

¿QUÉ APORTA LA IMPEDANCIOMETRÍA ESTACIONARIA Y AMBULATORIA ASOCIADA A LAS TÉCNICAS CLÁSICAS DE MEDICIÓN?

What does stationary and ambulatory impedance testing contribute to classical measurement techniques?

Sanabria Marchante I, Manrique Gil MJ, Rodriguez Ramos C, Macías Rodríguez MA

HOSPITAL UNIVERSITARIO PUERTA DEL MAR. CÁDIZ.

Resumen

La impedanciometría es una técnica descrita hace décadas cuyo uso no está muy generalizado actualmente. Sin embargo, su utilidad ha sido ampliamente demostrada en múltiples estudios, tanto como apoyo diagnóstico durante la realización de la manometría de alta resolución esofágica como de forma ambulatoria acoplada a pHmetría. Además, nos ayuda al diagnóstico de patologías con muy poca visibilidad y puede ser usada como herramienta para la optimización de tratamientos tanto médicos como quirúrgicos.

En esta revisión, se repasan sus indicaciones actuales, así como las perspectivas de futuro. Además, se desarrollará su uso tanto acoplado a la manometría de alta resolución esofágica como los estudios de impedanciometría y pHmetría de 24 horas. Se resaltan las patologías en las que su uso marca la diferencia para el diagnóstico y seguimiento, y por último

qué valores e índices están tanto en uso como en desarrollo en la actualidad.

Palabras clave: impedanciometría esofágica, planimetría, manometría esofágica de alta resolución, impedanciometría esofágica ambulatoria.

Abstract

Impedanciometry is a technique described decades ago, but its use is not widely adopted today. However, its utility has been extensively demonstrated in multiple studies, both as a diagnostic support during high-resolution esophageal manometry and in outpatient settings coupled with pH monitoring. Additionally, it aids in the diagnosis of conditions that have very low visibility and can be used as a tool for optimizing both medical and surgical treatments.

Isabel Sanabria Marchante
Hospital Universitario Puerta del Mar
isabel.sanabria.sspa@juntadeandalucia.es

Sanabria Marchante I, Manrique Gil MJ, Rodriguez Ramos C, Macías Rodríguez MA. ¿Qué aporta la impedanciometría estacionaria y ambulatoria asociada a las técnicas clásicas de medición? RAPD 2025;48(1):9-17. DOI: 10.37352/2025481.1

In this review, we will discuss its current indications as well as future perspectives. We will also explore its use in conjunction with high-resolution esophageal manometry, as well as the studies of impedance manometry and 24-hour pH monitoring. We will highlight the conditions where its use makes a significant difference for diagnosis and follow-up, and finally, we will examine the values and indices that are currently in use and under development.

Keywords: esophageal impedanciometry, planimetry, high-resolution esophageal manometry, ambulatory esophageal impedanciometry.

Introducción

La impedanciometría intraluminal multicanal es una técnica que fue desarrollada en 1990 en el Instituto Helmholtz de Aachen (Alemania) y fue descrita por primera vez por Silny¹ que estudió el movimiento del bolo intraluminal midiendo los cambios en la conductividad del contenido. Su utilización fue aprobada por la Administración de Medicamentos y Alimentos (FDA) en 2002. La base fundamental de esta técnica es que nos permite detectar la dirección del movimiento del bolo intraluminal esofágico sin utilizar radiaciones ionizantes.

La revisión de este tema se divide en:

1.- Concepto y gráfica básica

2.- Indicaciones:

- Impedanciometría asociada a la manometría de alta resolución (HRIM)

a. Eructos supragástricos y rumia

b. Acalasia

c. Otros

- Impedanciometría acoplada a pmetría de 24 horas.

a. Esófago hipersensible

b. Pirosis funcional

3.- Conclusión

Concepto y gráfica básica

La impedanciometría mide la mayor o menor resistencia a la corriente eléctrica que se produce entre dos electrodos metálicos incluidos en el catéter de manometría esofágica de alta resolución. Es un concepto contrario a la conductividad. Esta resistencia aumentará según el contenido esofágico, independientemente del pH del mismo. Su unidad fundamental es el Ohmio (Ω).

