Artículo re revisión
Ginecol Obstet Mex. 2019 enero;87(1):46-59.

Utilidad de la electrohisterografía como técnica de monitorización uterina en el ámbito clínico: revisión bibliográfica

Usefulness of the electrohysterography in the clinical field as a technique for uterine monitoring: a literature review.

Jorge Escalante-Gaytán,[1,2] Cinthia Gabriela Esquivel-Arizmendi,[1] Claudia Ivette Ledesma-Ramírez,[1] Adriana Cristina Pliego-Carrillo,[1] María Teresa García-González,[3] José Javier Reyes-Lagos[1]

Resumen

ANTECEDENTES: El análisis del registro de superficie de la actividad mioeléctrica uterina, o electrohisterograma, es uno de los marcadores biofísicos más prometedores para evaluar las contracciones y el estado electrofisiológico del útero. A pesar de las evidencias derivadas de la información clínica que proporciona el análisis electrohisterográfico, hasta la fecha no se ha logrado el esfuerzo significativo para introducir esta técnica en la práctica médica.

OBJETIVO: Mostrar la evidencia disponible acerca de la utilidad de la electrohisterografía como técnica alternativa para la monitorización de la actividad uterina en el ámbito clínico.

METODOLOGÍA: Búsqueda bibliográfica en las bases de datos de PubMed, Google Scholar y Scopus, con las palabras clave: *electrohysterogram*, *uterine electromyography* y *electrohysterography*.

RESULTADOS: Se seleccionaron 65 artículos originales, 5 de revisión y 1 capítulo de libro con metodología adecuada, claridad y relevancia clínica, enfocados en la aplicación clínica del electrohisterograma.

CONCLUSIÓN: Las técnicas de monitoreo convencional de la actividad uterina tienen limitaciones para establecer, oportunamente, el diagnóstico de distocias durante el trabajo de parto. El análisis de registros electrohisterográficos permite explicar las alteraciones detectadas en la actividad eléctrica uterina, mediante el aporte de información del estado funcional, incluso predecir posibles complicaciones durante el trabajo de parto.

PALABRAS CLAVES: Electrohisterograma; electromiograma uterino; trabajo de parto; distocias de contracción; monitoreo uterino; contracción uterina; útero.

Abstract

BACLGROUND: The analysis of the surface myoelectric activity of the uterus electrohysterogram (EHG) has proved to be one of the most promising biophysical markers for the evaluation of uterine contractions and the electrophysiological state of the uterus. However, despite the emerging evidence that the analysis of EHG provides valuable clinical information, there has not been a meaningful effort to apply this technique for clinical monitoring.

OBJECTIVE: To show the available evidence of the usefulness of electrohysterography in the clinical field as a technique for uterine monitoring.

METHODOLOGY: a literature search was performed in PubMed, Google Scholar and Scopus databases with the following keywords: electrohysterogram, uterine electromyography and electrohysterography.

RESULTS: 65 original research papers, 5 review papers and 1 book chapter with adequate methodology, clarity and clinical relevance were selected according to the focus of the clinical application of the EHG.

[1] Facultad de Medicina, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Estado de México.
[2] Hospital Materno Perinatal Mónica Pretelini Sáenz, Toluca, Estado de México.
[3] División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, Ciudad de México.

Recibido: agosto 2018
Aceptado: octubre 2018

Correspondencia
José Javier Reyes Lagos
jjreyesl@uaemex.mx

Este artículo debe citarse como
Escalante-Gaytán J, Esquivel-Arizmendi CG, Ledesma-Ramírez CI, Pliego-Carrillo AC, García-González MT, Reyes-Lagos JJ. Utilidad de la electrohisterografía como técnica de monitorización uterina en el ámbito clínico: revisión bibliográfica. Ginecol Obstet Mex. 2019 enero;87(1):46-59.
https://doi.org/10.24245/gom.v87i1.2565

CONCLUSION: Conventional monitoring of uterine activity lack the ability to accurately diagnose dystocias during labor. On the other hand, the analysis of electrohysterographic recordings has made possible to elucidate alterations in the uterine electrical activity by providing information of the functional state of the uterus, and even, to predict possible complications during labor.

KEYWORDS: Electrohysterogram; Electromyogram; Labor; Dystocia; Uterine monitoring; Uterine contraction; Uterus.

ANTECEDENTES

La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera que para cada país la tasa ideal de cesárea debe permanecer entre 10-15% de la cantidad total de partos.[1] La cesárea, cuando está justificada desde el punto de vista médico, representa una variable importante para reducir la probabilidad de morbilidad y mortalidad materna-fetal; como en cualquier otra cirugía, se relaciona con riesgos a corto y largo plazo. La OMS también indica que las tasas más altas de mortalidad materna se registran en países donde el porcentaje de cesáreas excede 15%. En México, la Norma Oficial Mexicana NOM-007-SSA2-2016 alude a la *Guía de Práctica Clínica* "Reducción de la Frecuencia de Operación Cesárea", que establece la conducta a seguir en pacientes con trabajo de parto verdadero. Esta Norma señala que debe otorgarse prioridad al parto vaginal para reducir el índice de cesáreas.[2] No obstante, según la Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica de 2014 (ENADID) indica que 46.3% de los casos finalizaron en cesárea y 53.7% en parto.[3] Por lo tanto, el porcentaje de cesáreas en México supera por arriba de la mitad la cifra recomendada por la OMS. Las distocias representan una de las principales complicaciones del trabajo de parto y, a su vez, favorecen las cesáreas en diversos países de Latinoamérica.[4]

La tocodinamometría externa es la técnica de monitorización de la actividad uterina, utilizada convencionalmente en la práctica clínica; sin embargo, carece de la sensibilidad para diagnosticar de forma adecuada las distocias dinámicas asociadas con ineficiente coordinación y propagación de la actividad eléctrica uterina en el trabajo de parto.[5] En este sentido, la electromiografía uterina, o electrohisterografía, ha demostrado ser una alternativa de monitorización para pacientes embarazadas. Esta técnica ofrece diversas aplicaciones potenciales en el área clínica e investigación biomédica.[6] Además, la mayor parte de los dispositivos actuales que registran la actividad electrohisterográfica son pequeños, portátiles, de fácil uso y utilizan electrodos de superficie que se colocan en el abdomen de la paciente.

Puesto que en la actualidad la tocodinamometría externa se utiliza como técnica de monitorización de la actividad uterina, esta revisión tiene como objetivo mostrar la evidencia disponible de la utilidad de la electrohisterografía como método alterno para la monitorización de la actividad uterina en el ámbito clínico, además de describir el origen del electrohisterograma, desde un punto de vista electrofisiológico, e indicar las técnicas de procesamiento de la señal utilizadas para su análisis. Por último, se muestran las ventajas

de la electrohisterografía frente a otras técnicas convencionales vigentes.

