

Metodología físico-matemática de evaluación del pH y la presión de dióxido de carbono arteriales y venosos en la unidad de cuidados intensivos

Laura Méndez¹, Javier Rodríguez², Signed Prieto³, Catalina Correa⁴, Henry Oliveros⁵, Yolanda Soracipa⁶, Michelle Artica⁷, Fernán Mendoza⁸, Vianney Díaz⁹, Marcela Mejía¹⁰

1. Estudiante de medicina. Línea de profundización, internado especial y semillero: Teorías físicas y matemáticas aplicadas a la medicina. Centro de Investigaciones Clínica del Country-Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.
2. MD. Director del Grupo Insight. Centro de Investigaciones Clínica del Country. Director de la Línea de profundización, internado especial y semillero: Teorías físicas y matemáticas aplicadas a la medicina, Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.
3. Investigadora Grupo Insight. Centro de Investigaciones Clínica del Country. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.
4. Pisc. Investigadora Grupo Insight. Centro de Investigaciones Clínica del Country. Docente de la Línea de profundización, internado especial y semillero: Teorías físicas y matemáticas aplicadas a la medicina, Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.
5. MD. M.Sc. Coordinador Unidad de Cuidados Posquirúrgicos-Hospital Militar Central. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.
6. Lic. Fis. Investigadora Grupo Insight. Centro de Investigaciones Clínica del Country. Bogotá, Colombia.
7. MD. Medica en Formación, Departamento de Neurología. Katholisches Klinikum Koblenz. Alemania.
8. MD. Cardiólogo Profesor y Director del programa de Cardiología Universidad El Bosque; Jefe del Departamento de Cardiología Clínica Fundación Clínica Shaio. Investigador Grupo Insight. Bogotá D.C., Colombia.
9. PhD. Investigadora Grupo Cultura y Desarrollo Humano. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.
10. PhD. Ing. Investigadora Grupo TIGUM. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.

Recibido 26 de diciembre de 2016. Aceptado 03 de mayo de 2017.

RESUMEN

Introducción: La dinámica cardíaca ha sido caracterizada a partir de la teoría de los sistemas dinámicos y la geometría fractal, permitiendo generar metodologías de aplicación clínica.

Objetivo: desde los sistemas dinámicos, se desarrollará una metodología de evaluación de los pH y presiones de dióxido de carbono arteriales y venosos para pacientes de la Unidad de Cuidados Intensivos.

Materiales y Métodos: se escogieron 10 pacientes con diversas patologías de la Unidad de Cuidados Intensivos Postquirúrgicos del Hospital Militar Central, registrando pH y presiones de dióxido de carbono arteriales y venosas durante su tiempo de estancia; posteriormente se construyeron atractores, determinando su tipo de trayectoria y estableciendo los valores máximos y mínimos de estas variables en el mapa de retardo.

Resultados: se encontró un comportamiento caótico de las variables evaluadas, hallando valores mínimos y máximos de 7,01 y 7,59 para pH arterial, 6,97 y 7,53 para pH venoso, 14,40 y 73,70 para presión arterial de dióxido de carbono, y 19,20 y 97,90 para presión venosa de dióxido de carbono.

Conclusiones: La evaluación de los valores máximos y mínimos del atractor en el mapa de retardo constituye un nuevo método, objetivo y reproducible, para la evaluación matemática de cada una de las variables estudiadas, de utilidad para el seguimiento de pacientes en UCI.

Palabras clave: pH arterial, pH venoso, presión arterial de dióxido de carbono, presión venosa de dióxido de carbono, atractor caótico, sistemas dinámicos, Unidad de Cuidados Intensivos.

SUMMARY

Physical-mathematical assessment methodology ph dioxide pressure and arterial and venous carbon in the intensive care unit

Introduction: Cardiac dynamics has been characterized from the theory of dynamical systems and fractal geometry, allowing to generate methodologies with clinical application. Objective: from dynamic systems, a methodology for evaluating the arterial and venous pH and dioxide of carbon pressures for patient in Intensive Care Unit will be developed.

Materials and Methods: 10 patients with various pathologies were selected from Post-surgical Intensive Care Unit of the Central Military Hospital, recording arterial and venous pH and dioxide of carbon pressures of during its stay; attractors were built subsequently, determining the type of path and setting the maximum and minimum values of these variables on the delay map.

Results: chaotic behavior of the variables evaluated was found, finding maximum and minimum values of 7,01 and 7,59 for arterial pH values, 6,97 and 7,53 for venous pH, 14,40 and 73,70 for arterial dioxide of carbon pressure, and 19,20 and 97,90 for venous dioxide of carbon pressure.

Conclusions: The evaluation of the maximum and minimum values of the attractor on the delay map is a new method, objective and reproducible for the mathematical evaluation of each of the variables studied, useful for monitoring patients in Intensive Care Unit.