Así dependiendo del contenido esofágico tendremos un gráfico con una caída o subida de la impedanciometría, que nos indicará la dirección. El aire tiene una alta impedancia (10.000 Ω), mientras que el suero salino tiene una baja impedancia (100 Ω). Por ello, esta prueba debe realizarse con degluciones con suero salino cuya impedancia conocemos y es fácilmente reconocible en los gráficos. El estado en reposo esofágico nos muestra los valores de impedanciometría de su mucosa².

El gráfico básico que debemos reconocer ante una deglución es el siguiente (Figura 1)³:

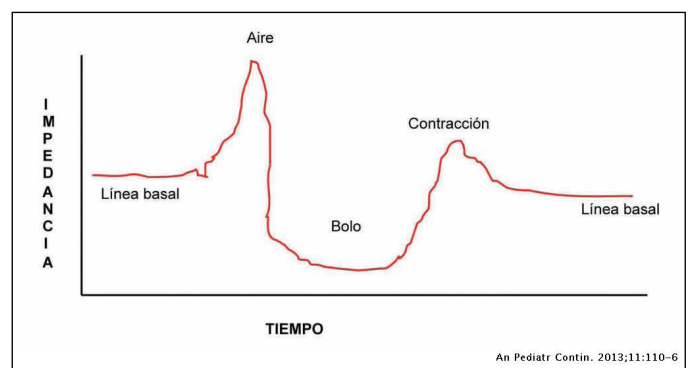


Figura 1. Gráfico de impedanciometría durante una deglución de suero fisiológico³.

- Primero se produce una subida sobre la línea basal que corresponde al aire que deglutimos junto con el bolo alimenticio.
- Seguidamente se registra la caída de impedancia por la llegada del bolo al canal, debe ser al menos del 50% sobre la línea basal.
- Por último, se produce la recuperación de los niveles basales.

Esto ocurre en cada uno de los canales situados en la sonda por lo que si miramos la dirección de la caída o subida podemos identificar tanto el tipo de contenido intraluminal esofágico como su dirección.

El movimiento anterógrado del bolo que se produce durante la deglución produce una caída de impedancia desde proximal a distal y posteriormente se produce la onda peristáltica que vemos en los registros de manometría esofágica de forma habitual.

Por el contrario, el movimiento retrógrado del bolo, que supone que estaríamos ante un episodio de reflujo o regurgitación, se refleja como una caída de impedancia desde distal a proximal. Luego se observa el aclaramiento esofágico con una caída desde proximal a distal y su correspondiente onda de peristalsis (Figura 2)³.

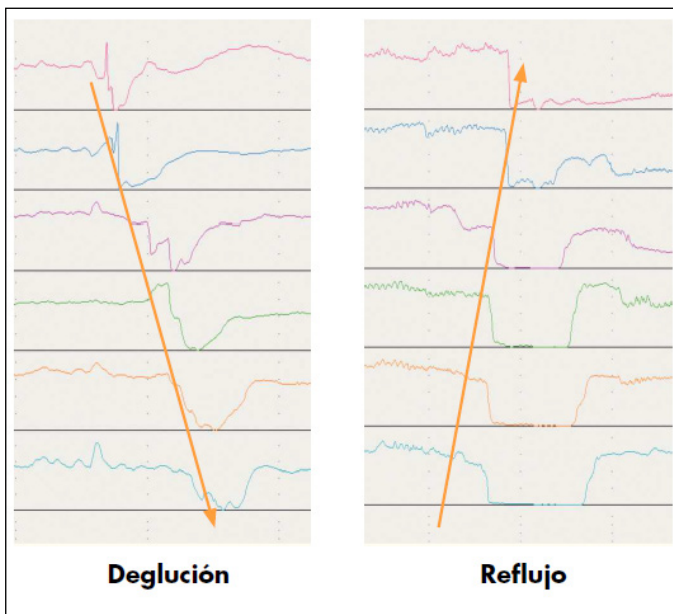


Figura 2. Imagen tipo de deglución y reflujo.³

Si el contenido es aire en vez de una caída de impedancia observaríamos una elevación de esta.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que esta técnica es muy sensible a los pequeños cambios de volúmenes tanto de líquidos como de gas. Por ello no es posible estimar la cantidad de líquidos intraluminal ya que se ha comprobado que la caída es similar con cantidades de 1 y 10 ml.

