

Análisis de la cardiotocografía anteparto mediante las relaciones S/k y la probabilidad en 20 minutos

Javier Oswaldo Rodríguez Velásquez ¹
 <https://orcid.org/0000-0002-4585-3010>

Signed Esperanza Prieto Bohórquez ⁵
 <https://orcid.org/0000-0002-7896-231X>

Jaime Alberto Páez Páez ²
 <https://orcid.org/0000-0002-7312-0180>

Jairo Augusto Cortés Méndez ⁶
 <https://orcid.org/0000-0001-5650-4687>

Sandra Catalina Correa Herrera ³
 <http://orcid.org/0000-0003-4998-1228>

Fredys Alberto Simanca Herrera ⁷
 <https://orcid.org/0000-0002-3548-0775>

Magda Liliana Villamizar Osorio ⁴
 <https://orcid.org/0000-0003-4774-8545>

^{1,3,5} Grupo Insight. Insight Research Group SAS. Calle 53 Sur 79 C 13 BL G AP 504. Bogotá, Colombia. Correo electrónico: grupoinsight2025@gmail.com

^{2,4,6,7} Universidad Cooperativa de Colombia. Bogotá, Colombia

Resumen

Objetivos: aunque se ha logrado reducir considerablemente la mortalidad y asfixia perinatal en neonatos, aún hay deficiencias en los métodos de tamizaje y diagnóstico del bienestar fetal intraparto que detecten sus alteraciones tempranas. Por lo anterior, el propósito de esta investigación fue aplicar una metodología basada en la probabilidad y la entropía y confirmar su capacidad para diagnosticar la dinámica cardíaca fetal normal de la anormal a partir de trazados cardiotocográficos de 20 minutos.

Métodos: se recolectaron 80 trazados cardiotocográficos de gestantes en el último trimestre, de los cuales se evaluaron frecuencia cardíaca fetal mínima y máxima cada 10 segundos al igual que sus repeticiones, su probabilidad y la proporción S/k diagnóstica. Finalmente, se realizó un análisis estadístico para establecer la capacidad diagnóstica del método con respecto a la interpretación el trazado cardiotocográfico y la evaluación clínica, tomadas como Gold Standard.

Resultados: se confirmó que los valores de la proporción S/k diferenciaron las dinámicas cardíacas fetales normales de las anormales con valores de sensibilidad y especificidad del 100% y un coeficiente Kappa de 1.

Conclusión: se confirmó la aplicabilidad de un método matemático diagnóstico de la cardiotocografía, lo cual sugiere que su implementación en la clínica para detectar alteraciones del bienestar fetal en 20 minutos.

Palabras clave Cardiotocografía, Probabilidad, Diagnóstico



Introducción

Aproximadamente 4 millones de nacidos anuales presentan asfixia perinatal, de los cuales casi 900.000 mueren por esta causa. Son varias las mediciones que se realizan en el contexto clínico como el perfil biofísico, el perfil biofísico modificado, la medición del índice del líquido amniótico y el Doppler de la arteria umbilical, entre otros, que sirven para evaluar el bienestar fetal y por lo tanto, potencialmente pueden evitar la aparición de este desenlace al detectar alteraciones tempranas que puedan ser intervenidas oportunamente. Sin embargo, es la cardiotocografía la que se utiliza en la admisión de gestantes en los servicios de urgencias de los hospitales del mundo.¹

El monitoreo cardiotocográfico es un examen aceptado en la práctica obstétrica que consiste en el registro continuo impreso o electrónico de la frecuencia cardíaca fetal y las contracciones uterinas maternas mediante un monitor dispuesto sobre la pared abdominal de la madre, el cual acopla mediciones de presión y de transmisión ultrasónica para detectar las contracciones y la frecuencia cardíaca fetal, respectivamente.² El análisis de este examen típicamente involucra la observación de parámetros del trazado cardiotocográfico como la línea de base o la presencia de aceleraciones y desaceleraciones que en conjunto brindan una base para clasificar los registros como normales, sospechosos o anormales, aunque los términos y criterios varían entre las instituciones médicas que establecen lineamientos para la interpretación de la cardiotocografía.^{3,4}