Key words: arterial pH, venous pH, arterial carbon dioxide pressure, venous pressure of carbon dioxide, chaotic attractor, dynamical systems, Intensive Care Unit.

INTRODUCCIÓN

El comportamiento de las variables se puede describir a través de la teoría de los sistemas dinámicos, mediante la definición de su estado y evolución (1). A partir de las variables dinámicas del sistema, se han desarrollado espacios abstractos como los mapas de retardo, que permiten identificar si el sistema es impredecible o predecible y así generar tres clases de atractores: el punto, el ciclo y el caótico. En el caso de un péndulo físico en movimiento, que evoluciona a un estado de reposo, se obtiene un atractor puntual al ser evaluado en un mapa de retardo. En el caso de un péndulo ideal, cuando el movimiento periódico es perpetuo, se obtiene un atractor cíclico. Por último, cuando la tendencia no va a un estado particular ni a un comportamiento periódico, sino que se presenta un comportamiento irregular y comúnmente denominado no predecible, como en el caso de la dinámica cardíaca, se obtiene un atractor caótico (2). Una de las formas de evaluar este último tipo de atractores es la geometría fractal, desarrollada para evaluar el grado de irregularidad de objetos no euclidianos (3,4).

El objetivo principal de los Cuidados intensivos es restablecer las funciones alteradas de uno o más sistemas orgánicos vitales y llevarlos a valores aceptables para la vida ulterior del individuo, con el fin de ganar tiempo para el tratamiento simultáneo de la enfermedad de base que provocó el cuadro clínico crítico (5). El monitoreo, intermitente o continuo, en UCI, está destinado a detectar cambios precozmente, a fin de proveer un tratamiento adecuado y restablecer una situación fisiológica más estable, previniendo de tal modo el daño

orgánico o la muerte. Los intensivistas cuentan con una gran cantidad de información clínica para la evaluación precisa de los aspectos fisiopatológicos del paciente (6).

Dentro de la información comúnmente evaluada en UCI se encuentran los exámenes de gasimetría arterial y venosa, que evalúan el funcionamiento de funciones de importancia vital como la oxigenación, la ventilación y el equilibrio ácido-básico del cuerpo (7,8). Estos exámenes incluyen la evaluación del pH, que evalúa la situación el equilibrio ácido-base a nivel global (9), la PvCO₂, y la PaCO₂, que determina la efectividad de la eliminación de dióxido de carbono a nivel pulmonar, así como la cantidad de ácido carbónico contenido en el plasma, siendo de utilidad para establecer si existe hipoventilación alveolar, y determinar su magnitud (10).

Sin embargo, la evaluación simultánea de todas las variables fisiológicas que se monitorizan en la UCI constituye un reto a nivel clínico, que finalmente queda supeditado al criterio y experiencia del especialista (11). En el caso de la dinámica cardíaca, desde la teoría de los sistemas dinámicos se han logrado avances de alto interés clínico con el fin de proporcionar métodos de evaluación más sencillos y objetivos. Huikuri et al (12) realizaron una caracterización de la dinámica cardíaca, a nivel fisiológico, con una aplicación de la Geometría fractal en pacientes post-infartados y con FE menor al 35% superando los predictores convencionales de mortalidad. En trabajos realizados por Goldberger et al (13) se han asociado comportamientos excesivamente periódicos o aleatorios al estado de enfermedad, mientras que un comportamiento que se encuentre en el medio de estos dos se relaciona con la salud.

Metodología físico-matemática de evaluación del pH y la presión de dióxido de carbono arteriales y venosos en la unidad de cuidados intensivos

Laura Méndez, Javier Rodríguez, Signed Prieto, Catalina Correa, Henry Oliveros, Yolanda Soracipa, Michelle Artica, Fernán Mendoza, Vianney Díaz, Marcela Mejía



Para la evaluación clínica de la dinámica cardíaca se han diseñado otras metodologías, tal es el caso de un método que evalúa los espacios de ocupación de los atractores caóticos cardíacos mediante el método de Box-Counting que permitió diferenciar enfermedad aguda de normalidad (14), metodología que fue posteriormente confirmada en un estudio de 150 registros, hallando valores de sensibilidad y especificidad del 100% y un coeficiente Kappa de 1 (15). Recientemente se desarrolló un avance significativo en esta vía, confirmando la capacidad diagnóstica de dicho método en 16 horas (16,17). El fundamento físico, matemático y geométrico de esta metodología, sirvió como base para el desarrollo una ley exponencial de aplicación con la que se deducen todos los posibles atractores caóticos cardíacos discretos, logrando diferenciar normalidad de enfermedad y la evolución entre las dos (18). Al evaluar la concordancia diagnóstica con respecto al Gold estándar y el coeficiente Kappa, se halló que todos los casos fueron diagnosticados adecuadamente (19). Posteriormente, la metodología fue aplicada para evaluar dinámicas cardíacas con diagnóstico de arritmia (20) y para el estudio de la dinámica cardíaca neonatal que logró detectar en tres y seis horas antes la manifestación clínica de sepsis o dinámica asociada a ésta (21). Estos trabajos toman la información de la frecuencia cardíaca mínima y máxima cada hora, así como el número de latidos, y se fundamentan en la construcción de atractores y su evaluación matemática, por lo cual son aplicables tanto a Holter como a registros electrocardiográficos continuos.