METODOLOGÍA

La búsqueda bibliográfica se efectuó en artículos publicados entre abril y septiembre de 2018, y registrados en las bases de datos de PubMed, Scopus y Google Scholar, con las palabras clave: *electrohysterogram*, *uterine electromyography* y *electrohysterography*. No hubo restricción en los filtros de fecha de publicación, puesto que esta técnica de monitorización es novedosa en el campo de la Obstetricia. Se realizaron filtros de búsqueda con base en estudios de casos y controles, capítulos de libros, artículos originales y de revisión que incluyeran temas de investigación perinatal, monitoreo electrofisiológico materno-fetal y aplicaciones clínicas del electrohisterograma.

Criterios inclusión: estudios efectuados para evaluar la dinámica uterina durante el embarazo y trabajo de parto, incluso para discriminar el trabajo de parto pretérmino en donde se describiera detalladamente el tratamiento aplicado a las señales fisiológicas, artículos que especificaran el origen electrofisiológico de la actividad uterina y del registro del electrohisterograma y que indicaran parámetros relevantes en el análisis de su señal. Por último, artículos que compararan las ventajas del electrohisterograma *versus* técnicas convencionales vigentes para la monitorización de la dinámica uterina.

Criterios de exclusión: artículos que estuvieran dirigidos a distintos temas, que no correspondieran al área de la Ginecoobstetricia o ingeniería biomédica; artículos sin referencias y textos incompletos (formato de cartel o resumen).

Se revisaron artículos principalmente escritos en inglés y español. Se descartaron los que tuvieran duplicidad entre los buscadores. Se analizaron el título y resumen de los artículos para determinar su contenido y de esta forma comprobar que aportaran los datos de interés para la revisión. **Figura 1**

RESULTADOS

Las palabras clave: *electrohysterogram, uterine electromyography* y *electrohysterography* aparecieron en 1718 referencias en línea. Los artículos los seleccionaron dos revisores doble ciego y, con base en los criterios señalados, se encontró que la mayor parte de las investigaciones efectuadas fueron en humanos y estaban escritas en inglés. La muestra se redujo a 86 artículos para revisión en texto completo, de los que se excluyeron 15 por no especificar el método de registro por el que se obtuvo la señal del electrohisterograma o no indicar el tamaño y las características de la población, lo que resultó en 71 artículos totales en texto completo para

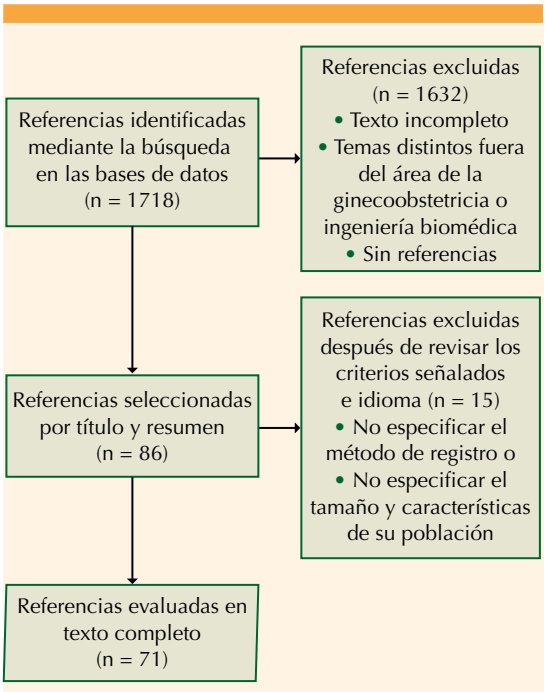

Figura 1. Algoritmo de la búsqueda bibliográfica.

https://doi.org/10.24245/gom.v87i1.2565

la extracción de la información (**Figura 1**). De los 71 artículos se encontraron 5 de revisión, 65 originales y 1 capítulo de libro.

Origen electrofisiológico de la actividad uterina

El potencial de acción es la unidad fundamental de la actividad eléctrica en la célula miometrial. Su función consiste en despolarizar la membrana y originar la afluencia de iones de calcio y, de esta forma, desencadenar la contracción uterina.[8,9] El flujo de calcio transmembrana es un modulador importante del calcio intracelular y, por lo tanto, de la contracción uterina. En este aspecto, la contractilidad uterina es una consecuencia directa de la actividad eléctrica subyacente en las células miometriales.[7]

El volumen uterino y las hormonas ováricas (principalmente los estrógenos) contribuyen al cambio en la forma del potencial de acción del músculo liso uterino, a través de su efecto en el potencial de membrana en reposo.[7] Estos potenciales resultan de los cambios en la permeabilidad iónica de la membrana, que está sujeta a la activación de los canales dependientes de voltaje. De hecho, el tejido miometrial es espontáneamente activo, porque se contrae *in vivo* e *in vitro* sin requerimiento de estímulos externos. Su actividad inicia y la coordinan las células musculares (como sucede de manera similar en el tejido cardiaco). La contracción depende de la generación espontánea de potenciales de acción, aumento en la concentración de Ca^{2+} y coexistencia de uniones comunicantes entre las células vecinas.[10] Además, la interacción de proteínas contráctiles (miosina y actina) es regulada a través de la enzima miosina, cadena ligera de cinasa (MYLK), que participa en la generación de las contracciones uterinas. **Figura 2**

Se ha sugerido la existencia de un "marcapasos uterino", que detona la contracción durante el trabajo de parto y origina ondas regulares, estables y coordinadas.[11] La naturaleza, incluso el desarrollo de este marcapasos, es objeto de debate porque no se ha demostrado anatómica ni histológicamente, pero sí desde el punto de vista funcional.[11]

Los estudios de Caldeyro-Barcia mediante catéteres introducidos en la cavidad amniótica mostraron un patrón característico del trabajo de parto, denominado triple gradiente descendente. Éste sugiere que la actividad eléctrica uterina se propaga de forma descendente, del fondo del útero al cérvix.[12] En el triple gradiente descendente, la intensidad debe ser mayor en el fondo uterino, porque existe mayor cantidad de músculo en esa zona, y disminuye gradualmente. De manera análoga al músculo cardiaco, las contracciones uterinas anormales pueden ser el resultado de focos ectópicos que inician el comportamiento contráctil de una forma no coordinada, lo que produce distocias dinámicas durante el trabajo de parto.

Es importante recalcar que la naturaleza del potencial de acción uterino es compleja y no ha sido plenamente entendida, puesto que una gran variedad de canales iónicos contribuye a su generación.[13]

Forma de onda y características de la señal electrohisterográfica

A lo largo de la historia se han llevado a cabo distintas investigaciones para la detección de la actividad eléctrica uterina a través de electrodos de superficie. En las décadas de 1950 y 1960 se publicaron los primeros artículos que exhibían las formas de onda durante las contracciones uterinas en mujeres y animales;[14,15,16] a esta señal electrofisiológica se le nombró electromiograma uterino o electrohisterograma.