Se considera que este examen proporciona información importante sobre la función neurológica y miocárdica del feto durante la vigilancia intraparto y anteparto, sin embargo, la implementación de este examen en sus modalidades intermitente y continua en la práctica clínica ha generado el aumento de las intervenciones obstétricas que no necesariamente han llevado a la disminución de la morbimortalidad fetal, pues existe poca correlación entre los desenlaces desfavorables y la frecuencia cardíaca fetal, como se ha evidenciado en la ausencia de diferencias entre los neonatos que mueren durante o después de un término cercano al parto, al igual que no hay diferencias con respecto a la tasa de presentación de parálisis cerebral o presencia de acidosis detectada por sangre de cordón umbilical.⁵

Además, se han observado que existen pobres valores de sensibilidad y especificidad asociados a este examen, que no hay beneficio del uso de la cardiotocografía en mujeres de bajo riesgo y el aumento de al menos el 20 % de la realización de cesáreas entre las gestantes. Así, esto ha llevado a cuestionar la utilidad real del monitoreo cardiotocográfico en mujeres que se encuentran en trabajo de parto.⁶⁻¹⁰

Aunado a lo anterior, un factor que debe considerarse es la falta de reproducibilidad en el diagnóstico tradicional de la cardiotocografía fetal debido a que depende de la

inspección visual de los clínicos y su experiencia, al igual que el análisis de los factores que clínicamente se traducen en alteraciones de la fisiología cardíaca fetal. Esta limitación comprende una de las dificultades más sobresalientes en el campo de la obstetricia, por lo cual se requieren otros enfoques que permitan diagnosticar con mayor precisión el bienestar fetal.¹¹⁻¹³

La evaluación tradicional del comportamiento cardíaco en la cardiotocografía se enfoca desde una concepción homeostática, en la cual el funcionamiento del corazón sano está asociado a un comportamiento periódico de la frecuencia cardíaca en el tiempo.¹⁴ Sin embargo, las investigaciones de las últimas décadas han encontrado que tanto la excesiva periodicidad como la aleatoriedad están asociadas a la enfermedad, mientras que un comportamiento intermedio, corresponde a la salud. Esta conclusión también es aplicable a la obstetricia, pues se ha evidenciado que los patrones senoidales en la cardiotocografía se asocian a enfermedad fetal, aunque controvertidamente.^{15,16}

A partir de la teoría de la probabilidad, que se ha formalizado por medio de tres axiomas que estableció Kolmogorov, se pueden establecer medidas matemáticas adimensionales que posibilitan la cuantificación de la posible ocurrencia futura de un evento. Por otro lado, la entropía,¹⁷⁻¹⁹ que se ha ido reinterpretando a lo largo del tiempo en los contextos de la teoría cinética de los gases, la mecánica estadística y la teoría de la información,²⁰⁻²² permite evaluar sistemas complejos y establecer cuantificaciones de los cambios que los sistemas puedan tener en el tiempo, entre otras.

A partir de estas dos teorías se ha desarrollado una metodología que logra hacer distinciones entre trazados cardiotocográficos normales de enfermos, así como en evolución entre ambos estados, al considerar la dinámica cardíaca fetal como un sistema probabilista, donde la relación S/k de la entropía permite evaluar la auto-organización de la distribución de probabilidades de dichos sistemas.^{23,24} Sin embargo, este método debe ser validado con mayor extensión poblacional para confirmar que los parámetros diagnósticos de este método se conservan y son aplicables clínicamente.

El propósito de esta investigación consiste en aplicar una metodología matemática diagnóstica basada en la probabilidad y la relación S/k para confirmar su aplicabilidad clínica, para lo cual se analizaron 80 registros de cardiotocografía de mujeres gestantes en el último trimestre y se evaluó el bienestar fetal diagnosticado con este método con respecto a la interpretación clínica tradicional mediante un estudio ciego para cuantificar su precisión y acuerdo diagnóstico.

Métodos

Se tomaron 80 registros de cardiotocografía analizados en esta investigación, los cuales fueron tomados de las bases

de datos del grupo Insight en Bogotá, Colombia y la Clínica San Luis de Bucaramanga, Colombia. Los registros fueron recolectados entre 2019 a 2020. Estos registros provenían de mujeres gestantes previamente sanas mayores de 21 años, a las cuales se realizó una cardiocografía en el último trimestre y que consistían en el trazado impreso cardiocográfico realizado por indicación médica junto con datos relacionados con el diagnóstico médico. La interpretación clínica de los trazados fue establecida como reactiva y no reactiva coincidentes con el diagnóstico de normalidad y anormalidad con base al examen clínico y paraclínico de un especialista en obstetricia.