Durante la realización del estudio también se producen artefactos, movimientos sobre la línea basal debidos a el movimiento del catéter. Hay que estar atento a los mismos y saber identificarlos para evitar diagnósticos erróneos.

Indicaciones (Tabla 1)

Acoplada a la manometría de alta resolución (HRIM):
a) Para evaluar el movimiento anterógrado y retrógrado en el diagnóstico del eructo gástrico/supra gástrico y en el síndrome de rumiación.
b) Para evaluar el nivel de retención esofágico como sustituto al esofagograma con bario cronometrado en acalasia, especialmente tras el tratamiento.
c) Sistema de planimetría con impedancia (Endoflip) para evaluar la adecuada distensibilidad tanto en cuerpo esofágico como en la unión esófago gástrica.
Impedanciometría esofágica de 24 horas (IMM-pH) para evaluar el reflujo no ácido.
a) En pacientes con pirosis o regurgitación que no responden inhibidores de la bomba de protones intensificado dos veces al día.
b) En pacientes con dolor torácico, garganta o síntomas respiratorios en los que se sospecha una enfermedad por reflujo gastroesofágico, no respondedores a dosis doble.
c) La evaluación de pacientes con exposición normal al ácido, pero aumento de los episodios de reflujo no ácido y/ o una asociación entre reflujo no ácido y síntomas, aumentando el número de pacientes aptos para la cirugía antirreflujo.
d) Pacientes con síntomas recurrentes o persistentes de reflujo después de la cirugía antirreflujo ya que esto puede confirmar o rechazar la persistencia de reflujo gastroesofágico y excluir otras causas de síntomas, como eructos supra gástricos.

Tabla 1. Indicaciones de impedanciometría

Las indicaciones de la impedanciometría están en continua revisión y estudio. Actualmente están muy asentadas en los siguientes casos⁴:

- Acoplada a la manometría de alta resolución (HRIM):

a. Para evaluar el movimiento anterógrado y retrógrado en el diagnóstico del eructo gástrico/supragástrico y en el síndrome de rumiación.

b. Para evaluar el nivel de retención esofágico como sustituto al esofagograma con bario cronometrado en acalasia, especialmente tras el tratamiento.

c. Sistema de planimetría con impedancia (Endoflip) para evaluar la adecuada distensibilidad tanto en cuerpo esofágico como en la unión esófago gástrica.

REVISIÓN TEMÁTICA

- Impedanciometría esofágica de 24 horas (IMM-pH) para evaluar el reflujo no ácido.

Existen otras indicaciones cuyas bases no están tan generalizadas pero que se utilizan de forma habitual en los centros donde se dispone de la técnica, como son⁴:

- Evaluación de la retención de bolo esofágico.
- HRIM para evaluar el tránsito del bolo en relación con la integridad peristáltica, utilizando el criterio de efectivo vs. inefectivo y la importancia de las roturas peristálticas.
- Análisis automatizado de la impedanciometría para la evaluación del tránsito del bolo en la disfagia no obstructiva.
- HRIM con videofluoscopia para modelar las fases del tránsito del bolo y la clasificación de la presión intrabolo.

Impedanciometría acoplada a la manometría esofágica de alta resolución (HRIM)

Se trata de una mejora de la técnica de base, porque además de aportarnos información sobre las alteraciones motoras esofágicas nos permite conocer el componente funcional. Es decir, nos dice como es el tránsito esofágico. Para ello se sigue el protocolo habitual del estudio manométrico, pero teniendo en cuenta que las degluciones deber realizarse con suero salino (0,9%). En la [figura 3](#) puede observarse un registro normal con aclaramiento completo del contenido esofágico (color morado).

