0,150 ^b	0,152	Mg ⁺⁺ -Onda R	-0,532 ^c	-0,593	2,041 ^c
Na ⁺ -Esp. QRS	0,474 ^c	0,516	Na ⁺ -Esp. QRS	-0,235 ^b	-0,239	2,068 ^c
Ca ⁺⁺ -Seg. ST	0,654 ^c	0,783	Ca ⁺⁺ -Seg. ST	0,512 ^c	0,556	0,594 ^b
Mg ⁺⁺ -Esp. QT	0,516 ^c	-0,571	Mg ⁺⁺ -Esp. QT	-0,501 ^c	-0,555	0,443 ^b

a: $P < 0,01$; b: $> 0,05$; c: P entre 0,05-0,01.

dientes transformaciones (z_1 y z_2), tanto en el control como al final de tres horas de hipoxia y las relaciones (R) establecidas entre dichos coeficientes transformados, las cuales sirven para analizar el grado de significación establecido entre los coeficientes de correlación lineal por acción de la mezcla de gases, únicamente resultaron significativas las establecidas entre la concentración plasmática de Mg⁺⁺ y el voltaje de la onda R y entre la de Na⁺ y la duración del espacio QRS. En ambos casos, se observa que los coeficientes de correlación lineal pasan de estar correlacionados directamente en el

control a estarlo inversamente al final de la hipoxia (tabla II).

Los coeficientes de correlación canónica (tabla III), así como los porcentajes obtenidos al enfrentar conjuntamente las variaciones de las concentraciones electrolíticas y los voltajes de las ondas electrocardiográficas en el control, y al final de la hipoxia, no son significativos en ningún caso, como tampoco lo son los coeficientes de correlación canónica que resultan de enfrentar las mismas variaciones electrolíticas con la duración de los segmentos y espacios electrocardiográficos (tabla IV).

Tabla III. Correlación canónica entre las constantes electrolíticas (Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ y Cl⁻) y el voltaje de las ondas electrocardiográficas P, Q, R, S y T en el control y al final de tres horas de hipoxia.

	Coef.	Control	%	Coef.	Hipoxia	%
Electrólitos						
Na ⁺	0,3413		15,84	0,4408		24,46
K ⁺	0,6949		32,26	0,2275		12,62
Ca ⁺⁺	0,4823		22,39	0,3906		21,68
Mg ⁺⁺	0,0689		3,20	0,3077		17,08
Cl ⁻	0,5667		26,31	0,4353		24,16
Ondas electrocardiográficas						
P	0,8281		44,71	0,3993		20,39
Q	0,2357		12,72	0,1352		6,90
R	0,0790		4,26	0,6114		31,22
S	0,3708		20,02	0,6495		33,17
T	0,3388		18,29	0,1628		8,32
Correlación canónica: 0,879 ^b				0,890 ^b		

b: $P > 0,05$.

Tabla IV. Correlación canónica entre las constantes electrolíticas (Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} y Cl^-) y la duración de los segmentos PQ, ST y espacios PQ, QRS y QT electrocardiográficos en el control y al final de tres horas de hipoxia.

	Coef.	Control	%	Coef.	Hipoxia	%
Electrólitos						
Na^+	0,3042		31,38	0,1792		12,00
K^+	0,0858		8,85	0,3244		21,72
Ca^{++}	0,0997		10,20	0,1600		10,72
Mg^{++}	0,4337		44,74	0,2436		16,31
Cl^-	0,0459		4,74	0,5861		39,25
Parámetros electrocardiográficos						
Segmento PQ	0,2422		12,69	0,4177		20,59
Segmento ST	0,3213		16,83	0,3383		16,68
Espacio PQ	0,5897		30,89	0,6961		34,32
Espacio QRS	0,0580		3,04	0,4618		22,77
Espacio QT	0,6977		36,55	0,1145		5,64
Correlación canónica: 0,833 ^b				0,832 ^b		

b: $P > 0,05$.

Discusión

La inhalación de la mezcla de gases (7 % de O_2 en N_2) aplicada durante tres horas a perros anestesiados con pentobarbital sódico, produjo un descenso significativo en la concentración plasmática arterial de potasio, resultado que concuerda con el obtenido por KOLOMYADES *et al.* (8) y por PURSHATAN y GHOSH (13). Dicho descenso de K^+ pudiera ser debido a un incremento del intercambio a nivel tubular renal entre Na^+ y K^+ como consecuencia de haberse producido un aumento en la secreción de aldosterona por las adrenes. Por su parte, GOLD *et al.* (7) y COTTERELL y WHITTAM (3) afirman que la hipokalemia producida en los estados deficitarios de oxígeno es secundaria a la aparición de alcalosis.

Las pequeñas variaciones no significativas, producidas en las concentraciones plasmáticas arteriales de Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} y Cl^- , durante dicho período experimental, ponen de manifiesto el elevado grado de compensación renal y pulmonar.

