

Variaciones del magnesio sérico en cirugía cardiovascular con derivación cardiopulmonar (DCP)

Ortiz CJL,* Gallardo LNM,* Ortega PS,* Mendoza de la V HE,**
Lozano NR,*** González OSA****

* Residente de 4to. año en Anestesia Cardiovascular, Hospital de Cardiología Centro Médico Nacional Siglo XXI.

** Médico adscrito al Servicio de Anestesia Cardiovascular, Hospital de Cardiología Centro Médico Nacional Siglo XXI.

*** Jefe del Servicio de Anestesia Cardiovascular, Hospital de Cardiología Centro Médico Nacional Siglo XXI.

**** Maestría en Investigación Clínica, Especialidad en Estadística, Administrador de Calidad del Laboratorio y Asesor en Investigación Clínica en el Hospital CEMEV «Dr. Rafael Lucio» Veracruz.

Departamento de Anestesia Cardiovascular,
Hospital de Cardiología Siglo XXI, México, DF.

Solicitud de sobretiros:

Ortiz CJL
Corregidora No. 55 Fracc. los Ángeles CP 91060
Jalapa, Veracruz.
E-mail: jortizc@yahoo.com.mx

Recibido para publicación: 06-02-07.

Aceptado para publicación: 31-08-10.

Este artículo puede ser consultado en versión completa en
<http://www.medigraphic.com/rma>

RESUMEN

Se estudiaron 80 pacientes que fueron programados para cirugía cardiovascular que requirieron derivación cardiopulmonar (DCP), a los cuales se les realizó determinaciones de magnesio sérico en tres ocasiones, la primera como muestra basal al llegar a quirófano, la segunda durante la DCP y la última al salir de quirófano. El objetivo es observar las variaciones que se pueden presentar durante el perioperatorio y las complicaciones electrocardiográficas y hemodinámicas que conlleven las diferentes determinaciones. El resultado se conocerá al finalizar la cirugía para no modificar el manejo transanestésico. Las cirugías realizadas fueron: 16 de válvula mitral, 21 para válvula aórtica, 19 de revascularización coronaria, 7 válvulas tricuspídeas, 13 cirugías combinadas y 4 congénitos (1 Jatene, 1 Fontan y 2 Comunicación Interauricular). El resultado que se obtuvo para la primera muestra basal de $p = 0.002954$, para la segunda muestra el valor de $p = 0.00014$ y la última muestra final con un valor de $p = 0.237423$, esto nos conlleva a un valor significativo, mediante la prueba de Mann-Whitney de 0.000061 y para la prueba de ANOVA para tratamientos de 0.000020 siendo estadísticamente significativo. **Conclusión:** Existe pérdida de magnesio durante el transoperatorio produciendo hipomagnesemia, siendo ésta mayor posterior a la DCP produciendo arritmias cardíacas e inestabilidad hemodinámica.

Palabras clave: Sulfato de magnesio, arritmias, derivación cardiopulmonar.

SUMMARY

There were studied 80 patients who were scheduled for cardiovascular surgery and required cardiopulmonary derivation. The were performed magnesium seric determinations three times on each one of them, the firstone as basal sample before getting to the surgery room, the second one during the cardiopulmonar derivation and the last one when they left the surgery room. The purpose was to observe the variations that can happen during the perioperative and the electrocardiography and hemodynamic complications that result from the various determinations. The result will be known at the end of the surgery for not to modify the transanesthetic handling. The performed surgeries were: 16 of valve mitral, 21 for valve aortic, 19 of bypass coronary, 7 of valves tricuspid, 13 combined surgeries and 4 congenital heart disease 1 Jatene, 1 Fontan and 2 interear communication (CIA). The **Result:** Was obtained from the first basal sample was $p = 0.002954$, from the second sample was $p = 0.00014$ and from the final sample was $p = 0.237423$. These results gives us a significative value, by the test of Mann-Whitney of 0.000061 and by the test of ANOVA for treatments of 0.000020, being statistically significant. **Conclusion:** A last of magnesium exists during the transurgery that produce

hypomagnesemia that is greater after the cardiopulmonary derivation and this causes heart arrhythmias and hemodynamics instability.

Key words: Sulfate of magnesium, arrhythmias, cardiopulmonar bypass derivation.

INTRODUCCIÓN

Está escrito en la actualidad que la participación de iones actúa de manera importante para la regulación de la estabilidad de la membrana celular, así como de su funcionamiento, uno de ellos es el magnesio (Mg), el cual se ha estudiado ampliamente porque interviene en más de 300 reacciones enzimáticas y juega un papel importante en la estabilidad del sistema de conducción del miocardio y de la fibra miocárdica, es en particular de relevancia para la anestesia cardiovascular en el manejo del infarto del miocardio, arritmias y durante la cirugía cardiovascular.