El electrohisterograma es un registro no invasivo que se realiza a través de electrodos de super-

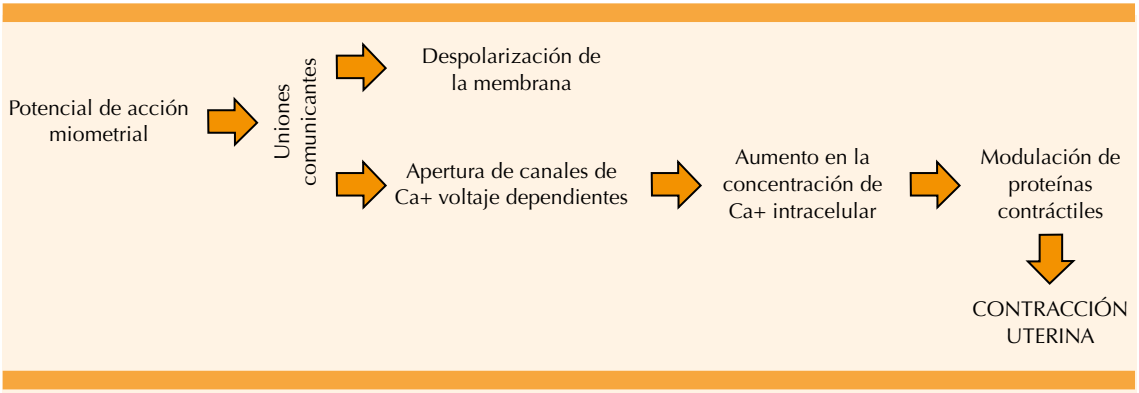

Figura 2. Mecanismo electrofisiológico relacionado con la producción de las contracciones uterinas. La propagación del potencial de acción en las células del miometrio se produce a través de uniones comunicantes. El potencial de acción despolariza la membrana y origina la apertura de canales de calcio dependientes de voltaje, para inducir el aumento en la concentración de iones de calcio intracelular y, de esta forma, modular la actividad de las proteínas contráctiles (miosina y actina), esenciales para generar las contracciones uterinas.

ficie colocados en el abdomen de la madre y proporciona información de la actividad eléctrica uterina relacionada con las contracciones durante el embarazo y el trabajo de parto. Los registros miden la despolarización de las fibras musculares uterinas. Suele utilizarse para predecir el inicio prematuro del trabajo de parto y detectar distocias de contracción. El electrohisterograma puede implementarse a partir de la semana 18 del embarazo (previo a ello, la actividad eléctrica miometrial no es perceptible con esta técnica).[17,18] Se ha observado que el electrohisterograma es una señal no estacionaria, que proporciona información relacionada con la actividad eléctrica basal y con las "ráfagas" de potenciales de acción asociadas con la aparición de las contracciones uterinas. Las ráfagas del electrohisterograma se caracterizan, principalmente, por dos componentes de frecuencia: uno de onda rápida de baja frecuencia (FWL, *Fast Wave Low* por sus siglas en inglés), componente relacionado con la propagación del electrohisterograma y otro de onda rápida de alta frecuencia (FWH, *Fast Wave High* por sus siglas en inglés), componente vinculado con la excitabilidad de las células uterinas.[19] El ancho de banda del electrohisterograma asociado con estos componentes se distribuye entre el intervalo de 0.2 a 1 Hz,[20] aunque algunos autores consideran que puede extenderse hasta 4 Hz.[18] (**Figura 3**) Incluso, la amplitud de las espigas que conforman el electrohisterograma no supera los 500 µV.[21]

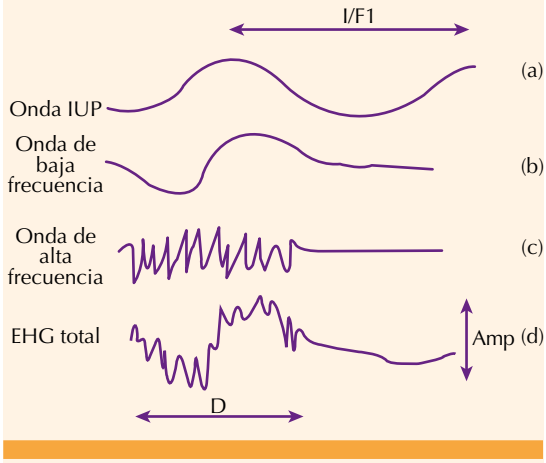

Figura 3. Ondas características del electrohisterograma (EHG): **a)** onda obtenida a través del catéter de presión intrauterino (IUPC); **b)** onda de baja frecuencia del electrohisterograma (FWL); **c)** onda de alta frecuencia del electrohisterograma (FWH); **d)** electrohisterograma total (adaptación de Devedeux y su grupo[36]).

https://doi.org/10.24245/gom.v87i1.2565

La actividad eléctrica espontánea del músculo uterino se compone de espigas intermitentes de potenciales de acción.[22] Las espigas simples de los potenciales de acción pueden iniciar contracciones, pero hacen falta múltiples espigas de mayor frecuencia y coordinadas para establecer contracciones uterinas mantenidas y regulares durante el trabajo de parto activo.[23]

Registro electrohisterográfico

Hasta la fecha no existe una forma estandarizada de colocación de electrodos para el registro del electrohisterograma; sin embargo, algunos estudios demuestran que es posible su colocación en una configuración monopolar y bipolar.[24-26] De acuerdo con diversas investigaciones, la segunda configuración es la más estable y menos propensa al ruido o interferencias.[27] La colocación de los electrodos depende del propósito del estudio en particular; por ejemplo, algunos autores indican la colocación de los electrodos en forma de una línea vertical sobre el eje medio del abdomen, con la intención de detectar la propagación de las contracciones (**Figura 4a**), y otros proponen la configuración en forma de diamante compuesta por 5 electrodos: 4 activos y 1 de referencia.[28-31] (**Figura 4b**) Sin embargo, en países como Islandia, se ha comprobado, incluso, una configuración de 16 electrodos colocados en forma de matriz de 4 x 4,[32] (**Figura 4c**) con la finalidad de trazar un mapa ("mapear") o establecer la distribución espacial de la mayor superficie del abdomen materno.