El tratamiento de los datos consistió, inicialmente, en ocultar los diagnósticos clínicos de los registros de cardiocografía para realizar un estudio ciego. Aquellos trazados considerados como no reactivos y que tras la evaluación clínica se diagnosticó la normalidad fetal, fueron descartados. Complementariamente, los trazados que no cumplieran con la calidad mínima necesaria para ser interpretados por el experto clínico en obstetricia, no fueron tomados en cuenta. Tras esto, se analizaron 80 registros cardiocográficos, los cuales se tomaron individualmente y se discriminaron los valores de la frecuencia cardíaca fetal mínima y máxima cada 10 segundos durante los 20 minutos de trazado de los registros mediante la inspección visual de los registros en acuerdo con la visualización del experto clínico. A partir de esto, se compilaron todos los valores de frecuencia cardíaca y se calculó la probabilidad del número de veces que una determinada frecuencia se repitió en los intervalos de 10 segundos aplicando la Ecuación 1 manualmente, así:

$$P_n = \frac{\text{Frecuencia de ocurrencia de frecuencias cardiacas}}{\text{Total de frecuencias cardiacas en todo el trazado}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Posteriormente, se sumaron todas las frecuencias de cada registro, su probabilidad y se obtuvo la probabilidad máxima del trazado de la cardiocografía completa. Luego, se calculó la entropía del trazado cardiocográfico mediante la Ecuación 2:

$$S = -k \sum_{n=0}^N P_n \ln(P_n) \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde S es la entropía de la monitoria y k es la constante de Boltzmann, 1.38×10^{-23} Joules/kelvin.

La ecuación 2 fue despejada en términos de la proporción S/k, obteniendo así la Ecuación 3 para así emitir un diagnóstico matemático:

$$\frac{S}{k} = - \sum_{n=0}^N P_n \ln(P_n) \quad \text{Ecuación 3}$$

Con respecto al análisis estadístico, los diagnósticos clínicos de reactividad y no reactividad de cada registro de cardiocografía, establecidos a partir de los parámetros clínicos como el patrón de oro, fueron revelados y comparados con respecto al diagnóstico matemático, que

abarca la normalidad, la evolución a la enfermedad y la anormalidad. Con base a esto, se calculó la sensibilidad, especificidad y el acuerdo diagnóstico del método matemático para diagnosticar normalidad y anormalidad con relación al diagnóstico clínico de reactividad y no reactividad, respectivamente, excluyendo los casos matemáticos de evolución.

De acuerdo con el artículo 11 de la resolución 008430 de 1993 del Ministerio de Salud,²⁵ esta investigación se considera sin riesgo, dado que se realizaron cálculos matemáticos sobre exámenes diagnósticos no invasivos previamente solicitados y compilados en bases de datos, manteniendo así el anonimato e integridad de los sujetos de los cuales se obtuvieron los datos.

Resultados

Los valores de probabilidad obtenidos mediante la Ecuación 1 de la dinámica cardíaca fetal de la totalidad de los registros oscilaron entre 0 a 0,883, donde los valores de los registros reactivos se encontraron entre 0 a 0,383 mientras que los registros no reactivos se encontraron entre 0 a 0,683 (Tabla 1).

Por su parte, los valores de la relación S/k de la dinámica cardíaca fetal de la totalidad de los registros obtenidos mediante la Ecuación 3 oscilaron entre -2,35 a -0,98 donde los valores de los registros normales se encontraron entre -1,99 a -1,71, mientras que los registros anormales variaron entre -2,35 a -0,98. Los valores de los casos diagnosticados matemáticamente como en "evolución a la enfermedad" oscilaron entre -2,01 a -1,68 (Tabla 2). Como se observa en la Figura 1, los valores que corresponden a la normalidad se encuentran entre los extremos de la evolución a la enfermedad y la anormalidad, sin llegarse a superponer entre ellos, lo cual permite visualizar que las cuantificaciones de la metodología lograr establecer estas diferencias.