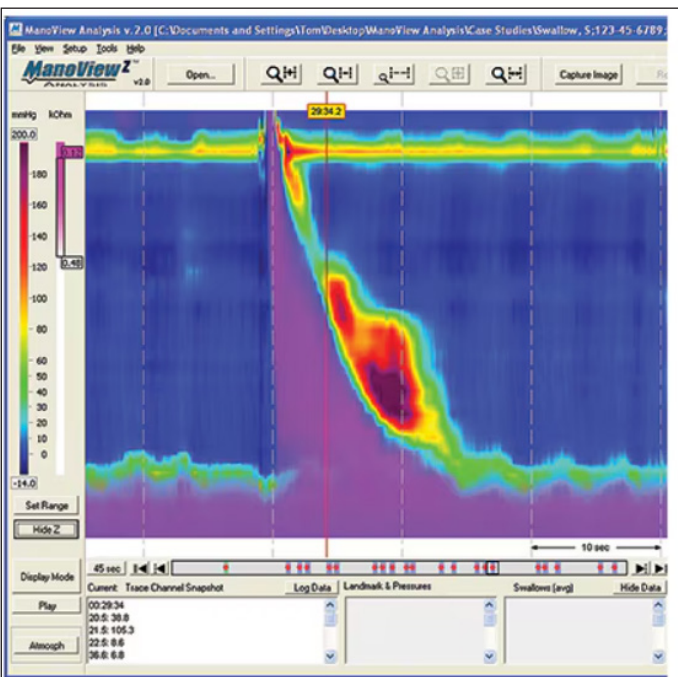


Figura 3. Registro de deglución con impedanciometría normal, se observa aclarado completo del contenido esofágico (color morado).

Su uso ya está contemplado en la Clasificación de Chicago versión 4 publicada en 2020⁵, donde se recomienda su realización (aunque no lo catalogan como imprescindible), para evaluar la presión intrabolo, el aclaramiento esofágico y el flujo del bolo a través de la unión esofagogástrica. Esto es así porque hay pacientes que a pesar de la clínica que nos refieren no conseguimos un diagnóstico tras la realización de nuestras pruebas manométricas, y esto se produce porque no está contemplado el componente funcional. Ocurre fundamentalmente en los trastornos de rumiación y eructos supragástricos.

Estas patologías funcionales son infradiagnosticadas en muchas ocasiones por no poder demostrarlas en ninguna prueba objetiva.

a. Eructos supragástricos y rumia

Durante el estudio posterior de los gráficos podemos diferenciar claramente los eructos gástricos de los supragástricos ([Figura 4](#))⁶.

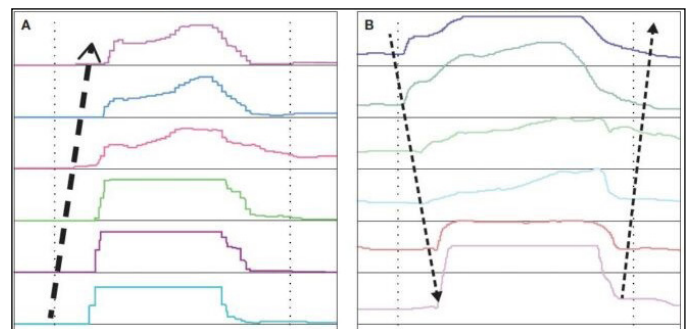


Figura 4. Diagnóstico de eructo gastroesofágico vs. eructo supra gástrico.