Hasta el momento no se han reportado diferencias significativas relacionadas con el tipo de electrodos utilizados en el registro del electrohisterograma y los resultados obtenidos al analizar la señal; sin embargo, se recomienda que el registro se efectúe con electrodos de plata-cloruro de plata (Ag/AgCl).[33] La ubicación de los electrodos, por encima y debajo de la cicatriz umbilical, tampoco ha mostrado diferencias

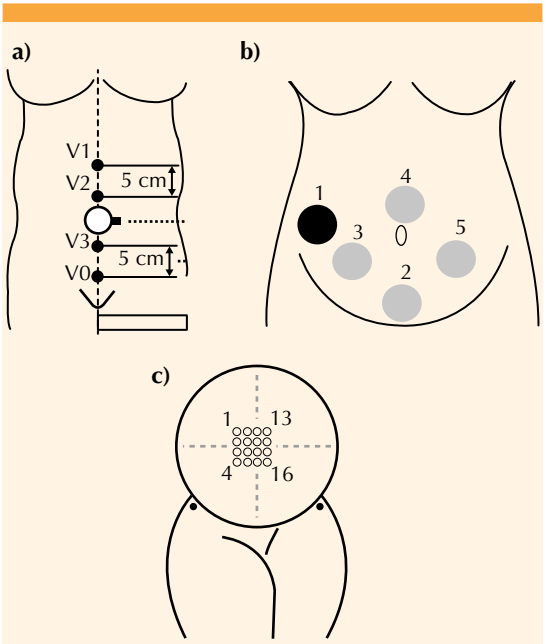

Figura 4. Ejemplos de colocación de electrodos en el abdomen de la madre para el registro de la actividad electrohisterográfica de acuerdo con diversos estudios: **a)** electrodos posicionados en el eje medio del abdomen (imagen modificada[70]); **b)** configuración en forma de diamante con cuatro electrodos activos y un electrodo de referencia (imagen modificada[31]); **c)** configuración de 16 electrodos en una matriz de 4 x 4 (imagen modificada[32]).

significativas para el registro del electrohisterograma; por tanto, no es una variable relevante para la señal observada.[34]

Las investigaciones de Lyapina y su grupo reportan que la amplitud promedio del electrohisterograma aumenta en función de la duración del embarazo; es decir, que las pacientes con trabajo de parto con mayor cantidad de semanas de gestación muestran mayor amplitud en los registros, lo que se asocia con contracciones más efectivas (mayor efecto expulsivo).[35] El estudio de Devedeux y su equipo también reportó que el electrohisterograma exhibe la misma actividad eléctrica uterina que los electromiogramas

uterinos internos; esto sucede a pesar de la atenuación que sufre la señal del electrohisterograma, debido a las propiedades de conducción de los tejidos que se encuentran entre el útero y los electrodos de superficie.[36]

Análisis de la señal electrohisterográfica

De acuerdo con las características del registro electrohisterográfico, para su análisis se requieren diversas técnicas del campo de la ingeniería biomédica y del procesamiento de señales fisiológicas.[37-39] En este sentido, es importante que el ginecoobstetra se incorpore a grupos multidisciplinarios para la implementación e interpretación de estas técnicas. Durante varias décadas se han propuesto novedosas técnicas de análisis para caracterizar la señal del electrohisterograma en diversos contextos de investigación clínica como: *1)* evaluación de la dinámica uterina,[40-46] *2)* estudios en grupos de mujeres con y sin trabajo de parto,[31,47,48] *3)* estudios en grupos de mujeres con y sin parto pretérmino[49-58] y *4)* evaluaciones de éxito *versus* fallas en la inducción del trabajo de parto.[59] Estos resultados pueden indicar su potencial aplicación en la práctica clínica rutinaria. Enseguida se describen algunos de los métodos de análisis más utilizados en diferentes estudios. **Figura 5**

Los métodos de análisis de la señal del electrohisterograma se clasifican en temporales, espectrales y no lineales:[37,38,39]

a. *Métodos temporales*: los parámetros del dominio del tiempo se utilizan, frecuentemente, para detectar la fuerza muscular; por ejemplo, uno de estos es la amplitud de la señal del electrohisterograma (μV).

b. *Métodos espectrales*: se utilizan para detectar la fatiga en el músculo; algunos de estos implican la detección de la frecuencia máxima y mediana del espectro de potencias del electrohisterograma.

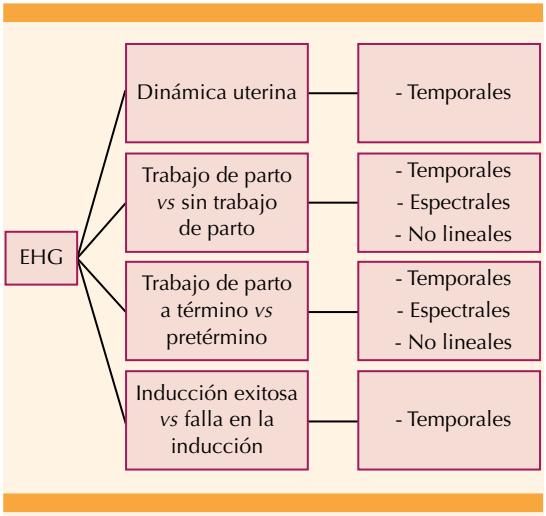

Figura 5. Diversas aplicaciones de la señal de electrohisterograma y parámetros utilizados para su caracterización (imagen adaptada[71]).

c. *Métodos no lineales*: los mecanismos fisiológicos subyacentes de los sistemas biológicos son procesos no lineales que cambian con el tiempo y, por tanto, pueden modelarse como un sistema dinámico no lineal. Las técnicas de procesamiento de señales no lineales proporcionan información adicional de los cambios fisiológicos durante el embarazo y el trabajo de parto, que no dependen del tiempo ni de la frecuencia de la señal. Algunos ejemplos son la entropía muestral (*SampEn*) y la cuantificación de la complejidad de *Lempel-Ziv*.[39]

En la investigación biomédica se han utilizado diversos parámetros del electrohisterograma en diferentes contextos. Más adelante se describen algunos de los estudios más relevantes donde se ha aplicado el electrohisterograma con un enfoque de investigación traslacional, definida como la aplicación de los conocimientos básicos que se adquieren en el laboratorio de investigación a la práctica clínica, con el objetivo de mejorar la asistencia médica.

https://doi.org/10.24245/gom.v87i1.2565

a. *Evaluación de la dinámica uterina*: algunos autores sugieren que el estudio de los registros electrohisterográficos puede mejorar la comprensión del origen de los mecanismos electrofisiológicos uterinos y, al mismo tiempo, es capaz de identificar distocias dinámicas durante el trabajo de parto. En particular, ciertas investigaciones indican que el electrohisterograma evalúa la actividad mecánica del útero y, además, posee mayor sensibilidad para identificar contracciones uterinas comparado con la tocodinamometría externa.[40,41,42] Incluso, algunos autores han desarrollado algoritmos automatizados para analizar, en tiempo real, las contracciones uterinas a partir del electrohisterograma.[43] Los estudios de García-González y su grupo[28] y Euliano y sus colaboradores[44] muestran que la actividad eléctrica uterina difiere en las mujeres que finalizan el embarazo por cesárea *versus* parto eutócico.[28,44] Asimismo, la señal del electrohisterograma se correlaciona con la evolución del trabajo de parto y muestra sensibilidad con la concentración de oxitocina.[45]