Los resultados anteriores indican que matemáticamente (Tabla 2), hubo una correspondencia del diagnóstico matemático de normalidad con respecto al clínico; tal observación también es compatible con el diagnóstico matemático de anormalidad con respecto a la no reactividad clínica. Complementariamente, los casos matemáticamente diagnosticados "en evolución a la enfermedad" comprendieron la reactividad y no reactividad, lo cual sugiere que el método detecta, para el primer caso, alteraciones subdiagnosticadas y para el segundo, la mejoría del estado clínico desde la enfermedad, respectivamente.

Los valores de sensibilidad y especificidad de la metodología matemática con respecto al diagnóstico clínico para discriminar la normalidad y la anormalidad fueron del 100% y 100% respectivamente. El coeficiente kappa obtenido fue de 1. En el análisis estadístico no se incluyeron aquellos casos compatibles con evolución hacia normalidad o

Tabla 1

Valores de probabilidad de las frecuencias cardíacas.												
Rango de frecuencia cardíacas	Número de caso											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
115	0	0,008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	0,008	0,017	0,017	0,050	0,017	0	0	0,008	0,067	0,042	0	0
125	0,058	0,050	0,033	0,033	0,033	0,017	0	0,142	0,683	0,558	0,008	0,033
130	0,092	0,058	0,042	0,125	0,125	0,017	0,092	0,150	0,042	0,100	0,033	0,050
135	0,150	0,250	0,108	0,358	0,208	0,133	0,025	0,417	0,108	0,117	0,050	0,050
140	0,200	0,192	0,158	0,108	0,225	0,292	0,050	0,125	0,033	0,133	0,425	0,333
145	0,133	0,283	0,350	0,158	0,175	0,167	0,192	0,067	0,042	0,017	0,100	0,125
150	0,158	0,033	0,083	0,058	0,067	0,008	0,083	0,042	0,017	0,017	0,083	0,058
155	0,167	0,058	0,192	0,100	0,133	0,325	0,067	0,050	0,008	0,008	0,133	0,025
160	0,017	0,033	0,017	0,008	0,008	0,042	0,025	0	0	0,008	0,150	0,092
165	0,008	0,017	0	0	0,008	0	0,083	0	0	0	0,017	0,058
170	0	0	0	0	0	0	0,133	0	0	0	0	0,142
175	0,008	0	0	0	0	0	0,125	0	0	0	0	0,025
180	0	0	0	0	0	0	0,033	0	0	0	0	0,008
185	0	0	0	0	0	0	0,083	0	0	0	0	0
190	0	0	0	0	0	0	0,008	0	0	0	0	0
195	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

La tabla indica los valores de probabilidad que se obtuvieron por cada rango de frecuencia cardíaca de 5 latidos.