Siguiendo esta perspectiva de investigación, el propósito de este trabajo es desarrollar una metodología de evaluación del pH arterial (pHa), pH venoso (pHv), presión de dióxido de carbono arterial (PaCO₂) y presión de dióxido de carbono venoso (PvCO₂), variables hemodinámicas de alto interés clínico en Unidades de Cuidados Intensivos (UCI), con base en sistemas dinámicos, determinando el comportamiento caótico de dichas variables y sus valores característicos en UCI.

MÉTODOS

Población

Previa aprobación del Comité de Ética en Investigación del Hospital Militar Central, en el acta No. 19696 del 13 de julio de 2015, se analizó información de 10 pacientes con diferentes patologías provenientes de la Unidad de Cuidados Intensivos Postquirúrgicos del Hospital Militar Central, todos mayores a 20 años, a quienes se les hubiera realizado análisis de gases arteriales por indicación médica durante su estancia en la UCI. Dadas las características físico-matemáticas de la investigación, no se evaluaron variables tales como factores de riesgo, sexo, patología específica, o edad (excepto si es menor de 21 años), pues se buscó establecer el comportamiento matemático del pHa, el pHv, la PaCO₂ y la PvCO₂ como variables dinámicas desde la teoría del caos. Por esta razón tampoco se evaluaron las indicaciones médicas por las que se solicitó del análisis de gases arteriales, lo cual permitió

estudiar una muestra heterogénea de pacientes de la UCI, donde el análisis de gases arteriales pudo haberse solicitado para el seguimiento de la función pulmonar, de procedimientos como la traqueostomía, o del funcionamiento del soporte ventilatorio, entre otros. Los análisis de gasometría fueron consultados de la base de datos de las historias clínicas de los pacientes de la UCI Posquirúrgicos Hospital Militar Central.

Procedimiento

Se registró el total de valores de la pHa, pHv, PaCO₂ y PvCO₂, durante la totalidad del tiempo de estancia en la UCI. De acuerdo con el criterio del especialista, la frecuencia de estos registros varía de un paciente a otro, y de un día a otro, con lo cual se encuentran pacientes con hasta tres registros diarios, así como pacientes con intervalos de varios días entre un registro y otro.

Con base en estos valores se construyó un atractor caótico para cada variable fisiológica y para cada paciente, a partir de un mapa de retardo, que es un tipo de atractor en el cual se grafican pares ordenados de valores sucesivos en el tiempo de una variable dinámica en un espacio de dos o más dimensiones. De este modo es posible establecer una evaluación matemática de las variables del sistema dinámico analizadas. Posteriormente, se establecieron los valores mínimos y máximos de los atractores de las variables evaluadas para cada paciente es decir: pHa, pHv, PaCO₂ y PvCO₂, en el mapa de retardo, buscando establecer valores característicos de estas variables en pacientes de UCI.

RESULTADOS

Se encontraron valores máximos y mínimos entre 7,01 y 7,59 para la pHa, entre 6,97 y 7,53 para la pHv (tabla 2), entre 14,40 y 73,70 para la PaCO₂ y entre 19,20 y 97,90 para la PvCO₂. La tabla 1 contiene los diagnósticos clínicos de los pacientes evaluados. En la figura 1 a) y b) se puede observar dos atractores construidos para la PvCO₂, el primero del paciente No. 5, con egreso vivo, y el segundo del paciente No. 8 que murió en la UCI. La figura 2 muestra a ambos atractores superpuestos, evidenciando que son diferenciables por su tamaño, pues el paciente 5 tuvo un atractor con un tamaño mucho mayor que el del paciente 8.

DISCUSIÓN

Este es el primer trabajo en el que se desarrolla una nueva metodología que permite evaluar de manera simultánea cuatro variables dinámicas utilizadas en la UCI: pH arterial y venoso y presiones de dióxido de carbono arteriales y venosas. Se generaron atractores de la dinámica de estas variables, estableciendo el comportamiento caótico de las dinámicas y determinado valores mínimos y máximos representativos de su estado patológico. La perspectiva físico-matemática acausal que fundamenta este estudio permite establecer un orden matemático subyacente de manera independiente

Metodología físico-matemática de evaluación del pH y la presión de dióxido de carbono arteriales y venosos en la unidad de cuidados intensivos

Laura Méndez, Javier Rodríguez, Signed Prieto, Catalina Correa, Henry Oliveros, Yolanda Soracipa, Michelle Artica, Fernán Mendoza, Vianney Díaz, Marcela Mejía



Tabla 1
Diagnóstico clínico, edad y sexo de los pacientes provenientes de la UCI posquirúrgicos analizados en el presente estudio. Sexo: F: femenino y M: masculino.