   El electrohisterograma también se ha evaluado en mujeres no embarazadas, con el objetivo de caracterizar la actividad uterina normal, que es dominada por el reflejo útero-cervical y funciona para modificar las secreciones uterinas en mujeres sanas.[46]

b. *Identificación del inicio del trabajo de parto*: mediante parámetros espectrales y no lineales (frecuencia media, frecuencia mediana y entropía muestral de la señal del electrohisterograma) es posible determinar el inicio fisiológico del trabajo de parto.[47] La **Figura 6** muestra el registro electrohisterográfico de una paciente con embarazo de 39 semanas, sin evidencia de inicio de trabajo de parto (**Figura 6a**) y, posteriormente, se observa el mismo estudio en la semana 40 durante el trabajo de parto activo. (**Figura 6b**) En la parte inferior de la figura se observa la envolvente de ambas señales, que se asemejan a un registro tocodinamométrico. Algunas investigaciones sugieren que el trabajo de parto genera un cambio en el microambiente uterino, que se modifica de un proceso antiinflamatorio a proinflamatorio.[48] El electrohisterograma representa un método útil en el área de la inmunología, como lo muestra el estudio previo de nuestro grupo de trabajo,[31] que demuestra que algunos marcadores inflamatorios (interleucina-28 [IL-28]) se correlacionan con parámetros temporales obtenidos del electrohisterograma durante el trabajo de parto activo. Nuestros resultados sugieren una interacción entre la actividad uterina y la inflamación sistémica en esta etapa de la gestación.[31]

c. *Identificación del trabajo de parto prematuro*: la identificación temprana de un parto prematuro es importante para su tratamiento y, de ser posible, prevención. Para lograr este propósito se requiere el desarrollo de indicadores. Es en esta área donde el electrohisterograma ha sido mayormente estudiado. Por ejemplo, la investigación de Léman y su grupo[49] caracterizó las contracciones uterinas de un grupo de mujeres en trabajo de parto a término y las contracciones de otro grupo de mujeres en trabajo de parto pretérmino mediante estudio electrohisterográfico. Los autores estimaron parámetros temporales (duración de la contracción y magnitud relativa de ésta) y espectrales del electrohisterograma (pico de máxima frecuencia, frecuencia media y coeficientes de curtosis y asimetría) para ambos grupos y concluyeron que en el

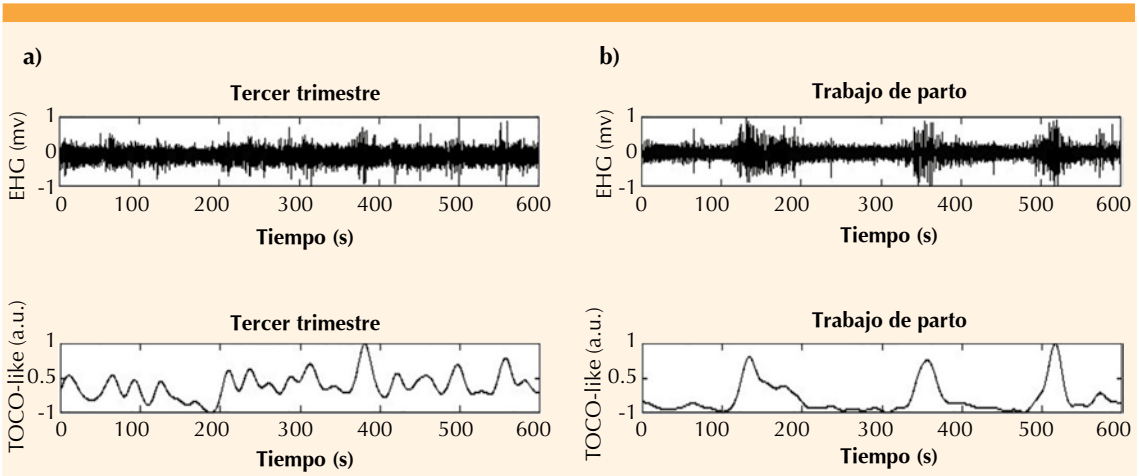

Figura 6. a) Registro electrohisterográfico en el tercer trimestre de embarazo (semana 39 de gestación): en la parte inferior se observa la envolvente de la señal (unidades arbitrarias), que se aproxima a la morfología del registro tocodinamométrico (*toco-like*). **b)** Registro electrohisterográfico de la misma paciente durante el trabajo de parto activo (semana 40 de gestación): en la parte inferior se observa la envolvente de la señal. Se visualiza coordinación y mayor amplitud en las contracciones uterinas durante el trabajo de parto *versus* el tercer trimestre de embarazo.

grupo de mujeres con parto pretérmino las contracciones uterinas tenían una dinámica diferente durante la evolución del trabajo de parto comparadas con el grupo de término.[49] Otros estudios se enfocaron en generar algoritmos que, de manera automatizada, logran predecir partos pretérmino con éxito, principalmente los de Acharya,[50] Alamedine,[51] Mischi,[52] Di Marco,[53] y Jager,[54] con sus respetivos colaboradores. Incluso, el estudio de Fergus y sus coautores[55,56] utilizó herramientas de inteligencia artificial para detectar los partos pretérmino, con sensibilidad y especificidad mayores de 80%. Las investigaciones de Horoba[57] y Fele-Žorž[18] sugieren que el monitoreo de la actividad uterina previo a la semana 26 del embarazo, en conjunto con distintos parámetros electrohisterográficos (raíz cuadrática media, pico de máxima frecuencia, frecuencia media y autocorrelación de los cruces por cero), pueden determinar si el parto será pretérmino.[18] Mas-Cabo y su equipo[58] evaluaron la capacidad de diversos parámetros calculados a partir del electrohisterograma para identificar el trabajo de parto inminente (menos de siete días) en mujeres con amenaza de trabajo de parto prematuro sometidas a terapia tocolítica y se observó que los parámetros no lineales tienen mejor desempeño que los parámetros temporales y espectrales para identificar a las mujeres que dieron a luz en menos de 7 días *versus* quienes que no lo hicieron.[58]

d. *Inducción del trabajo de parto*: la investigación de Alberola-Rubio y sus colaboradores[59] buscó generar un sistema para predecir si el trabajo de parto inducido llegaría de manera exitosa al alumbramiento por medio de parámetros temporales medidos por electrohisterograma.[59] Aunque el algoritmo generado en el estudio no pudo ser concluyente con los

https://doi.org/10.24245/gom.v87i1.2565

resultados obtenidos, se determinó que el electrohisterograma ofrece información relevante del progreso de la actividad eléctrica uterina durante el trabajo de parto.[59]

Técnicas convencionales de monitorización de la actividad uterina

Las técnicas de monitorización de la actividad uterina se dividen en invasivas y no invasivas. La presión intrauterina, a pesar de ser una técnica invasiva, es la técnica de referencia para la caracterización de contracciones uterinas durante el trabajo de parto.

Técnica invasiva de monitorización de la actividad uterina

- Catéter intrauterino de presión *(intrauterine pressure catheter,* por sus siglas en inglés IUPC*)*: es un sistema invasiva que, por medio de un catéter, mide la presión intrauterina relacionada con la aparición de contracciones. Se coloca un catéter con un pequeño transductor de presión en su extremo, que permite la medición de la fuerza de la contracción en el útero. La desventaja de esta técnica es que se requiere romper las membranas amnióticas, lo que puede producir infecciones y poner en riesgo la vida de la madre y el feto.[60,61]

Técnicas no invasivas de monitorización de la actividad uterina

Tocodinamometría: es la técnica más utilizada en Obstetricia para la monitorización de la dinámica uterina. Para realizar el estudio se coloca un transductor de presión en el abdomen de la madre, con la finalidad de medir el cambio de tensión abdominal que se produce durante una contracción uterina. El sistema del dispositivo se basa en componentes piezorresistivos (galgas extensiométricas), cuyas impedancias varían según la deformación originada por las contracciones. Esta variación debe medirse y con ella se establece una relación con la presión de la contracción; sin embargo, la técnica muestra las siguientes desventajas:

1. Dificultad e incomodidad del registro durante el trabajo de parto en madres con índice de masa corporal (IMC) elevado.