El sulfato de magnesio es un ion de predominio intracelular, esencial en muchos sistemas enzimáticos del metabolismo de lípidos, carbohidratos y proteínas. Los aspectos sobresalientes del magnesio son: Un gramo de sulfato de magnesio equivale a 8 mEq; 4 mmol ó 98 mg de magnesio elemental.

La cantidad total de magnesio en el organismo es de 0.33 mg/kg (1.32 mmol/kg) o de unos 2,000 mEq, pero sólo la mitad se intercambia rápidamente. Está distribuido en suero y glóbulos rojos (1%), hueso (53%), espacio intracelular del músculo (27%), tejidos blandos (19%). El 99% del magnesio intracelular se encuentra unido a matrices orgánicas. Una persona adulta sana ingiere de 200 a 350 mg diariamente, la mitad de esta cantidad es absorbida en el yeyuno e íleon por mecanismos activos y pasivos. La homeostasis del magnesio depende en gran manera de su ingesta.

Es considerado un bloqueador de los canales de calcio, la hipomagnesemia incrementa el calcio intracelular y en casos de hipermagnesemia se inhibe el paso del calcio del retículo sarcoplásmico al espacio extracelular. En el músculo liso los niveles bajos de magnesio incrementan el efecto vasoconstrictor de catecolaminas y de la angiotensina II.

El magnesio es esencial para la activación de muchas enzimas, por esta propiedad es capaz de modificar distintas vías metabólicas, dentro de éstas se encuentran las del metabolismo de la glucosa, síntesis y lisis de ácidos grasos y proteínas. Además es necesario para la actividad de la adenilatociclasa, la cual transporta la señal de diferentes hormonas al espacio intracelular. La adenilatociclasa es activada por la proteína G que se encuentra en la membrana celular, la subunidad alfa de esta enzima es activada por una reacción de guanino – fosforilación dependiente de magnesio.

Es un catión intracelular de vital importancia para muchas reacciones enzimáticas y de intercambio de iones como se ha mencionado, nos enfocaremos en este estudio de la par-

ticipación que tiene el magnesio en cirugía cardiovascular tomando en cuenta las repercusiones que puede tener la hipomagnesemia durante el procedimiento quirúrgico, la derivación cardiopulmonar (DCP), la salida de la misma y durante el postoperatorio en la terapia postquirúrgica, ya que una de sus propiedades es producir estabilidad de la membrana disminuyendo o privando de la presencia de arritmias durante dicho procedimiento quirúrgico.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los criterios de inclusión para este estudio fue todo paciente de cualquier edad programado para cirugía cardíaca que requirió DCP que incluyeron prótesis valvular, recambio valvular, revascularización coronaria y pacientes congénitos, a partir del 01 de Sep. del 2006 al 30 de Nov. del 2006, en el Hospital de Cardiología del Centro Médico Nacional Siglo XXI (HCCMN SXXI) (Cuadro I).

A cada paciente se le realizó 3 tomas séricas de magnesio de la siguiente manera: la primera al momento de llegar a quirófano como muestra basal, la 2da. durante la DCP y la 3ra. al término de la cirugía.

Se llevó un registro electrocardiográfico continuo de superficie desde su ingreso en derivación DII para observar arritmias y un electrodo explorador para registrar V5 que nos registró datos de isquemia, así como también monitoreo invasivo de la presión arterial con la colocación de un catéter arterial en brazo izquierdo previa prueba de Allen y se registró mediante monitores tipo Sirecust 730 (Siemens), así como la colocación de catéter venoso central para toma de presión venosa central, mediante columna de agua.

Las muestras se depositaron en tubos rojos secos sin anticoagulante y se procesaron en el laboratorio anexo a los quirófanos del HCCMN Siglo XXI, dichas muestras fueron analizadas a través del equipo Konelab 20.

Los resultados de la determinación del magnesio se conocieron al final de la cirugía para hacer un comparativo de las muestras, así como de su repercusión durante el procedimiento quirúrgico.

Las arritmias que se presentaron durante la cirugía fueron tratadas con medicamentos antiarrítmicos para su manejo, incluyendo sulfato de magnesio 1 g IV, xilocaína simple al 2% a la dosis de 1 mg por kilo de peso.

Participaron en el estudio todo aquel paciente cardiópata programado para cirugía de corazón y su consentimiento informado por escrito y que cumplieron los criterios de inclusión.