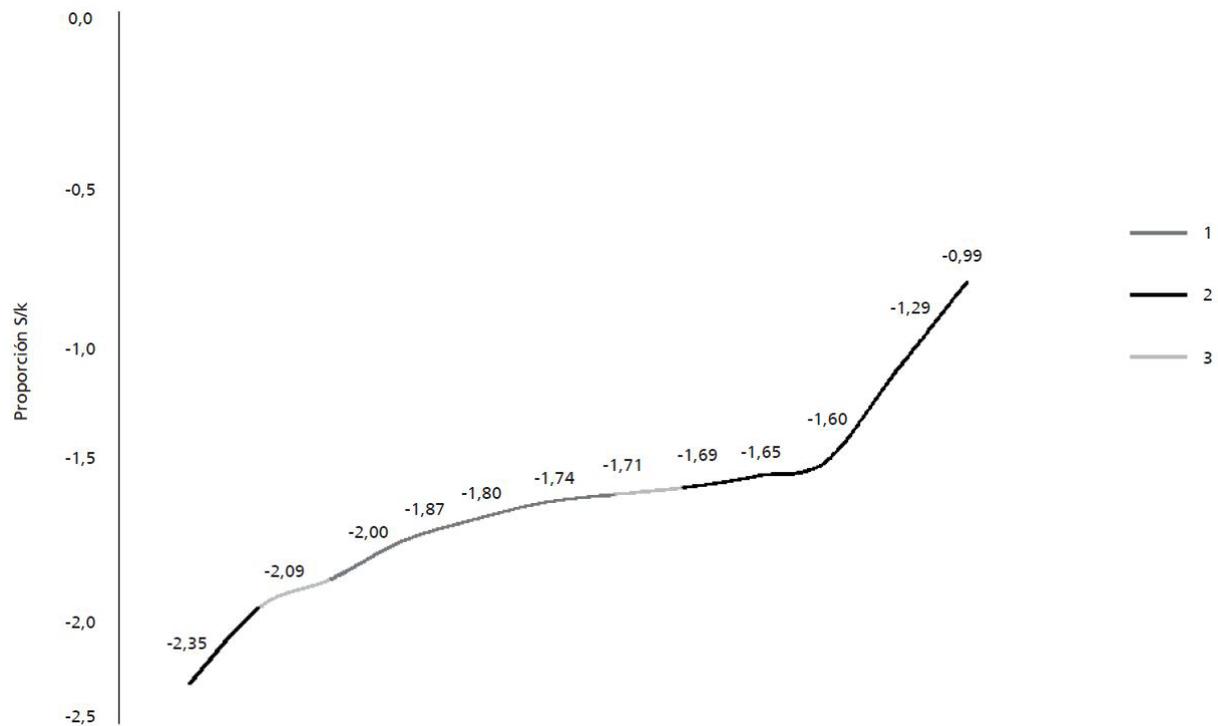
Tabla 2

Valores de la proporción S/k y su interpretación.						
No	S/k	Max P	Dx matemático	Dx convencional	Interpretación	
1	-1,9984	0,200	Normal	Normal	R	
2	-1,7968	0,283	Normal	Normal	R	
3	-1,7378	0,350	Normal	Normal	R	
4	-1,7096	0,358	Normal	Normal	R	
5	-1,8697	0,225	Normal	Normal	R	
6	-1,6007	0,325	Anormal	Ruptura prematura de membranas	NR	
7	-2,3535	0,192	Anormal	Hipertensión arterial materna	NR	
8	-1,6489	0,417	Anormal	Intento de aborto	NR	
9	-0,9873	0,683	Anormal	Amenaza de parto prematuro	NR	
10	-1,2912	0,558	Anormal	Riesgo de Pérdida de bienestar fetal	NR	
11	-1,6856	0,425	Evolución	Normal	R	
12	-2,0908	0,333	Evolución	Actividad Uterina irregular	R	

S/k = relación S/k; P = probabilidad; Dx = diagnóstico; NR = no reactivo; R = Reactivo.

Figura 1

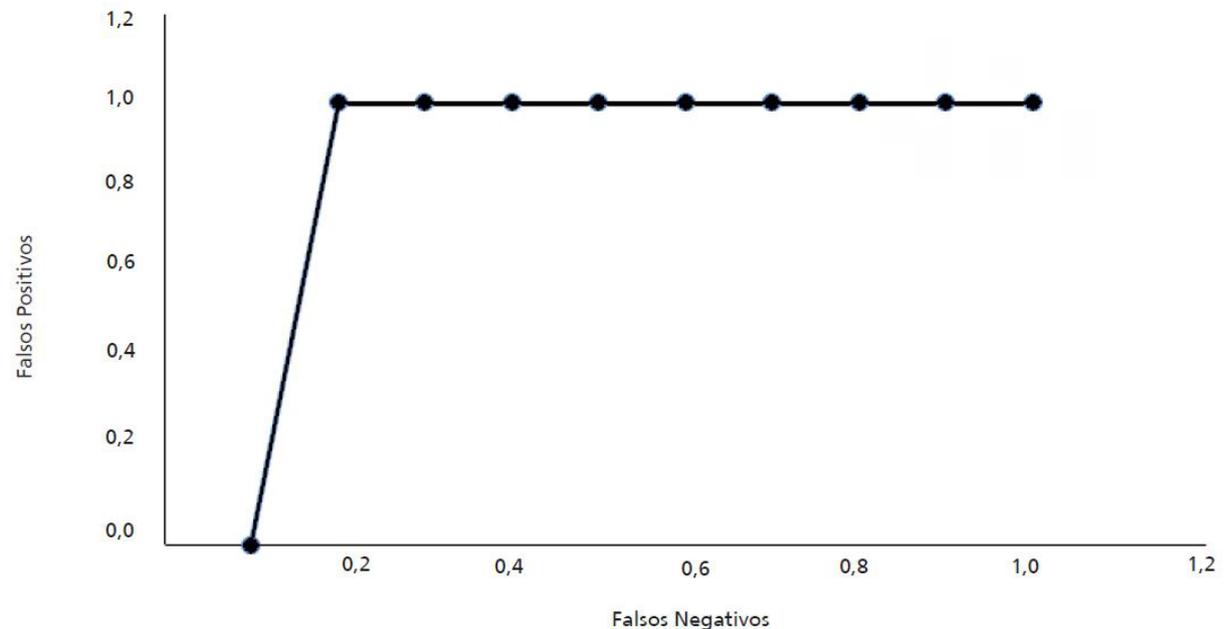
Representación del espectro de los valores de la proporción S/k.