En cuanto a la rumiación se trata de un trastorno funcional definido por regurgitaciones voluntarias de alimentos recientemente ingeridos, seguidos por nueva masticación y deglución, o expulsión fuera de la boca. No está precedido de náuseas ni esfuerzo y finaliza cuando el material regurgitado se vuelve ácido. Se observa hasta en el 2% de la población adulta. Existen tres tipos. La rumiación primaria y la secundaria, asociada a reflujo gastroesofágico o a los eructos supragástricos. Clásicamente el diagnóstico se realiza en la consulta, pero para ello se necesita una historia muy detallada y una explicación muy clara por parte del paciente de los episodios, lo que a veces es muy difícil de obtener. Por ello la impedancia nos permite observar los episodios durante su realización y obtener un registro muy claro. Su tratamiento dista mucho de los medicamentos con los que trataríamos un reflujo gastro-esofágico por lo que estos pacientes suelen tener tratamientos crónicos con inhibidores

de la bomba de protones (IBP) sin que esto resuelva su patología de base⁶⁷. El tratamiento definitivo, al igual que en el caso de los eructos supragástricos, es conductual con técnicas de respiración diafragmáticas⁸. En estos casos la exploración debe realizarse de una forma diferente. Se debe aportar una comida estandarizada al final del registro normal con sólidos. Después debe grabarse el periodo postprandial que es donde suelen aparecer los episodios. Así en el caso de la rumia se observa un aumento de presión intragástrica que precede a una deglución normal. Esto, en un registro normal puede confundirse con episodios de regurgitación⁹.

b. Acalasia

Es una patología muy relevante en nuestras unidades de motilidad. Su diagnóstico claro y sobre todo el tratamiento suponen un reto. La calidad de vida del paciente y las posibles complicaciones a largo plazo requieren que, tanto si decidimos la dilatación como la miotomía esofágica, el resultado sea lo más preciso posible. La unión esofagogástrica (UEG) debe tener una distensibilidad adecuada para permitir el tránsito, pero sin ocasionar disfagia ni reflujo gastroesofágico¹⁰. Con esta finalidad se desarrolló el endoFLIP (sistema de planimetría con impedancia) (Figura 5). Se trata de una sonda en la que se monta un globo de poliuretano de alta elasticidad (que asume una forma cilíndrica con distensión volumétrica), equipado con un transductor de presión de estado sólido para medir la presión intrabolo, así como electrodos de impedancia muy próximos para adquirir unas medidas del área seccional a lo largo de la longitud del globo. Existe dos tamaños de sonda, de 8 y 16 cms. La de 8 cms sólo nos da información de la unión esofagogástrica (Figura 6) y la de 16 cms no complementa el cuerpo esofágico distal. La relación entre el área de la sección transversal y las presiones dentro del balón se puede representar como el índice de distensibilidad (DI). El DI se utilizó inicialmente para estudiar la UEG, particularmente en la acalasia, antes y después del intervencionismo sobre el esfínter esofágico inferior, donde se demostró que los resultados sintomáticos esofágicos se correlacionan con una DI baja¹¹. Así mismo puede emplearse a la hora de las intervenciones de funduplicatura y como entrenamiento para los cirujanos. En la tabla 2 se resumen los valores validados actualmente y los objetivos para el tratamiento de las distintas patologías. También es posible su uso en otras patologías que afectan sobre todo a la UEG como la esofagitis eosinofílica o el espasmo esofágico distal⁴.

c. Otros

A partir de aquí se abre un gran abanico de posibilidades diagnósticas y se puede clasificar al paciente según tenga

un tránsito claramente completo o incompleto. Tanto para diagnosticar patologías funcionales como se comentaba anteriormente como para evitar diagnósticos en pacientes sanos. Esto ocurre por ejemplo en los trastornos secundarios incluidos en la Clasificación de Chicago⁵ que no suponen una alteración del tránsito y que hasta ahora comprobábamos con otra prueba complementaria como es el tránsito baritado. Así en el mismo momento podemos observar, por ejemplo, que, aunque tengamos un diagnóstico de obstrucción al flujo el tránsito es completo. Y esto es reproducible al resto de diagnósticos o dudas en algunos registros. Se están realizando