El presente estudio se apega a las normas de la Ley General de Salud en materia de investigación, al Código de Bioética para el personal de Salud (2002), a las normas del Comité de Investigación del Hospital de Cardiología del Centro Médico Nacional Siglo XXI y toma en cuenta las normas del Código de Helsinki (Edinburgh, Scotland 2000 y Washington 2002).

El manejo anestésico se realizó de acuerdo a las condiciones del paciente y estado hemodinámico, El narcótico: fentanyl de 3 – 5 µg/kg, inductor: Diazepam a 200 µg/kg o bien propofol 1 – 2 mg/kg, y de relajante: Vecuronio a dosis de 100 µg/kg. El mantenimiento anestésico a base de los mismos medicamentos y halogenado (desflurano de 5 – 10 Vol%), apoyo de amins vasoactivas según lo requirió el paciente, que varía de: Dopamina, dobutamina, adrenalina y noradrenalina y vasodilatadores nitroglicerina, nitroprusiato.

RESULTADOS

Análisis descriptivo

De acuerdo a la distribución por género, la figura 1 muestra que existe predominio del género masculino, con el 55%, en tanto que el género femenino sólo ocupa el 45%, siendo la relación establecida de 1.2:1, o bien, 12 varones por cada 10 mujeres.

Con relación a la distribución por edades, la figura 2 muestra el mayor porcentaje de edad presentado y el intervalo correspondiente:

De la figura anterior puede observarse que el intervalo de edad que se presenta con mayor frecuencia es el que va de 61 a 65 años, con el 21.3% (17 casos), seguido de los intervalos que van de 66 a 70 y de 71 a 75, representando el 20 y 18.8%, respectivamente.

Análisis exploratorio

La figura 3 muestra la distribución simétrica y asimétrica de las mediciones de magnesio en los tres tiempos tomados. Las figuras 3a y 3b muestran una distribución

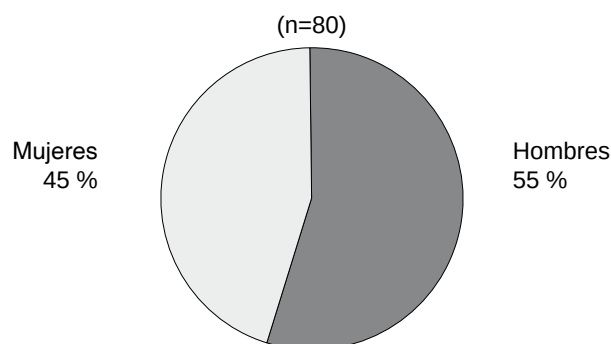


Figura 1. Distribución porcentual por género.

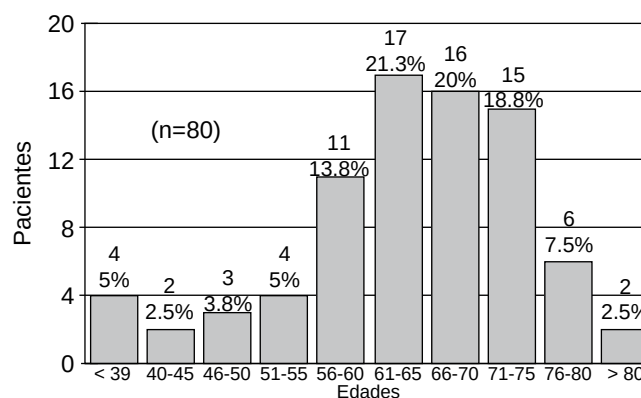


Figura 2. Distribución por edades.

Cuadro I. Datos demográficos.

	Total	Edad	Sexo	Peso
Val. aórtica	21	H : 58 ± 12 M : 52 ± 8	H : 12 M : 9	H : 75 ± 10 M : 68 ± 9
Val. mitral	16	H : 60 ± 7 M : 54 ± 6	H : 9 M : 7	H : 74 ± 8 M : 62 ± 14
Val. tricúspide	7	H : 45 ± 4 M : 50 ± 2	H : 3 M : 4	H : 80 ± 5 M : 70 ± 10
Revascularización	19	H : 62 ± 8 M : 60 ± 5	H : 12 M : 7	H : 79 ± 12 M : 63 ± 9
Válvula más revascularización	12	H : 60 ± 5 M : 58 ± 4	H : 7 M : 6	H : 77 ± 9 M : 62 ± 10
Congénitos	4	H : 1 año M : 2 ± 1	H : 1 M : 3	H : 9 M : 10 ± 2
Total	80		H : 44 M : 36	

asimétrica para las mediciones, en tanto que la figura 3c presenta una distribución simétrica, las cuales fueron confirmadas mediante la prueba de Shapiro-Wilk para normalidad, cuyos valores de p se describen al pie de cada figura.