2. Alteraciones en el registro debido a la fuerza de contracción del músculo uterino, posición de la madre, edad gestacional y ubicación del transductor.

3. Dificultad para distinguir entre las contracciones efectivas y no efectivas, es decir, las asociadas con trabajo de parto con efecto expulsivo, de las que se producen durante todo el embarazo por los cambios fisiológicos en la madre.[60,61]

DISCUSIÓN

Una de las principales ventajas del electrohisterograma es su capacidad para detectar la propagación de los potenciales de acción asociados con la contractilidad del miometrio y, por tanto, identificar distocias durante el trabajo de parto.[7] El registro puede realizarse fácilmente; algunas pacientes se sienten más cómodas durante el registro electrohisterográfico[62] que a quienes se les hace tocodinamometría externa, pues en el primero se utilizan electrodos de superficie y no transductores piezoeléctricos, como ocurre en el segundo caso. Además, las pacientes reportan que los transductores de tocodinamometría externa son, en ocasiones, estorbosos durante la monitorización convencional. Puesto que el electrohisterograma se considera un biopotencial, la grasa abdominal de las pacientes afecta en poca medida la señal; sin embargo, este se altera en mayor grado con el registro tocodinamométrico.[5,41,63,64] El estudio de Euliano y su

grupo,[41] en el que compararon la eficacia del tocodinamómetro y el electrohisterograma *versus* el catéter de presión intrauterino (estudio de referencia), demostró que el electrohisterograma tuvo mayor sensibilidad y proporcionó trazos de fácil interpretación durante la monitorización intraparto por los ginecoobstetras comparado con la tocodinamometría externa.[41] Ese estudio también reportó que aproximadamente 90% de las contracciones identificadas por el catéter de presión intrauterino se asocian, temporalmente, con el trazo del electrohisterograma (poco más del doble que las identificadas por tocodinamometría).[41] Estos hallazgos fueron confirmados por Cohen,[42] quien mostró que el electrohisterograma es más confiable que la tocodinamometría, 97 *vs* 61% de coincidencia con el catéter de presión intrauterino, respectivamente.[42] Así mismo, Euliano[65] señaló que la detección de las contracciones en pacientes obesas, estimadas con electrohisterograma, se correlacionó mejor con las mediciones del catéter de presión intrauterino (0.94 ± 0.06) que con la tocodinamometría externa (0.77 ± 0.25, p = .004), y concluye que las contracciones derivadas del electrohisterograma son similares a las obtenidas mediante catéter intrauterino de presión.[65] Por su parte, Jacod y sus colaboradores[66] señalan que el electrohisterograma detecta las contracciones uterinas con alta precisión: sensibilidad de 94.5% (IC95%: 87.5-100) y valor positivo predictivo de 88.3% (IC95%: 76.2-100); sin embargo, las características de las contracciones medidas por ambos métodos no son comparables del todo, debido a que ambas señales poseen una naturaleza distinta.[66] En contraste, al comparar el electrohisterograma vaginal *versus* tocodinamometría en ovinos, tomando como referencia el catéter intrauterino de presión, se encontró baja confiabilidad en la tocodinamometría comparada con el electrohisterograma para detectar las contracciones uterinas.[67]

Aunque la presión en el útero no puede ser el parámetro más seguro para conocer si un parto vaginal será exitoso, el catéter intrauterino de presión representa un estudio de referencia para la monitorización de la actividad uterina. Un objetivo loable de la monitorización del electrohisterograma recaería en el pronóstico de éxito o fracaso del trabajo de parto.[68] De hecho, algunos estudios indican que el análisis de frecuencia del electrohisterograma proporciona una estimación precisa de la presión intrauterina.[69]

Se espera que los avances en el área de ingeniería biomédica y procesamiento de señales permitan dilucidar los mecanismos fisiológicos implicados con las distocias durante el trabajo de parto y los partos prematuros a través del desarrollo de nuevos algoritmos de análisis de la señal del electrohisterograma.

CONCLUSIONES

La monitorización durante el trabajo de parto es decisiva para mejorar la comprensión en torno a la dinámica uterina. Las técnicas vigentes de monitoreo convencional de la actividad uterina carecen de capacidad para evaluar la dinámica uterina, identificar distocias dinámicas o predecir partos prematuros. En este sentido, el análisis de los registros electrohisterográficos ha permitido mayor entendimiento acerca de los mecanismos electrofisiológicos implicados en el trabajo de parto y el embarazo. El electrohisterograma es una técnica valiosa y con gran potencial para implementarse en México y América Latina, en donde los ginecoobstetras pueden auxiliarse para identificar distocias y reconocer adecuadamente los caso de nacimiento pretérmino.

REFERENCIAS

1. World Health Organization Human. Reproduction Programme, 10 April 2015. WHO Statements on cesarean section rates. Reprod Health Matters 2015;23(45):149-50. doi: 10.1016/j.rhm.2015.07.007
2. Secretaría de Salud de los Estados Unidos Mexicanos. Norma Oficial Mexicana NOM-007-SSA2-2016, Para la atención de la mujer durante el embarazo, parto y puerperio, y de la

https://doi.org/10.24245/gom.v87i1.2565

persona recién nacida. Norma Oficial Mexicana 2016;1-67. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004