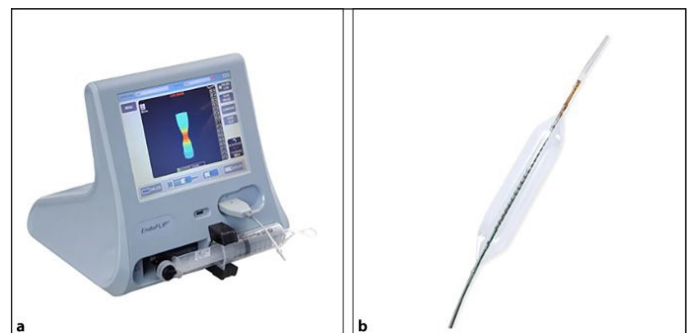


Figura 5. Equipo de Endoflip comercializado actualmente por Medtronic (a) y ejemplo de sonda de 16 cms (b).

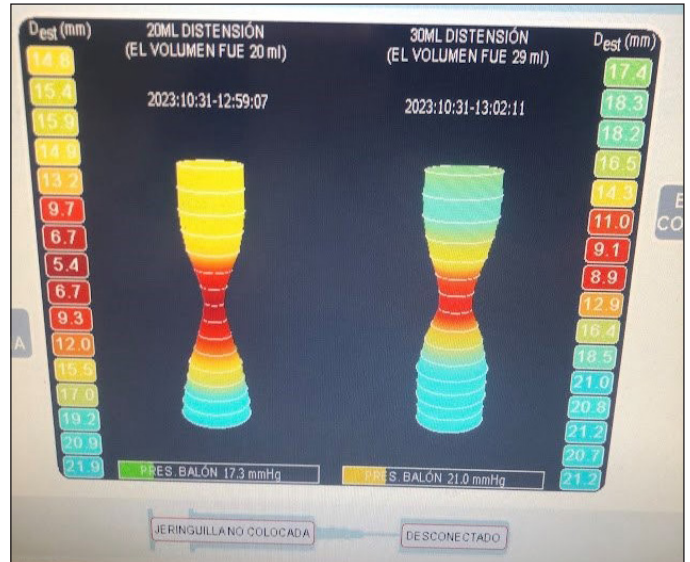


Figura 6. Gráfico de la unión esofagogástrica con sonda de 8 cms registrada con Endoflip. Imagen HUPM.

estudios para conocer el valor pronóstico de las alteraciones de presión y tránsito del bolo¹².

En este sentido se está creando distintas tasas y métricas con el fin de poder completar el estudio de disfagia. Entre las más destacadas actualmente están¹³:

	Normal	Indeterminado	Anormal
Distensibilidad esofágica (FLIP 1.0 y 2.0)			
-Índice de distensibilidad de la UGE	>3 mm ² /mm Hg	2-3 mm ² /mm Hg	< 2mm ² /mm Hg
- Diámetro de la UGE	>18 mm	13-18 mm	<13 mm
Contractibilidad esofágica (FLIP 2.0)			
- Contractilidad inducida por la distensión	Contracciones anterógradas repetitivas	Patrones contráctiles indeterminados	Contracciones retrógradas repetitivas Ausencia de contractilidad

Tabla 2. Interpretación de los valores de Endoflip.

Integral de impedancia esofágica (EII): Es la relación entre la presencia de bolo antes y después de una onda peristáltica.

- Normal (donde no hay bolo después de la onda peristáltica).

- Peristaltismo fragmentado (donde hay algo de bolo después de una secuencia peristáltica).

- Peristaltismo ausente (donde la presencia de bolo puede ser similar antes y después de la onda peristáltica).

La relación EII en HRIM en decúbito supino mostró una fuerte correlación con los hallazgos video fluoroscopios.

Tiempo de flujo del bolo: El tiempo de flujo del bolo (BFT) representa la disminución tanto de presión como de impedancia a través de la UEG, lo que traduce en el paso del bolo a través de la misma.