De esta forma, para la primera distribución, figura 3a, correspondiente a muestras basales, se aprecia que los intervalos con mayor frecuencia son los que van de 1 a 1.4 y de 1.5 a 1.9; correspondiente al 31.3% para ambos casos. La figura 3b muestra una mayor frecuencia en el intervalo que va de 1.6 a 1.7 con el 32.5%, en tanto que la distribución

simétrica normal que se puede apreciar objetivamente de la figura 3c, presenta una mayor frecuencia en el intervalo que va de 1.6 a 1.7 con el 27.5%, seguido de los intervalos que van del 1.4 al 1.5 y del 1.8 al 1.9, representando el 20% en ambos casos.

En relación al tipo de cirugía aplicada, la figura 4 muestra un mayor porcentaje para «válvula aórtica», con el 26.3%, seguido de «revascularización» con el 23.8% y de «válvula mitral» con el 20.0%.

El número de pacientes que presentó arritmia durante cualesquiera de los tipos de cirugía, se expresan en la figura 5.

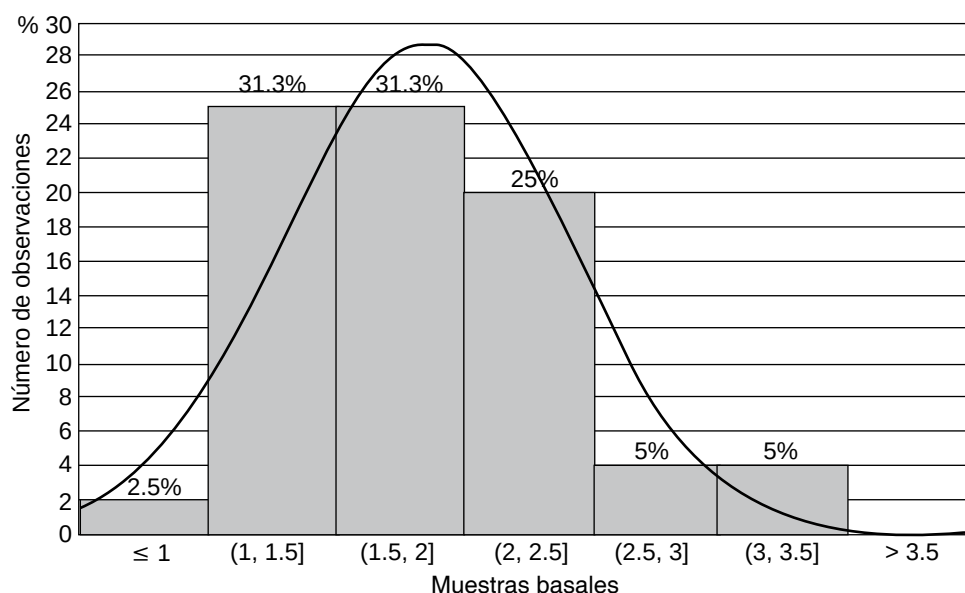


Figura 3a. Distribución de las mediciones de magnesio. Muestras basales ($p = 0.002954$).

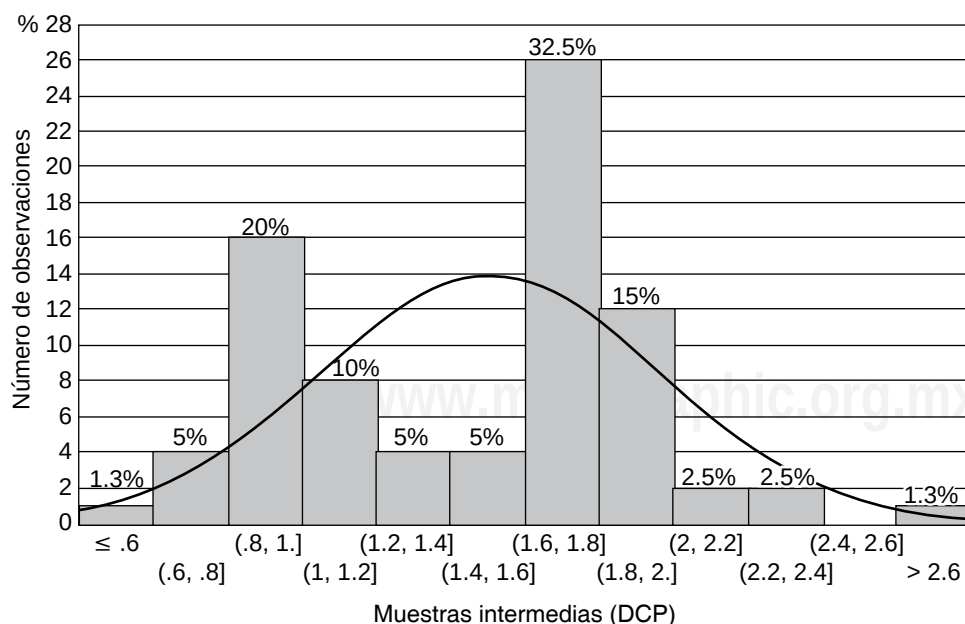


Figura 3b. Distribución de las mediciones de magnesio. Muestras intermedias (DCP) ($p = 0.00014$).