3. INEGI. Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica 2014. Boletín de Prensa núm. 271/15 2015 p. 41.
4. Guzman E, et al. High Cesarean Section Rates in Latin America, a Reflection of a Different Approach to Labor? Open J Obstet Gynecol 2015;5(5):433-5. doi: 10.4236/ojog.2015.58062
5. Euliano TY, et al. Monitoring uterine activity during labor: A comparison of 3 methods. Am J Obstet Gynecol 2013;208(1). doi: 10.1016/j.ajog.2012.10.873
6. Marque C, et al. Uterine EHG processing for obstetrical monitorng. IEEE Trans Biomed Eng 1986;33(12):1182-7. doi: 10.1109/TBME.1986.325698
7. Garfield RE, Maner WL. Physiology and electrical activity of uterine contractions. Semin Cell Dev Biol 2007;18(3):289-95. doi: 10.1016/j.semcdb.2007.05.004
8. Bursztyn L, et al. Mathematical model of excitation-contraction in a uterine smooth muscle cell. Am J Physiol Cell Physiol 2007;292(5):C1816-29. doi: 10.1152/ajpcell.00478.2006
9. Wray S, et al. Calcium signaling and uterine contractility. J Soc Gynecol Investig 2003;10(5):252-64.
10. Wray S, Arrowsmith S. Uterine smooth muscle. In: Hill and Olson, editor. Fundamental Biology and Mechanisms of Disease. London: Elsevier; 2012, 1207-1216.
11. Bett G. Quantitative analysis of uterine action potentials. J Genit Syst Disord 2012;1(1):1000e102. doi: 10.4172/2325-9728.1000e102
12. Alvarez H, et al. The normal and abnormal contractile waves of the uterus during labour. Gynecol Obstet Invest 1954;138(2):190-212. doi: 10.1159/000308198
13. Tong WC, et al. A computational model of the ionic currents, Ca2+ dynamics and action potentials underlying contraction of isolated uterine smooth muscle.[Erratum appears in PLoS One 2011;6(10). doi: 10.1371/annotation/d317e049-4927-4906-95a5-cd0198a3feb9 Note: Karche. PLoS ONE [Electronic Resour. 2011;6(4):e18685.
14. Larks SD. The human electrohysterogram: wave forms and implications. Proc Natl Acad Sci USA 1958;44(8):820-4. doi: 10.1073/pnas.44.8.820
15. Ichijo M, Ujiie Y. Studies on Electrohysterogram. Tohoku J Exp Med 1966;90(1):9-24.
16. Steer CM, Hertsch GJ. Electrical activity of the human uterus in labor; the electrohysterograph. Am J Obstet Gynecol 1950;59(1):25-40. doi: 10.1016/0002-9378(50)90337-1
17. Vrhovec J, Macek A. An uterine electromyographic activity as a measure of labor progression. In: Steele C, editor. Applications of EMG in Clinical and Sports Medicine. Croatia: InTech, 2012;243-68. doi: 10.5772/25526
18. Fele-Žorž G, et al. A comparison of various linear and non-linear signal processing techniques to separate uterine EMG records of term and pre-term delivery groups. Med Biol Eng Comput 2008;46(9):911-22. doi: 10.1007/s11517-008-0350-y
19. Terrien J, et al. Spectral characterization of human EHG frequency components based on the extraction and reconstruction of the ridges in the scalogram. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc 2007;2007;1872-5. doi: 10.1109/IEMBS.2007.4352680
20. Schlembach D, et al. Monitoring the progress of pregnancy and labor using electromyography. Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol 2009;144(Suppl 1):2-8. doi: 10.1016/j.ejogrb.2009.02.016
21. Gondry J, et al. Electrohysterography during pregnancy: Preliminary report. Biomed Instrum Technol 1993;27(4):318-24.
22. Jain V, et al. Structure and function of the myometrium. Adv Organ Biol 2000;8:215-246. doi: 10.1016/S1569-2590(00)08009-5
23. Marshall JM. Regulation of activity in uterine smooth muscle. Physiol Rev Suppl 1962;5:213-27.
24. Ye-Lin Y, et al. Feasibility and analysis of bipolar concentric recording of electrohysterogram with flexible active electrode. Ann Biomed Eng 2015;43(4):968-76. doi: 10.1007/s10439-014-1130-5
25. Ye-Lin Y, et al. Non-invasive electrohysterogram recording using flexible concentric ring electrode. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc 2014;2014:4050-3. doi: 10.1109/EMBC.2014.6944513
26. De Lau H, et al. Study protocol: PoPE-Prediction of preterm delivery by electrohysterography. BMC Pregnancy Childbirth 2014;14;192. doi: 10.1186/1471-2393-14-192
27. Huang H, et al. An analysis of EMG electrode configuration for targeted muscle reinnervation based neural machine interface. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng 2008;16(1):37-45. doi: 10.1109/TNSRE.2007.910282
28. Garcia-Gonzalez MT, et al. Characterization of EHG contractions at term labor by nonlinear analysis. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc 2013;7432-5. doi: 10.1109/EMBC.2013.6611276
29. Sletten J, et al. Effect of uterine contractions on fetal heart rate in pregnancy: a prospective observational study. Acta Obstet Gynecol Scand 2016;95(10):1129-35. doi: 10.1111/aogs.12949
30. Kieser E, et al. Development of a signal processing and feature extraction framework for the safe passage study. 2018 3rd Biennial South African Biomedical Engineering Conference, IEEE Xplore 2018;2018:1-4. doi: 10.1109/SAIBMEC.2018.8363193
31. Escalante-Gaytán J, et al. Associations of immunological markers and anthropometric measures with linear and nonlinear electrohysterographic parameters at term active labor. Adv Neuroimmune Biol 2018;7(1):17-26. doi: 10.3233/NIB-170127
32. Alexandersson A, et al. The Icelandic 16-electrode electrohysterogram database. Sci Data 2015;2:1-9. doi: 10.1038/sdata.2015.17