Punto nadir de impedancia: Es la presión de distensión intrabolo que se produce en el punto de máxima distensión luminal. Se corresponde con el punto de máxima acumulación del bolo. Coincide con la distensión máxima en tiempo y espacio. Permite medir la presión de distensión intrabolo durante su transporte (presión en el nadir de impedancia).

La altura del bolo: Cuando se administra una prueba de provocación con agua de 200 ml con el paciente de pie durante un estudio HRIM, la columna de agua dentro del esófago se puede cuantificar como la altura del bolo de impedancia (IBH) al final de los 5 min, utilizando gráficos de topografía HRIM que muestran la retención del bolo (o falta de ella) en el cuerpo esofágico.

En conclusión, la aplicación de la tecnología de impedancia a la HRM esofágica, así como el desarrollo de la planimetría de impedancia, sobre todo con FLIP, ha aumentado

nuestra comprensión de la función motora esofágica y la dismotilidad. HRIM evalúa el tránsito del bolo esofágico con buena correlación con la videofluoroscopia, pero sin exposición a la radiación¹⁴. El desarrollo y una mejor comprensión de las métricas basadas en impedancia, como PIB, presiones de impedancia nadir, relaciones EII y BFT, mejoran nuestra capacidad para comprender y evaluar mejor la dinámica del tránsito del bolo, especialmente con el desarrollo de la impedancia-manometría automatizada. HRIM ha contribuido a la Clasificación de Chicago de trastornos motores esofágicos y probablemente desempeñará un papel aún más importante en futuras interacciones de la clasificación.

Impedanciometría de 24 horas ambulatoria

El procedimiento es muy similar a la pHmetría esofágica ambulatoria. Se coloca de forma transnasal un catéter de 2,1 mm, con múltiples sensores de Impedancia y electrodo de antimonio para detección de pH que se sitúa a 5 cm del borde superior del EEI, conectado a un registrador o Holter (Figuras 7A y 7B). Se recomienda ayunas entre 4 y 6 horas, indicando generalmente la toma del tratamiento antisecretores incluso el día de la prueba en los casos que se requiera estudio bajo tratamiento. Se registra lo largo del periodo de estudio: el horario de comidas, los periodos en decúbito y en bipedestación, así como la recomendación de realizar las comidas y actividades que el paciente conozca le provoquen episodios de reflujo gastroesofágico^{15,16}.

Las indicaciones principales son¹⁷ (Tabla 1):

1. En pacientes con pirosis o regurgitación que no responden inhibidores de la bomba de protones intensificado dos veces al día.
2. En pacientes con dolor torácico, garganta o síntomas respiratorios en los que se sospecha una enfermedad



Figura 7A. Ejemplo de equipo de impedanciometría 24 horas, equipo de Medtronic.

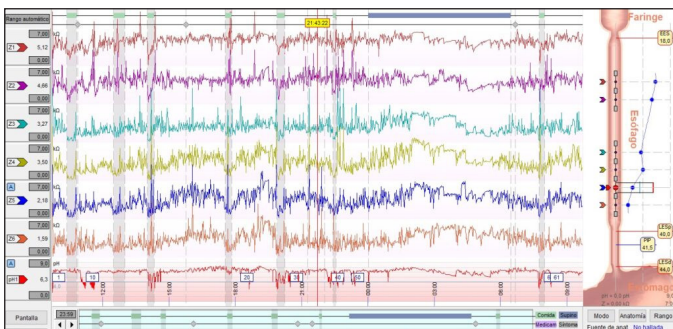


Figura 7B. Ejemplo de equipo de impedanciometría 24 horas, equipo de Medtronic gráfico obtenido.

por reflujo gastroesofágico, no respondedores a dosis doble.

3. La evaluación de pacientes con exposición normal al ácido, pero aumento de los episodios de reflujo no ácido y/ o una asociación entre reflujo no ácido y síntomas, aumentando el número de pacientes aptos para la cirugía antirreflujo.
4. Pacientes con síntomas recurrentes o persistentes de reflujo después de la cirugía antirreflujo ya que esto puede confirmar o rechazar la persistencia de reflujo gastroesofágico y excluir otras causas de síntomas, como eructos supragástricos.