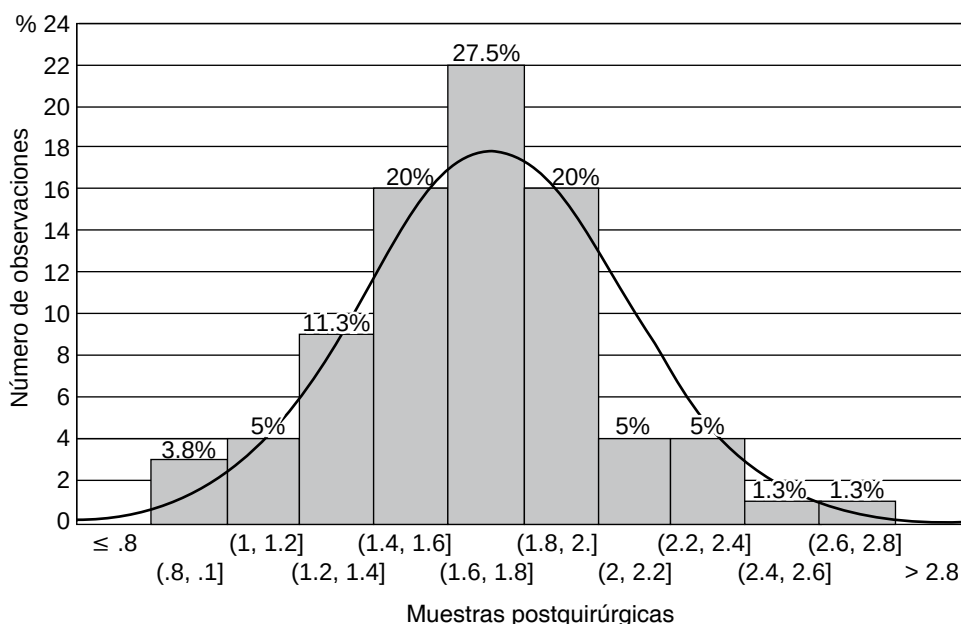


Figura 3c. Distribución de las mediciones de magnesio. Muestras finales (p = 0-237423).

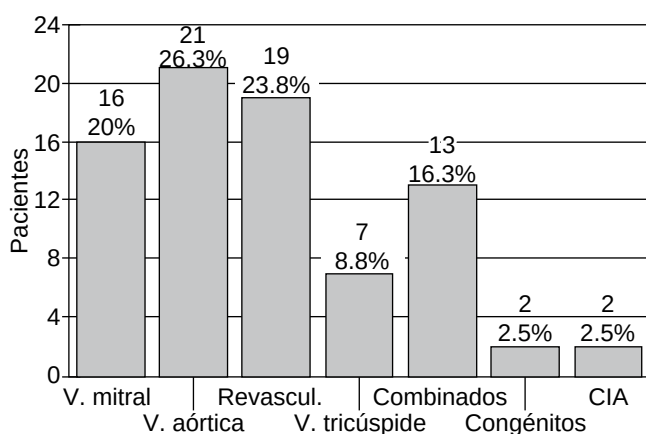


Figura 4. Distribución por tipo de cirugía.

Análisis final

Por último, para determinar si existe variación en el comportamiento de magnesio antes, durante y después de cada cirugía, y con base en la distribución asimétrica de los datos, se realizó análisis de Varianza de 1 vía y la prueba no paramétrica de Mann-Whitney para explicar la relación (Cuadros II y III).

De acuerdo a los resultados de las pruebas de ANOVA y Mann-Whitney para los tratamientos, es decir, para los diferentes tests de evaluación del magnesio, se aprecia que estadísticamente es válido asegurar que con una confiabilidad del 95% y un valor de significancia del 5% las diferentes condiciones en las cuales se presenta el magnesio son diferentes.