El número 1 representa los casos normales, mientras que el número 3 indica los casos compatibles con la evolución hacia la enfermedad y en número 2 los casos diagnosticados como anormales.

Figura 2

Curva ROC de la metodología diagnóstica.



Curva ROC de la metodología diagnóstica. Para la construcción de esta curva se tuvieron en cuenta solamente los resultados de los casos normales o anormales, excluyéndose los casos en evolución a la normalidad o enfermedad.

anormalidad, debido a que se buscó comprobar la capacidad del método para diagnosticar solo estos dos estados y no las variaciones intermedias. En la Figura 2, se evidencian los resultados de la curva ROC de esta metodología diagnóstica.

Discusión

Esta es la primera investigación en la cual se aplica una metodología basada en la relación S/k de la entropía y la teoría

de la probabilidad para confirmar su aplicabilidad diagnóstica para diferenciar normalidad de anormalidad a partir de los valores de la frecuencia cardíaca fetal, al evaluar 80 trazados cardiotocográficos durante 20 minutos. Igualmente, por el carácter objetivo y reproducible de la metodología, al ser netamente cuantitativa y que no depende de la interpretación médica para diagnosticar normalidad o detectar alteraciones de la dinámica cardíaca, los resultados de este estudio sugieren que este método puede ser automatizado e incorporado en cardiotocógrafos, pudiendo facilitar el diagnóstico del bienestar fetal con mayor seguridad.

El sufrimiento fetal agudo se refiere a la de hipoxia severa con alta probabilidad de asfixia fetal y se diagnostica mediante el análisis de los cambios en la dinámica cardíaca y el equilibrio ácido base.²⁶ Sin embargo, la precisión de este diagnóstico intraparto puede verse entorpecida por la dificultad de obtener o interpretar la cardiotocografía, la evaluación de pH en el cuero cabelludo fetal, la pulsioximetría y el monitoreo del segmento ST intraparto.^{5,11}

La exactitud de estos métodos puede ser baja al evaluarse de manera independiente, además de que indican el estado fetal sólo para un corte de tiempo y no indican su evolución prospectivamente, por lo cual debe contemplarse usar varios métodos diagnósticos para aumentar la seguridad del diagnóstico clínico.²⁶ Además, la falta de criterios precisos diagnósticos entorpece aún más la correlación de los resultados de las pruebas complementarias entre los escenarios clínicos, dependiendo así de la experiencia del clínico para determinar el diagnóstico.²⁷ Estas consideraciones invitan a plantear el desarrollo de nuevas metodologías o reinterpretar desde otra perspectiva las herramientas diagnósticas actuales.

Es importante destacar que los casos de evolución hacia la enfermedad fueron excluidos del análisis estadístico, debido a que con este estudio se buscó comprobar la capacidad del método para diagnosticar la normalidad y la anormalidad, no los estados intermedios. Sin embargo, es importante recalcar que la obtención de un diagnóstico matemático compatible como en evolución hacia la enfermedad pero con una interpretación clínica de reactividad, sugiere una alteración subdiagnosticada que requiere mayor atención. En el caso contrario, es decir, los casos diagnosticados clínicamente como anormales pero matemáticamente en evolución hacia la enfermedad, sugiere que pueda darse una mejoría del estado clínico. Estas consideraciones serán analizadas en futuros estudios que permitan confirmar estas observaciones.

Así, en investigaciones anteriores basadas en la perspectiva teórica de la física y la matemática,²⁸ junto con las nuevas concepciones de los procesos de normalidad y anormalidad en salud, se han desarrollado otros métodos como uno basado en la ley de Zipf/Mandelbrot en obstetricia que ha probado su utilidad para detectar alteraciones de la dinámica cardíaca fetal a partir de registros cardiotocográficos.²⁹ Estos métodos también son independientes de los criterios

cualitativos y de la experiencia del evaluador, demostrando su posible aplicación en los escenarios clínicos reales.