N°	Edad	Género	Apache	Diagnóstico clínico
1	86	M	19,00	Neumonía Post Reanimación. Paciente con soporte ventilatorio y traqueotomía.
2	70	F	16,00	Neumonía no especificada. Paciente con soporte ventilatorio.
3	47	F	26,00	Shock hemorrágico, Hemorragia gastrointestinal, Cirrosis hepática alcohólica child tipo B. Paciente con soporte ventilatorio, ventilación mecánica por tubo oro traqueal.
4	49	F	20,00	Fistula del intestino, Sepsis de origen abdominal. Paciente con soporte ventilatorio y con cánula de traqueotomía.
5	61	F	30,00	Insuficiencia renal aguda, no especificada, Lupus eritematoso sistémico con compromiso de órganos o sistemas. Paciente con soporte ventilatorio, intubación traqueal.
6	86	M	16,00	Sepsis tejidos blandos. enfermedad pulmonar crónica con exacerbación no especificada
7	83	M	20,00	Disfunción orgánica múltiple. Enfermedad de vesícula, no especificada
8	78	M	25,00	Trastorno de disco cervical con mielopatía. Neumonía asociada a ventilación mecánica resuelta. Dolor agudo somático y neuropático cervical. Trauma cervical por caída de su propia altura nivel C4. POP de artrodesis cervical C3-C5. DM tipo 2. Obesidad. HTA. IRC agudización. Choque medular en resolución. Traqueotomía funcionante. Arritmia cardíaca persistente dada por la bradicardia severa; hipotensión severa.
9	70	M	22,00	Tumor maligno de las vías biliares extra-hepática. Sepsis severa. SDRA severo. Colangiocarcinoma estadio Bismuth 3A. Extabaquismo pesado. POP biopsia dirigida por ecografía de la vía biliar intrahepática. Choque séptico x Gram negativo tipo ECOLI resuelto.
10	48	F	NC	Accidente vascular encefálico agudo no especificado como hemorrágico.

Tabla 2
Valores de pH arterial (pHA), pH venoso (pHV), presión arterial de dióxido de carbono (PaCO₂) y presión venosa de dióxido de carbono (PvCO₂) Máxima (máx) y Mínima (mín) de los atractores de 10 pacientes provenientes de la UCI. V: Egreso vivo y M: Egreso muerto.

No		pHA	pHV	PaCO ₂	PvCO ₂	Egreso
1	Min	7,24	7,27	36,20	40,00	v
	Max	7,48	7,43	73,70	47,40	
2	min	7,27	7,16	27,90	27,20	v
	max	7,59	7,53	65,60	53,00	
3	min	7,01	7,32	24,10	40,50	v
	max	7,47	7,44	71,80	54,00	
4	min	7,22	7,40	30,40	39,90	v
	max	7,50	7,40	57,10	39,90	
5	min	7,15	7,12	23,30	34,50	v
	max	7,40	7,37	44,80	65,60	
6	min	7,01	6,97	14,40	21,10	m
	max	7,41	7,32	32,60	45,70	
7	min	7,16	7,11	19,30	19,20	m
	max	7,47	7,42	28,70	53,50	
8	min	7,21	7,36	24,20	23,00	m
	max	7,54	7,53	52,10	38,00	
9	min	7,20	7,19	23,80	29,90	m
	max	7,48	7,46	64,10	97,90	
10	Min	7,29	7,28	30,10	33,80	m
	max	7,50	7,48	48,90	50,50	

Metodología físico-matemática de evaluación del pH y la presión de dióxido de carbono arteriales y venosos en la unidad de cuidados intensivos
Laura Méndez, Javier Rodríguez, Signed Prieto, Catalina Correa, Henry Oliveros, Yolanda Soracipa, Michelle Artica, Fernán Mendoza, Vianney Díaz, Marcela Mejía