33. Gao P, et al. Comparison of electrohysterogram signal measured by surface electrodes with different designs: A computational study with dipole band and abdomen models. Sci Rep 2017;7(1):17282. doi: 10.1038/s41598-017-17109-3
34. Jóhannsdóttir MS. The effect of different electrode design on the electrohysterogram signal the effect of different electrode design on the electrohysterogram signal. University of Iceland; 2015. Dirección URL: <https://skemman.is/bitstream/1946/22118/1/lokautgafa_msj.pdf>.
35. Lyapina YA, et al. The patterns of changes in the electrohysterogram amplitude characteristics in healthy pregnant women during the third trimester. Hum Physiol 2011;37(2):213-6. doi: 10.1134/S0362119710061040
36. Devedeux D, et al. Uterine electromyography: A critical review. Am J Obstet Gynecol 1993;169(6):1636-53. https://doi.org/10.1016/0002-9378(93)90456-S
37. Garcia-Casado J, et al. Electrohysterography in the diagnosis of preterm birth: A review. Physiol Meas 2018;39(2):02TR01. doi: 10.1088/1361-6579/aaad56
38. Thongpanja S, et al. Mean and median frequency of emg signal to determine muscle force based on time-dependent power spectrum. Electron Electr Eng 2013;19(3):51-6. doi: 10.5755/j01.eee.19.3.3697
39. Lemancewicz A, et al. Early diagnosis of threatened premature labor by electrohysterographic recordings. The use of digital signal processing. Biocybern Biomed Eng 2016;36(1):302-7. doi: 10.1016/j.bbe.2015.11.005
40. Horoba K, et al. Algorithm for Detection of Uterine Contractions. Conf IEEE Eng Med Biol Soc. 2001;2161-4.
41. Euliano TY, et al. Monitoring uterine activity during labor: clinician interpretation of electrohysterography versus intrauterine pressure catheter and tocodynamometry. Am J Perinatol 2016;33(9):831-8. doi: 10.1055/s-0036-1572425
42. Cohen WR. Clinical assessment of uterine contractions. Int J Gynecol Obstet 2017;139(2). doi: 10.1002/ijgo.12270
43. McDonald SC, et al. The identification and tracking of uterine contractions using template based cross-correlation. Ann Biomed Eng 2017;45(9):2196-210. doi: 10.1007/s10439-017-1873-x
44. Euliano TY, et al. Spatiotemporal electrohysterography patterns in normal and arrested labor. Am J Obstet Gynecol 2009;200(1):54.e1-54.e7. doi: 10.1016/j.ajog.2008.09.008
45. Vasak B, et al. Uterine electromyography for identification of first-stage labor arrest in term nulliparous women with spontaneous onset of labor. Am J Obstet Gynecol 2013;209(3):232.e1-232.e8. doi: 10.1016/j.ajog.2013.05.056
46. Shafik A. Electrohysterogram: Study of the electromechanical activity of the uterus in humans. Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol 1997;73(1):85-9. doi: 10.1016/S0301-2115(97)02727-9
47. Ye-Lin Y, et al. Prediction of labor using non-invasive laplacian EHG recordings. Proc Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc EMBS 2013;7428-31. doi: 10.1109/EMBC.2013.6611275
48. Gomez-Lopez N, et al. Immune cells in term and preterm labor. Cell Mol Immunol 2014;11(6):571-81. doi: 10.1038/cmi.2014.46
49. Léman H, et al. Use of the electrohysterogram signal for characterization of contractions during pregnancy. IEEE Trans Biomed Eng 1999;46(10):1222-9. doi: 10.1109/10.790499
50. Acharya UR, et al. Automated detection of premature delivery using empirical mode and wavelet packet decomposition techniques with uterine electromyogram signals. Comput Biol Med 2017;85:33-42. doi: 10.1016/j.compbiomed.2017.04.013
51. Alamedine D, et al. Selection algorithm for parameters to characterize uterine EHG signals for the detection of preterm labor. SIViP 2014;8(6):1169-78. doi: 10.1007/s11760-014-0655-2
52. Mischi M, et al. Dedicated entropy measures for early assessment of pregnancy progression from single-channel electrohysterography. IEEE Trans Biomed Eng 2018;65(4):875-84. doi: 10.1109/TBME.2017.2723933
53. Di Marco LY, et al. Recurring patterns in stationary intervals of abdominal uterine electromyograms during gestation. Med Biol Eng Comput 2014;52(8):707-16. doi: 10.1007/s11517-014-1174-6
54. Jager F, et al. Characterization and automatic classification of preterm and term uterine records. PLoS One 2018;13(8):e0202125. doi: 10.1371/journal.pone.0202125
55. Fergus P, et al. Prediction of preterm deliveries from EHG signals using machine learning. PLoS One 2013;8(10). doi: 10.1371/journal.pone.0077154
56. Fergus P, et al. Evaluation of advanced artificial neural network classification and feature extraction techniques for detecting preterm births using EHG records. Intell Conf Intell Comp 2014;309-14. doi: 10.1007/978-3-319-09330-7_37
57. Horoba K, et al. Analysis of uterine contractile wave propagation in electrohysterogram for assessing the risk of preterm birth. J Med Imaging Heal Informatics 2015;5(6):1287-94. doi: 10.1166/jmihi.2015.1531
58. Mas-Cabo J, et al. Uterine electromyography for discrimination of labor imminence in women with threatened preterm labor under tocolytic treatment. Med Biol Eng Comput 2018;29;(in press). doi: 10.1007/s11517-018-1888-y
59. Alberola-Rubio J, et al. Prediction of labor onset type: Spontaneous vs induced; role of electrohysterography? Comput Methods Programs Biomed 2017;144:127-33. doi: 10.1016/j.cmpb.2017.03.018
60. Alberola-Rubio J. Estudio electrofisiológico del útero humano durante el embarazo a partir de registros no invasivos del electrohisterograma. Universidad de Valencia; 2017. Dirección URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/84750606.pdf>.

https://doi.org/10.24245/gom.v87i1.2565

61. Giner C. Caracterización de la actividad mioeléctrica uterina durante la inducción del parto . [Valencia, España]: Universidad Politécnica de Valencia; 2016. Dirección URL: <https://riunet.upv.es/handle/10251/76093>.
62. Rauf Z, et al. Home labour induction with retrievable prostaglandin pessary and continuous telemetric trans-abdominal fetal ECG monitoring. PLoS One 2011;28;6(11):e28129. doi: 10.1371/journal.pone.0028129
63. Rabotti C, et al. Noninvasive estimation of the electrohysterographic action-potential conduction velocity. IEEE Trans Biomed Eng 2010;57(9):2178-87. doi: 10.1109/TBME.2010.2049111
64. Vlemminx MWC, et al. Electrohysterography for uterine monitoring during term labour compared to external tocodynamometry and intra-uterine pressure catheter. Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol 2017;215:197-205. doi: 10.1016/j.ejogrb.2017.05.027
65. Euliano T. Monitoring contractions in obese parturients. Obstet Gynecol 2007;109(5):1136-40.
66. Jacod BC, et al. A validation of electrohysterography for uterine activity monitoring during labour. J Matern Neonatal Med 2010;23(1):17-22. doi: 10.3109/14767050903156668
67. Sunwoo N, et al. Vaginal electrohysterography: the design and preliminary evaluation of a novel device for uterine contraction monitoring in an ovine model. J Matern Neonatal Med 2016;29(17):2742-7. doi: 10.3109/14767058.2015.1107538
68. Euliano T, et al. Prediction of intrauterine pressure waveform from transabdominal electrohysterography. J Matern Neonatal Med 2006;19(12):803-8. doi: 10.1080/14767050601023657
69. Rabotti C, et al. Estimation of internal uterine pressure by joint amplitude and frequency analysis of electrohysterographic signals. Physiol Meas 2008;29(7):829-41. doi: 10.1088/0967-3334/29/7/011
70. Jezewski J, et al. Quantitative analysis of contraction patterns in electrical activity signal of pregnant uterus as an alternative to mechanical approach. Physiol Meas 2005;26(5):753.67. doi: 10.1088/0967-3334/26/5/014
71. Benalcazar-Parra C, et al. Electrohysterographic characterization of the uterine myoelectrical response to labor induction drugs. Med Eng Phys 2018;56:27-35. doi: 10.1016/j.medengphy.2018.04.002

CITACIÓN ACTUAL

De acuerdo con las principales bases de datos y repositorios internacionales, la nueva forma de citación para publicaciones periódicas, digitales (revistas en línea), libros o cualquier tipo de referencia que incluya número doi (por sus siglas en inglés: Digital Object Identifier) será de la siguiente forma:

REFERENCIAS

1. Katarina V, Gordana T. Oxidative stress and neuroinflammation should be both considered in the occurrence of fatigue and depression in multiple sclerosis. Acta Neurol Belg 2018;34(7):663-9. doi: 10.1007/s13760-018-1015-8.
2. Yang M, et al. A comparative study of three different forecasting methods for trial of labor after cesarean section. J Obstet Gynaecol Res 2017;25(11):239-42. doi: https://doi.org/10.1016/j.gyobfe.2015.04.015