Igualmente, siguiendo este mismo pensamiento teórico de la física contemporánea,²² se han generado nuevos métodos diagnósticos en cardiología y oncología al igual que otros métodos predictivos^{30,31} que sugieren que este enfoque es adecuado para reevaluar la utilidad de la física y la matemática en los fenómenos biomédicos.

Agradecimientos

Este producto hace parte del proyecto INV-2811, financiado por la Universidad Cooperativa de Colombia, a quienes agradecemos por su apoyo a nuestras investigaciones, especialmente a la Vicerrectoría de investigaciones.

Igualmente, agradecemos a *Insight Research Group SAS* por su apoyo a nuestras investigaciones.

Contribución de autores

Concepción y diseño del estudio: Rodríguez JO; Recolección de datos: Correa SC, Villamizar ML; Análisis de datos: Páez JA, Correa SC, Cortés JA; Cálculos matemáticos y medidas estadísticas: Correa SC, Prieto SE; Análisis de resultados: Rodríguez JO, Villamizar ML, Simanca FA; Redacción del manuscrito: Prieto SE, Cortés JA, Simanca FA; Revisión crítica del contenido intelectual del manuscrito: Rodríguez JO, Correa SC, Páez JA, Simanca FA. Los autores aprueban de la versión final del artículo y declaran no tener conflictos de interés.

Referencias

1. Khunpradit S, Lumbiganon P, Laopaiboon M. Admission tests other than cardiotocography for fetal assessment during labour. *Cochrane Database Syst Rev.* 2011; 6: CD008410.
2. Magowan BA, Owen P, Thomson A. *Clinical obstetrics & gynecology.* 4ª ed. Amsterdam: Elsevier; 2018.
3. Olofsson P, Norén H, Carlsson A. New FIGO and Swedish intrapartum cardiotocography classification systems incorporated in the fetal ECG ST analysis (STAN) interpretation algorithm: agreements and discrepancies in cardiotocography classification and evaluation of significant ST events. *Acta Obstet Gynecol Scand.* 2018 Feb; 97 (2): 219-28.
4. Santo S, Ayres-de-Campos D, Costa-Santos C, Schnettler W, Ugwumadu A, Graça LM, et al. Agreement and accuracy using the FIGO, ACOG and NICE cardiotocography interpretation guidelines. *Acta Obstet Gynecol Scand.* 2017 Feb; 96 (2): 166-75.
5. Alfirevic Z, Devane D, Gyte GML, Cuthbert A. Continuous cardiotocography (CTG) as a form of electronic fetal monitoring (EFM) for fetal assessment during labor. *Cochrane Database Syst Rev.* 2017 Feb; 2: CD006066.