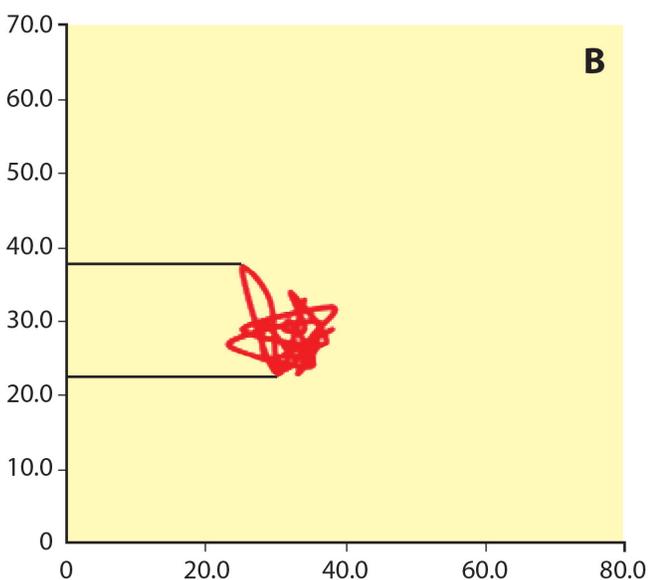
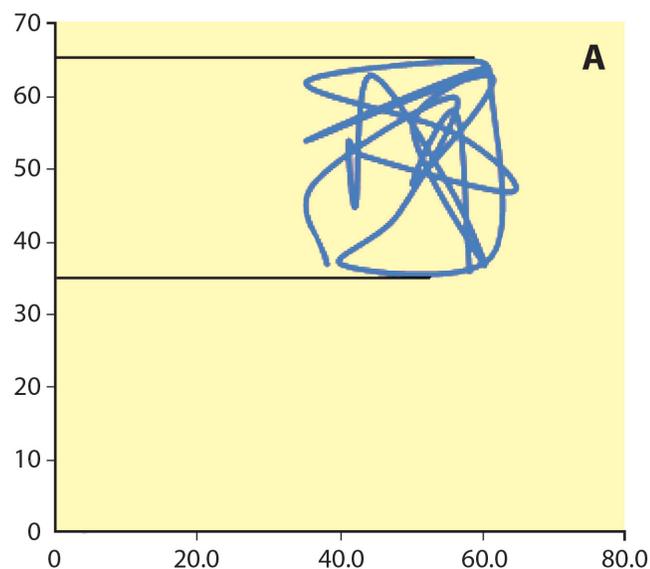


Figura 1. A. Atractor de PvcO₂ de paciente 5, con egreso vivo de la UCI. **B.** Atractor de PvcO₂ del paciente 8, con egreso muerto de la UCI. Las líneas negras que conectan el eje vertical y el atractor señalan los valores máximo y mínimo del atractor en el mapa de retardo.

de factores de importancia en estudios de tipo epidemiológico o estadístico, tales como la edad (siendo mayor a 21 años), sexo, factores de riesgo o patologías específicas. También es independiente de la forma de comprensión causal de la fisiología, y de hecho contradice el principio de homeostasis evidenciando un comportamiento caótico de las variables del sistema.

En la actualidad, el análisis e interpretación de la información clínica disponible en UCI depende de la experiencia de médico, lo que puede implicar problemas de reproducibilidad

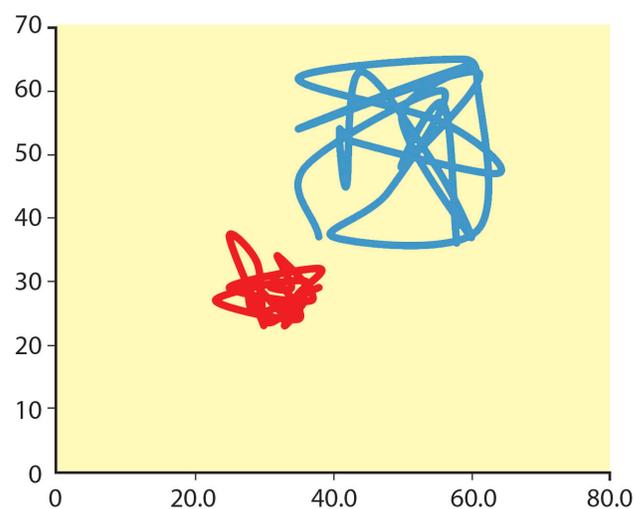


Figura 2. Superposición de los atractores de la PvcO₂ de los pacientes 5 y 8, correspondientes a la figura 1 a) y b) respectivamente. Rojo: atractor con condición de salida fallecido de UCI. Azul: atractor de paciente con egreso vivo de UCI.

(11). Esto ocurre porque debe analizar gran cantidad de información de manera simultánea, y determinar por sí mismo la importancia relativa de cada dato: "Juicios esenciales que el clínico hábil se plantea todos los días, son decidir si un dato clínico debe analizarse a fondo o debe descartarse como un hecho intrascendente, y también comparar si un tratamiento propuesto conlleva mayor riesgo que la propia enfermedad." Así pues, se hace necesario el desarrollo de métodos que permitan una interpretación objetiva y reproducible para hacer un uso eficaz de la información hallada. La metodología propuesta permite un análisis fisicomatemático de estas variables hemodinámicas, facilitando un seguimiento objetivo y reproducible de estas en la UCI. Al contar con una cuantificación, es posible que estas medidas contribuyan a establecer un método físico-matemático cuantitativo que logre predicciones de mortalidad en UCI a partir de la observación simultánea de las diferentes variables evaluadas.