El descenso significativo del voltaje de la onda R obtenido durante la hipoxia, se debe a una disminución del gradiente

iónico en las fibras miocárdicas como consecuencia de la reducción de la síntesis de ATP en las mismas. El incremento del voltaje de la onda T pone de manifiesto la aparición de un cuadro de isquemia subendocárdica de acuerdo con los trabajos de SAMUELSON (16), mientras que la prolongación del segmento ST y del espacio PQ parecen indicar un retardo entre la despolarización y repolarización ventriculares y en la conducción aurículo-ventricular, respectivamente, resultados que concuerdan con los obtenidos por TRAUTWEIN (19) y CHO *et al.* (5). El resto de los parámetros electrocardiográficos no sufrieron variaciones significativas.

Resultaron significativos los coeficientes de correlación lineal establecidos entre la concentración plasmática de Ca^{++} y el voltaje de la onda P; entre la de Na^+ y el espacio QRS; entre la de Ca^{++} y el segmento ST y entre la de Mg^{++} y el espacio QT, estando todos en forma directa, mientras que al final de la hipoxia resultaron también significativas las correlaciones lineales establecidas entre la concentración plasmática de Na^+ y el voltaje de la onda S; entre la del Mg^{++} y las ondas P y R y el espacio QT, todas ellas

inversas, y entre la del Ca^{++} y el segmento ST que lo fue en forma directa.

Los únicos coeficientes de correlación lineal que se modificaron significativamente en transcurso de la hipoxia fueron los establecidos entre la concentración plasmática de Mg^{++} y el voltaje de la onda R, que pasó de ser directo y débil al comienzo de la hipoxia a inverso y más fuerte al final, y el establecido entre la del Na^+ y el espacio QRS, que pasó de ser directo y fuerte al principio a inverso y débil al final.

De las correlaciones canónicas estudiadas ninguna resultó con grado de probabilidad significativa.

Resumen

Se han estudiado las modificaciones producidas en las concentraciones plasmáticas de electrolitos y parámetros electrocardiográficos, así como sus coeficientes de correlación lineal y canónica, por acción de una mezcla de gases formada por un 7 % de O_2 en N_2 , durante 3 horas de exposición en perros.

Al finalizar el proceso hipóxico se observó la aparición de un cuadro de hipokalemia, acompañado de una elevación del voltaje de la onda T, una disminución del de la onda R y un alargamiento del segmento ST y del espacio PQ.

Los coeficientes de correlación lineal establecidos entre la concentración plasmática de magnesio y el voltaje de la onda R y entre la del sodio y la duración del espacio QRS pasaron, durante la hipoxia, de estar interrelacionados directamente al comienzo de la misma a estarlo inversamente al final.

Bibliografía

1. BENECH, R. y BENECH, R. E.: *Fed. Proc.*, 29, 1101-1104, 1970.
2. BOHUON, C.: *Clin. Chem. Acta*, 7, 811-817, 1962.
3. COTTERELL, D. y WHITTAM, R.: *J. Physiol.*, 214, 509-536, 1971.
4. CHEYNEAKAEVA, E. YU.: *C. R. Acad. Sci.*, 47, 452-455, 1945.
5. CHO, Y. W., GALLETTI, P. M. y NELSON, L.: *Circulation*, 27, 748-752, 1936.
6. CHRISTENSEN, W. R. y HASTING, A. B.: *J. Aviation Med.*, 20, 221-223, 1949.
7. GOLD, A. J., WARRY, J. G. y FERGUSON, F. P.: *J. Appl. Physiol.*, 16, 837-838, 1961.
8. KOLOMYADES, C. T., COHN, J. D. y ROSKIN, PH.: *Aerosp. Med.*, 41, 520-521, 1970.
9. LAMOTTE, M.: *Estadística Biológica. Principios fundamentales*. Ed. Toray-Mason. Barcelona, 1965, pág. 132.
10. MANN, C. K.: *Anal. Chem. Acta*, 16, 155-159, 1957.
11. MANN, C. K. y YOE, J. H.: *Anal. Chem.*, 28, 202-205, 1956.
12. NATELSON, S.: *Microtécnicas de Química Clínica*. Ed. Toray. Barcelona, 1964, página 195.
13. PURSHATAN, T. y GHOSH, N. C.: *Amer. J. Physiol.*, 225, 801-809, 1973.
14. ROMERO, P. J. y WHITTAM, R. J.: *J. Physiol.*, 234, 481-483, 1971.
15. RUIZ, F., REY DE VIÑAS, J. L. y LUCAS-GALLEGO, J.: *Rev. esp. Fistol.*, 30, 81-84, 1974.
16. SAMUELSON, R.: *Acta Physiol. Scand.*, 88, 267-280, 1973.
17. SCHATZMANN, H. J. y VIZCENCI, F. F.: *J. Physiol.*, 201, 369-395, 1969.
18. SEVERINGHAUS, J. W. y GARCELEN, A. B.: *J. Appl. Physiol.*, 19, 319-321, 1964.
19. TRAUTWEIN, W.: *Pharmacol. Rev.*, 15, 277-332, 1963.
20. WARREN, W. O., SOMBREY, J. y WANDALL, H. H.: *Surg. Gynec. Obst.*, 117, 667-685, 1963.