6. Devane D, Lalor JG, Daly S, McGuire W, Cuthbert A, Smith V. Cardiography versus intermittent auscultation of fetal heart on admission to labor ward for assessment of fetal wellbeing. *Cochrane Database Syst Rev*. 2017 Jan; 1 (1): CD005122.
7. Jia YJ, Chen X, Cui HY, Whelehan V, Archer A, Chandraran E. Physiological CTG interpretation: the significance of baseline fetal heart rate changes after the onset of decelerations and associated perinatal outcomes. *J Matern Fetal Neonatal Med*. 2021 Jul; 34 (14): 2349-54.
8. Souza TK, Dobre M, Silva DMB, Brateanu A, Baltatu OC, Campos LA. Intrapartum fetal heart rate: a possible predictor of neonatal acidemia and APGAR score. *Front Physiol*. 2018 Oct; 9: 1489.
9. East CE, Begg L, Colditz PB, Lau R. Fetal pulse oximetry for fetal assessment in labour. *Cochrane Database Syst Rev*. 2014 Oct; 2014 (10): CD004075.
10. Taylor R, Burk C, Sugiyama N, Friedman P, Ogunyemi D. Utility of intrapartum fetal heart rate monitoring in a contemporary labor and delivery unit [4Q]. *Obstet Gynecol*. 2017; 129: S174.
11. Sbrillini A, Agostinelli A, Burattini L, Morettini M, Di Nardo F, Fioretti S, *et al*. CTG analyzer: a graphical user interface for cardiography. *IEEE Eng Med Biol Soc*. 2017 Jul; 2017: 2606-9.
12. Magawa S, Tanaka H, Furuhashi F, Maki S, Nii M, Toriyabe K, *et al*. Intrapartum cardiograph monitoring between obstetricians and computer analysis. *J Matern Fetal Neonatal Med*. 2021 Mar; 34 (5): 787-93.
13. Gyllencreutz E, Hulthén Varli I, Lindqvist PG, Holzmann M. Reliability in cardiography interpretation - impact of extended on-site education in addition to web-based learning: an observational study. *Acta Obstet Gynecol Scand*. 2017 Abr; 96 (4): 496-502.
14. Oliveira V, Von Rosenberg W, Montaldo P, Adjei T, Mendoza J, Shivamurthappa V, *et al*. Early postnatal heart rate variability in healthy newborn infants. *Front Physiol*. 2019; 10: 922.
15. Ohira S, Yamanaka S, Asaka R, Ando H, Fuseya C, Kikuchi N, *et al*. Sawtooth fetal heart rate pattern associated with a neurological outcome in an infant: a case report. *J Med Case Reports*. 2019 Jul; 13: 226.
16. Topping M, Lett C, Thorp L. Intermittent sinusoidal fetal heart rate and massive maternal-fetal hemorrhage: a case report. *J Obstet Gynaecol Can*. 2019 Abr; 41 (11): 1619-22.
17. Brémaud P. Probability theory and stochastic processes. New York: Springer; 2020.
18. Feynman RP, Leighton RB, Sands M. Probability. In: The Feynman lectures on physics. Vol 1: mainly mechanics, radiation, and heat. California: California Institute of Technology; 2010. p. 6.1-6.20.
19. Okagbue HI, Oguntunde PE, Opanuga AA, Adamu PI. Laplace distribution: ordinary differential equations. In: Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science (WCECS). San Francisco, USA, 23-25 Oct 2018. San Francisco: WCECS; 2018. p. 1-9.
20. Matveev AN. Molecular physics. Moscow: MIR Publishers; 1987.
21. Swendsen RH. Thermodynamics, statistical mechanics and entropy. *Entropy*. 2017; 19 (11): 603.
22. Tolman R. The principles of statistical mechanics. Mineola: Dover Publications; 2010.
23. Rodríguez J. New physical and mathematical diagnosis of fetal monitoring: prediction of clinical application. *Moment J Phys*. 2012; 44: 49-65.
24. Soracipa Y, Rodríguez J, Castillo M. Diagnostic confirmation of the assessment of the tracing of electronic fetal monitoring based on probability and entropy s/k ratio. *Time*. 2018; 8 (57): 27-40.
25. Ministerio de Salud (CO). Resolución n° 8430 of 1993. Bogotá: Ministerio de Salud; 1993.
26. Jayasooriya G, Djapardy V. Intrapartum assessment of fetal well-being. *BJA Educ*. 2017; 17: 406-11.
27. American College of Obstetricians and Gynecologists (ACOG). Committee on Practice Bulletins—Obstetrics. Antepartum Fetal Surveillance: ACOG Practice Bulletin, Number 229. *Obstet Gynecol*. 2021 Jun; 137 (6): e116-e27.
28. Einstein A. About the method of theoretical physics. In: Einstein A, ed. On the theory of general relativity and other scientific contributions. Spain: Sarpe; 1983. p. 78-84.
29. Rodríguez-Velásquez JO, Prieto-Bohórquez SP, Salamanca LO, Charry AB, Bernal P, Vargas NA. Zipf-Mandelbrot law and mathematical approach in fetal cardiac monitoring diagnosis. *Rev Fac Med*. 2006 Jun; 54(2): 96-107.
30. Rodríguez-Velásquez JO, Ramírez LJ, Puerta GA. Analysis of acute heart dynamics in intensive care unit based on dynamic systems. *Inform Med Unlocked*. 2020; 19: 100333.
31. Rodríguez-Velásquez JO, Prieto-Bohórquez SE, Ramírez LJ. Células cervicales de citología evaluadas por un nuevo método de diagnóstico: cuantificaciones de la aplicabilidad clínica. *Gaceta Med Bilbao*. 2020; 117 (2): 21-7.

Recibido el 2 de Julio de 2021

Versión final enviada el 20 de Enero de 2022

Aprobado el 7 de Marzo de 2022