Desde esta perspectiva de investigación físico-matemática, también se originó una ley exponencial de aplicación clínica a partir de la cual se pueden deducir todas las posibles dinámicas cardíacas, diferenciando dinámica cardíacas normales, agudas y en evolución (16). Su aplicabilidad clínica se ha confirmado en un estudio ciego con 115 dinámicas cardíacas (17), en pacientes con diagnóstico de arritmia (18) y en predicción de dinámicas cardíacas asociadas a la aparición de sepsis neonatal (19). Desde este mismo contexto se desarrolló una metodología fundamentada en la teoría la probabilidad y proporciones de entropía, con el cual se predicen diferencias entre normalidad, enfermedad crónica, enfermedad aguda y evolución entre estos estados. Su aplicabilidad se ha confirmado en diferentes estudios estadísticos,

Metodología físico-matemática de evaluación del pH y la presión de dióxido de carbono arteriales y venosos en la unidad de cuidados intensivos

Laura Méndez, Javier Rodríguez, Signed Prieto, Catalina Correa, Henry Oliveros, Yolanda Soracipa, Michelle Artica, Fernán Mendoza, Vianney Díaz, Marcela Mejía

logrando en todos los casos valores de sensibilidad y especificidad de 100% (22,23), incluyendo poblaciones de hasta 600 casos (23). También se ha demostrado su utilidad en el diagnóstico de la dinámica cardíaca en pacientes de la unidad de cuidados coronarios (24), así como en la predicción de su evolución, evaluando cuantitativamente las dinámicas cardíacas consecutivas durante los días siguientes a intervenciones, independientemente de los parámetros diagnósticos utilizados actualmente, logrando detectar procesos de agudización subdiagnosticados (25).

El fundamento físico matemático de estas metodologías, es análogo al aplicado en la física moderna para el estudio de los diferentes fenómenos de la naturaleza, logrando leyes reproducibles en cada caso particular independientes de factores causales (26,27).

Desde esta perspectiva Rodríguez y cols., han aplicado teorías físicas y matemáticas en otras áreas de medicina como en la inmunología para la predicción de péptidos de unión (28,29), en epidemiología para la predicción de la dinámica de epidemias como la Malaria y Dengue en Colombia (30,31). Para el caso de morfometría celular, ventricular, arterial y eritrocitaria, fue aplicada la geometría fractal junto con el desarrollo de nuevos conceptos, mediante lo cual se logró cuantificar el grado de irregularidad de cada una de estas estructuras del cuerpo humano de gran utilidad para la práctica clínica (32,33). Ejemplo de ello es un nuevo diagnóstico fractal y euclidiano de células preneoplásicas y neoplásicas de cuello uterino, así como una cuantificación de la totalidad de posibles rutas de evolución desde normalidad hasta cáncer (34,35). En el área de la infectología se ha desarrollado una metodología que permite predecir el número de linfocitos T CD4 en paciente con VIH/SIDA, a partir de los valores totales del cuadro hemático (36).

CONCLUSIONES

El estudio realizado para evaluar el pH y la presión de dióxido de carbono arterial y venoso como un sistema dinámico, que al ser representado su comportamiento en un mapa de retardo cuantificable mediante los valores máximos y mínimos ocupados por los atractores, puede en un futuro simplificar el análisis que se hacen de manera independiente de cada una de estas variables encontrado posibles relaciones que especifiquen la condición clínica de cualquier paciente que ingrese a la UCI.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo hace parte de los productos alcanzados para el protocolo C025-2014, financiado por el fondo de investigaciones del Hospital Militar Central.

Extendemos nuestros agradecimientos a las Doctora Luz Mabel Ávila, Jefe Unidad de Investigación Científica y al Coronel Médico Luis Castro, Subdirector de Docencia e

Investigación Científica. Así también agradecemos a Jaime Sánchez por su apoyo.

Agradecemos al Centro de Investigaciones de la Clínica del Country, en especial al Dr. Tito Tulio Roa, Director de Educación Médica, Dr. Jorge Ospina, Director Médico, Dr. Alfonso Correa, Director del Centro de Investigaciones, y a las Doctoras Adriana Lizbeth Ortiz, Epidemióloga, y Silvia Ortiz, Enfermera Jefe del Centro de Investigaciones, así mismo a la enfermera Sandra Rodríguez y a los Bacteriólogos Juan Camilo Benítez y Juan Alexander Rojas.