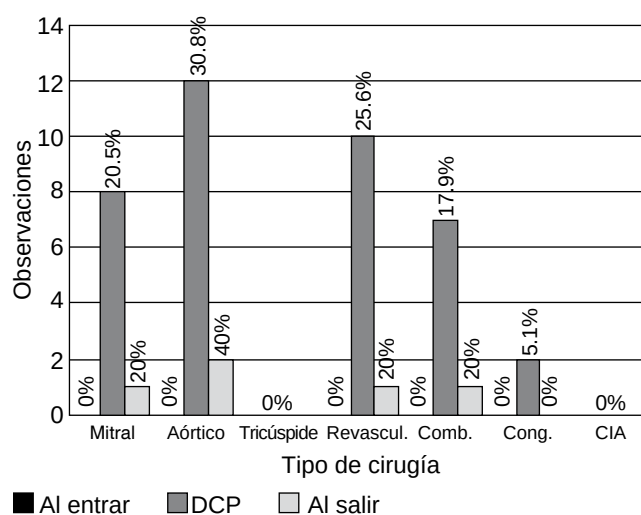


Figura 5. Pacientes que presentaron arritmia, clasificados por tipo de cirugía.

DISCUSIÓN

El resultado obtenido, confirma lo que diferentes autores describen en sus trabajos de la importancia del catión magnesio y del papel que juega en la regulación del ritmo y de la estabilidad hemodinámica, de aquí tenemos numerosos estudios del magnesio y de sus prioridades como lo describe Fawcett y col⁽¹⁾ de la fisiología y farmacología del magnesio, donde refiere su importancia y la función que tiene a nivel celular, es un mineral clasificado como esencial para el organismo, se sitúa como macroelemento según sus requerimientos, que

Cuadro II. Prueba de ANOVA para tratamientos.

	F	Nivel de p	Valor
Tx	11.34208	0.000020	Significativo

Cuadro III. Prueba de Mann-Whitney.

	U	Valor de: Z ajustado	Nivel de p	Prueba
VAR2	2030.000	4.011358	0.000061	Significativo

pueden ser de 12 a 15 mmol/d, como lo describe Abraham A⁽²⁾. El Mg es importante para una apropiada conducción nerviosa, el transporte de iones parece modular la actividad de los canales, regula la permeabilidad de la membrana celular, la excitabilidad neuromuscular y desempeña un papel relevante en el metabolismo de los carbohidratos⁽³⁾. Marano y Luderitz y cols^(4,5) refieren que existe un factor desconocido del Mg, reduce la isquemia severa del miocardio mediante una acción vasodilatadora periférica que mejora el perfil hemodinámico del miocardio. Spisak⁽⁶⁾ sugiere que el Mg protege el músculo cardíaco y previene la amenaza de irregularidades del ritmo del corazón. Por todo lo anterior se ha planteado que si se administra Mg intravenoso durante un infarto agudo del miocardio (IAM), se reduce la mortalidad y en este sentido se han realizado diferentes estudios, ya que la concentración de Mg extracelular parece regular la tensión basal y el tono vascular en dependencia de la dosis como lo define Woods y Fletcher⁽⁷⁾. Hiroki y cols⁽⁸⁾ en su estudio de 200 pacientes administraron 2.47 g de sulfato de Mg a 100 pacientes voluntarios y el grupo control sin premedicación como preventivo de la fibrilación auricular obteniendo resultados favorables. Forlani y cols⁽⁹⁾ compararon el Mg y el sotalol en cirugía de revascularización como preventivo de la fibrilación auricular obteniendo en forma individual al sotalol 14.8 %. El magnesio 1.9% y la combinación de ambos el 38%, siendo estadísticamente significativo el efecto de ambos medicamentos como preventivo de la fibrilación auricular. Casthely y cols⁽¹⁰⁾ formaron 4 grupos a los cuales administraron 10 mg/kg de Mg en 3 grupos en pacientes con hipocalcemia y normocalcemia y función renal normal, así como también previo a la DCP y posterior a la DCP en cirugía de revascularización, observando menor incidencia de arritmias posterior a la revascularización en quienes se les administró el magnesio a diferencia del grupo control que no recibió dicho tratamiento. Lu Cy, Tan Ph y cols⁽¹¹⁾ analizaron el magnesio ionizado en niños sometidos a cirugía con DCP en defectos congénitos, divididos en relación a su peso en 3 grupos, Grupo

1 < de 10 kg; Grupo 2 de 11 a 19 kg y Grupo 3 > de 20 kg, y se demuestra que a mayor masa corporal es mayor la pérdida del magnesio ionizado y sobre todo durante la DCP y sugieren la reposición de magnesio previo a la DCP y disminuir las complicaciones de la hipomagnesemia. Speziale G y cols⁽¹²⁾ utilizaron sulfato de Mg como profiláctico en las arritmias posterior a la revascularización coronaria, disminuyendo de manera importante las complicaciones del ritmo a quienes se les administró. Shakerinia, Ali, Sullivan⁽¹³⁾ añadieron sulfato de Mg en la cardioplejía obteniendo una reducción importante de isquemia ventricular y de arritmias ventriculares posterior a la revascularización coronaria. Aglio y cols⁽¹⁴⁾ en su estudio de 101 pacientes, demostraron que es común la hipomagnesemia posterior a la DCP y como consecuencia la aparición de trastornos del ritmo. Wistbacka JO y cols⁽¹⁵⁾ realizaron un estudio a doble ciego en la reposición de Mg en cirugía de revascularización coronaria, utilizando MgCl en un grupo y MgSO₄ en otro grupo en un total de 81 pacientes, con mejores resultados con la utilización del MgSO₄.

Azis S y cols⁽¹⁶⁾ determinan el magnesio ionizado y la correlación de otros cationes en cirugía de revascularización coronaria y miden niveles de Mg, Ca, K, pH, Na y hematocrito durante la DCP con importante disminución del Mg y que posteriormente se tradujo en fibrilación auricular postquirúrgica. Harris, Crowther, Jupp y Aps⁽¹⁷⁾ corroboraron el efecto del Mg en revascularización coronaria con una incidencia del 22% de arritmias a quienes se les administró el Mg. A diferencia de quienes no recibieron reposición de Mg se presentó un 63% de arritmias cardíacas. Steinberger y Hanson⁽¹⁸⁾ justifican que la administración de magnesio y la reposición del mismo juega un papel importante en la prevención de arritmias cardíacas postoperatorias. Wilkes y cols⁽¹⁹⁾ en su estudio de 85 pacientes, demostraron que la reposición del magnesio plasmático postoperatorio reduce el riesgo de arritmias cardíacas, los cuales fueron monitorizados por 72 h posterior a la revascularización coronaria mediante Holter y electrocardiograma. Nickole y cols⁽²⁰⁾ en un metaanálisis demuestran el impacto que tiene el magnesio en la fibrilación auricular posterior a cirugía cardíaca con menor incidencia de presencia de arritmias postoperatorias, estudio realizado de 1999 a 2004. Toshiya y cols⁽²¹⁾ utilizaron como profiláctico para arritmias el uso de magnesio después de cirugía cardíaca en 2,069 pacientes observando una reducción importante del riesgo de arritmias supraventriculares, fibrilación auricular y arritmias ventriculares posterior al evento quirúrgico. Wong y cols⁽²²⁾ define que existe hipomagnesemia en un 12% de los pacientes hospitalizados y en 60 a 65% de los pacientes que ingresan a la UCI.

Se ha demostrado la importancia del ion magnesio y el déficit del mismo, sobre todo en pacientes que ingresan a unidad hospitalaria, el conocer los niveles séricos es de vital importancia para el paciente, sobre todo en aquellos que

padecen enfermedad cardíaca y que van a ser intervenidos quirúrgicamente.

CONCLUSIONES

Durante este estudio se observó que el 42% de los pacientes estudiados desde la primera muestra ya presentaban hipomagnesemia sérica y que repercutió de manera importante durante el transcurso de la cirugía, sobre todo al salir de la derivación cardiopulmonar (DCP).

Esto confirma que los niveles de magnesio sérico son importantes porque repercuten en la homeostasis del paciente, en donde se compararon los niveles reportados y el comportamiento electrocardiográfico y hemodinámico del paciente.

La mayor repercusión se tuvo al salir de la derivación cardiopulmonar manifestado por trastornos del ritmo, entre ellos, extrasístoles ventriculares, fibrilación auricular y

ventricular, requiriendo fármacos antiarrítmicos, entre ellos el sulfato de magnesio, xilocaína simple y esmolol a dosis respuesta.

La cirugía para implante valvular aórtico, la revascularización coronaria y la válvula mitral fueron en orden respectivamente las que mayores trastornos del ritmo presentaron al salir de la derivación cardiopulmonar, comparándolos con los niveles séricos de magnesio, estos pacientes presentaban hipomagnesemia con reportes menores a 1 mg/dL a nivel sérico y que también repercutió en la hemodinamia del paciente.

La conclusión que se obtiene es mantener niveles adecuados de magnesio sérico para permitir una mayor estabilidad de la fibra miocárdica y del ritmo sinusal que conlleva a una hemodinamia favorable durante todo el perioperatorio del paciente programado para cirugía cardíaca y que requiera de la derivación cardiopulmonar.