Extendemos nuestros agradecimientos a las directivas de la Universidad Militar Nueva Granada y a la Facultad De Medicina por el apoyo dado a nuestras investigaciones.

DEDICATORIA

A nuestros hijos.

REFERENCIAS

- Devaney R. A first course in chaotic dynamical systems theory and experiments. Reading Mass: Addison- Wesley 1992.
- Peitgen H, Jurgens H, Saupe D. Chaos and fractals; new frontiers of science. New York: Springer; 1992.
- Mandelbrot B. ¿Cuánto mide la costa de Bretaña? In: Los Objetos Fractales. Barcelona: Tusquets Eds. S.A. 2000. pp. 27-50.
- Mandelbrot B. La geometría fractal de la naturaleza. Barcelona: Tusquets Editores, S.A. 1997.
- Espinoza Brito, A. El enfermo Grave. En Terapia Intensiva. 2da Edición. México, DF: Macgraw-Hill Interamericana. 2005. pp. 36-71.
- Kress J, Hall J. Atención de enfermos en estado crítico. Principios de la atención de enfermos en estado crítico. En Dennis L. Kasper. Eugene Braunwald. Anthony S, Fauci. Stephen L, Hauser. Dan L, Longo. Larry Jameson y Kurt J, Isselbacher. Harrison's Principles of Internal Medicine. Harrison Online. McGraw-Hill. 2006. pp. 8602- 8609.
- Gordillo E, López P, Fernández L, González D, Pérez M, Pinza A et al. Intervalos de gases arteriales en la población adulta sana de Neiva. Movi cient 2009; 3(1): 84-55.
- Acevedo L, Solarte L. Gasimetría arterial en adultos jóvenes a nivel del mar. Acta Medica 1984; 9(1):7-14.
- Roca R. Temas de Medicina Interna-Tomo 2. Cap. 5: Alteraciones del equilibrio acidobásico. Cuba, 2002. Disponible en: <http://gsdl.bvs.sld.cu/cgi-bin/library?e=d-00000-00---off-0clnicos--00-0----0-10-0---0--0direct-10---4-----0-11--11-es-50---20-about---00-0-1-00-0-0-11-1-0utfZz-8-00&a=d&c=clnicos&cl=CL1&d=HASH01ddbfbab56d1d42298048b26.4.5.1>
- Barros D, García C, García F. Protocolo de interpretación clínica de la gasometría arterial en la insuficiencia respiratoria. Medicine 2010; 10(63): 4372-4374.
- Figueredo Maldonado OL, González Delgado S. Morbimortalidad en la Unidad de Cuidados Intensivos. Rev Electrónica Portales Médicos 2010;1-22.
- Huikuri HV, Makikallio T, Peng CK et al. Fractal correlation properties of R - R interval dynamics and mortality in patients with depressed left

Metodología físico-matemática de evaluación del pH y la presión de dióxido de carbono arteriales y venosos en la unidad de cuidados intensivos

Laura Méndez, Javier Rodríguez, Signed Prieto, Catalina Correa, Henry Oliveros, Yolanda Soracipa, Michelle Artica, Fernán Mendoza, Vianney Díaz, Marcela Mejía