REFERENCIAS

1. Fawcett WJ, Haxby EJ, Male DA. Magnesium: physiology and pharmacology. *Br J Anaesth* 1999;83:302-20.
2. Abraham A. Potassium and magnesium concentrations as prognostic factors after acute myocardial infarction. *Cardiology* 1988;75:194-9.
3. Porrata MC, Hernández T, Argüelles V. Recomendaciones nutricionales y guías de alimentación para la población cubana. La Habana: Editorial Pueblo y Educación; 1986.
4. Marano L, Bestetti A, Louinscio A, Tagliabue L, Castini D, Dario P, et al. Effects of infusion of glucose – insulin – potassium on myocardial function after a recent myocardial infarction. *Acta Cardiol* 2000;55:9-14.
5. Luderitz B, Manz M. The value of magnesium in intensive care. *Born Z Kardiol* 1994;83:121-6.
6. Spisak, V. Treatment of acute myocardium infarct with magnesium. *Unitr Lek* 1994;40:649-53.
7. Woods KL, Fletcher S. Long term outcome after intravenous magnesium sulphate in suspected acute myocardial infarction: the second Leicester intravenous (magnesium intervention trial LIMIT 2). *Lancet* 1994;343:816-9.
8. Hiroki K, Toshiya K, Hitoshi K, Masaru M. Three-day magnesium administration prevents atrial fibrillation after coronary artery bypass grafting. *Ann Thorac Surg* 2005;79:117-26.
9. Forlani S, Moscarelli M, Scafuri A, Pellegrino A, Chiariello L. Combination therapy for prevention of atrial fibrillation after coronary artery bypass surgery: a randomized trial of sotalol and magnesium. *Card Electrophysiol Rev* 2003;7:168-71.
10. Casthely PA, Yoganathan T, Komer C, Kelly M. Magnesium and arrhythmias after coronary artery bypass surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 1994;8:188-91.
11. Lu CY, Tan PH, Lin SH, Tsai SK, Lin SM, Mao CC, Yang LC. Body weight – related ionized hypomagnesemia in pediatric patients undergoing cardiopulmonary bypass for surgical repair of congenital cardiac defects. *J Clin Anesth* 2003;15:189-93.
12. Speziale G, Ruvolo G, Fattouch K, Macrina F, Tonelli F, Donnetti M, Marino B. Arrhythmia prophylaxis after coronary artery bypass grafting: regimens of magnesium sulfate administration. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2000;48:22-6.
13. Shakerinia T, Ali IM, Sullivan JA. Magnesium in cardioplejia: is it necessary? *Can J Surg* 1996;39:397-400.
14. Aglio LS, Stanford GG, Maddi R, Boyd JL 3rd, Nussbaum S, Chernow B. Hypomagnesemia is common following cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 1991;5:197-202.
15. Wisthaka JO, Koistinen J, Karlqvist KE, Lepojarvi MV, Hanhela R, Laurila J, Nissinen J, et al. Magnesium substitution in elective coronary artery surgery: a double blind clinical study. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 1995;9:140-6.
16. Aziz S, Haigh WG, Van Norman GA, Kenny RJ, Kenny MA. Blood ionized magnesium concentrations during cardiopulmonary bypass and their correlation with other circulating cations. *J Card Surg* 1996;11:341-7.
17. Harris MN, Crowther A, Jupp RA, Aps C. Magnesium and coronary revascularization. *Br J Anaesth* 1988;60:779-83.
18. Steinberger HA, Hanson CW 3rd. Outcome – based justification for implementing new point – of – care test: there is no difference between magnesium replacement based on ionized magnesium and total magnesium as a predictor of development of arrhythmias in the postoperative cardiac surgical patient. *Clin Lab Manage Rev* 1998;12:87-90.
19. Wilkes NJ, Mallet SV, Peachev T, Di Salvo C, Walesby R. Correction of ionized plasma magnesium during cardiopulmonary bypass reduces the risk of postoperative cardiac arrhythmia. *Anesth Analg* 2003;96:1838-1843.
20. Nickole N, Effie L, White M, Kluger J, Coleman C. Impact of intravenous magnesium on post – cardiothoracic surgery atrial fibrillation and length of hospital stay: A Meta – analysis. *Ann Thorac Surg* 2005;80:2402-2406.
21. Toshiya S, Zen'ichiro W, Tetsuo I, Ryo O. Magnesium prophylaxis for arrhythmias after cardiac surgery: A meta – analysis of randomized controlled trials. *Am J Med* 2004;117:325-333.
22. Wong E, Rude R, Singer F, et al. A high prevalence of hypomagnesemia and hypermagnesemia in hospitalized patients. *Am J Clin Pathol* 1983;79:348-52.