- ventricular function after and acute myocardial infarction. *Circulation* 2000; 101: 47-53.
- Goldberger A, Amaral L, Hausdorff JM, Ivanov P, Peng Ch, Stanley HE. "Fractal dynamics in physiology: alterations with disease and aging". *PNAS* 2002; 99: 2466 - 2472.
- Rodríguez J, Prieto S, Avilán N, Correa C, Bernal P, Ortiz L, et al. Nueva metodología física y matemática de evaluación del Holter. *Rev Colomb Cardiol* 2008; 15: 50-54.
- Rodríguez J, Prieto S, Bernal P, Soracipa Y, Salazar G, Isaza D, et al, Nueva metodología de ayuda diagnóstica de la dinámica geométrica cardíaca dinámica cardíaca caótica del holter. *Rev Acad Colomb Cienc* 2011; 35(134): 5-12.
- Rodríguez J, Prieto S, Correa C, Oliveros H, Soracipa Y, Amaya J, et al. Sistemas dinámicos aplicados a la disminución del tiempo de diagnóstico de la dinámica cardíaca de 24 a 16 horas en holter y registros electrocardiográficos continuos. X Congreso de Medicina Crítica y Cuidado Intensivo. Cartagena, Colombia. 2015.
- Rodríguez J, Prieto S, Correa C, Bautista J, Velasco A, Méndez, et al. Mathematics physical assessment of cardiac dynamics based on theory of probability and proportions of entropy in the intensive care unit for patients with arrhythmia. *J Nucl Med Radiat Ther* 2015; 6:4.
- Rodríguez J. Mathematical law of chaotic cardiac dynamic: Predictions of clinic application. *J Med. Med. Sci.* 2011; 2(8):1050-1059.
- Rodríguez J, Correa C, Melo M, Domínguez, D, Prieto S, Cardona DM, et al. Chaotic cardiac law: Developing predictions of clinical application. *J. Med. Med. Sci.* 2013; 4(2): 79-84.
- Rodríguez J, Prieto S, Domínguez D, Correa C, Melo M, Pardo J, et al. Application of the chaotic power law to cardiac dynamics in patients with arrhythmias. *Rev. Fac. Med.* 2014; 62(4): 539-46.
- Rodríguez J, Prieto S, Flórez M, Alarcón C, López R, Aguirre G, et al. Physical-mathematical diagnosis of cardiac dynamic on neonatal sepsis: predictions of clinical application. *J. Med. Med. Sci.* 2014; 5(5): 102-108.
- Rodríguez J, Prieto S, Domínguez D, Melo M, Mendoza F, Correa C, et al. Mathematical-physical prediction of cardiac dynamics using the proportional entropy of dynamic systems. *J. Med. Med. Sci.* 2013; 4(8): 370-381.
- Rodríguez J, Prieto S, Correa C, Soracipa Y, Aguirre G, Méndez L. Proportional entropy applied to the clinical diagnostic of cardiac dynamic: blind study with 600 holter. The 61st Annual Conference of the Israel Heart Society in association with The Israel Society of Cardiothoracic Surgery. 2014.
- Rodríguez J. Proportional Entropy of the cardiac dynamics in CCU patients. 7th International Meeting of Acute Cardiac Care, Tel Aviv-Israel. 2011.
- Rodríguez J, Prieto S, Bernal P, Izasa D, Salazar G, Correa C, et al. Entropía proporcional aplicada a la evolución de la dinámica cardíaca. Predicciones de aplicación clínica. La emergencia de los enfoques de la complejidad en América Latina. Tomo I. Argentina: Comunidad del Pensamiento complejo. 2015; 247-264.
- Feynman RP, Leighton RB, Sands M. Leyes de la Termodinámica. En: Feynman RP, Leighton RB, Sands M. Física. Wilmington: Addison-Wesley Iberoamericana, S. A.; 1964. Vol. 1, p. 44-1 - 44-19.
- Feynman R. Comportamiento cuántico. En: Feynman RP, Leighton RB, Sands M. Física. Wilmington: Addison-Wesley Iberoamericana, S. A. 1964; 1, cap.37.
- Rodríguez J. Teoría de unión al HLA clase II teorías de Probabilidad Combinatoria y Entropía aplicadas a secuencias peptídicas. *Inmunología.* 2008; 27(4): 151-166.
- Rodríguez J, Bernal P, Prieto S, Correa C. Teoría de péptidos de alta unión de malaria al glóbulo rojo. Predicciones teóricas de nuevos péptidos de unión y mutaciones teóricas predictivas de aminoácidos críticos. *Inmunología.* 2010; 29(1): 7-19.
- Rodríguez J. Método para la predicción de la dinámica temporal de la malaria en los municipios de Colombia. *Rev Panam Salud Pública.* 2010; 27(3): 211-218.
- Rodríguez J, Prieto S, Correa C, Arnold Y, Alvarez Y, Bernal P, Mora J, Soracipa Y, Rojas N, Pineda D. Dinámica de la epidemia del dengue en Colombia: Predicciones de la trayectoria de la epidemia. *Rev. Fac. Med.* 2013; 21(1): 38-45.
- Rodríguez J, Prieto S, Correa C, Bernal P, Puerta G, Vitery S, et al. Theoretical generalization of normal and sick coronary arteries with fractal dimensions and the arterial intrinsic mathematical harmony. *BMC Medical Physics.* 2010; 10:1-6.
- Correa C, Rodríguez J, Prieto S, Álvarez L, Ospino B, Munévar A, et al. Geometric diagnosis of erythrocyte morphophysiology. *J. Med. Med. Sci.* 2012; 3(11): 715-720.
- Prieto S, Rodríguez J, Correa C, Soracipa Y. Diagnosis of cervical cells based on fractal and Euclidian geometrical measurements: Intrinsic Geometric Cellular Organization. *BMC Medical Physics* 2014, 14(2): 1-9.
- Rodríguez J, Prieto S, Catalina C, Dominguez D, Cardona DM, Melo M. Geometrical nuclear diagnosis and total paths of cervical cell evolution from normality to cancer. *Journal of Cancer Research and Therapeutics* 2015; (11 - Issue 1): 98-104.
- Rodríguez J, Prieto S, Correa C, Pérez C, Mora J, Bravo J, et al. Predictions of CD4 lymphocytes' count in HIV patients from complete blood count. *BMC Medical Physics.* 2013; 13:3