La composición de los episodios de reflujo se puede clasificar mediante IIM en contenido de gas, líquido o mixto; ya que el aire es un mal conductor de la electricidad y por tanto tiene una elevada impedancia, al contrario del contenido líquido que es un buen conductor y tiene una baja impedancia.

La extensión proximal del reflujo se localiza por los cambios en impedancia de componente líquido registrados en el sensor más proximal.

Nos permite el diagnóstico de reflujo ácido, débilmente ácido y básico y su relación con los síntomas. Así podremos estudiar los distintos fenotipos, diagnosticando el esófago hipersensible y la pirosis funcional¹⁸.

El esófago hipersensible se define por

- Síntomas retroesternales, incluyendo ardor de estómago y dolor torácico.
- Endoscopia normal y ausencia de evidencia de que la esofagitis eosinofílica sea la causa de los síntomas.
- Ausencia de trastornos motores primarios (PTEMP).
- Evidencia de que el RGE fisiológico activa los síntomas, a pesar de que la exposición al ácido, en la pHmetría o impedanciometría esofágicas, es normal.

La pirosis funcional se define por:

- Molestias o dolor retroesternal en forma de quemazón.
- No se produce alivio de los síntomas a pesar de un tratamiento antisecretoir óptimo.
- No hay evidencia de RGE o de que la esofagitis eosinofílica sea la causa de los síntomas.
- Ausencia de los PTEMP.

Además, deben cumplirse durante al menos los 3 últimos meses, con la aparición de los síntomas por lo menos 6 meses antes del diagnóstico y con una frecuencia de, por lo menos, 2 veces a la semana⁵.

Hay que tener en cuenta que hasta el 40% de los pacientes no responden al tratamiento con IPB. El esófago hipersensible es un trastorno que según los estudios puede aparecer entre

un 14 y un 20% de los pacientes con síntomas de reflujo típicos. Aproximadamente entre el 10% y el 15% de los pacientes con enfermedad por reflujo erosivo y hasta el 50% de los pacientes con enfermedad por reflujo no erosivo (ERNE) permanecen sintomáticos a pesar del tratamiento con IBP¹⁹.

Sin embargo, el reflujo patológico persistente es poco común, y el análisis IMM-pH con IBP demuestra un tiempo de exposición ácido normal y bajo número de episodios de reflujo. En pacientes con tiempo de exposición ácida (AET) normal cuando realizamos la IMM-pH, el índice sintomático (SI) y la probabilidad de asociación de síntomas (SAP), pueden proporcionar evidencia de una asociación clínicamente relevante entre episodios de reflujo y síntomas²⁰.

Además, esta técnica ha introducido nuevos conceptos, como son:

Reflujo no ácido: existencia de reflujo por IIM sin fluctuación del pH esofágico.

Re-reflujo ácido: existencia de un nuevo episodio de reflujo cuando todavía el detector de pH no ha normalizado el registro por encima de 4.

Reflujo débilmente ácido: medición de reflujo por IIM con descenso de al menos 1 punto en el pH esofágico siempre por encima de 4.

Recientemente, se han integrado dos métricas al análisis IMM-pH: el índice de onda peristáltica posterior al reflujo inducido por la deglución (PSPW) y más relevante la impedancia basal nocturna media (IBNM). Son dos indicadores independientes de síntomas mediados por reflujo que aumentan el rendimiento diagnóstico de las pruebas de impedancia. Una MNBI <1,500 Ohms apoya el diagnóstico de ERGE, mientras que si es > 2,500 Ohms la descarta. Un PSPWI puede apoyar el diagnóstico de ERGE, cuando este índice es menor de 60%.

Además, en pacientes que no responden, el índice de PSPW es significativamente menor en la esofagitis refractaria en comparación con la esofagitis por reflujo curada y ERNE. Es el único parámetro IMM-pH asociado con daño en la mucosa refractario a IBP.

Por todo esto la IMM-pH nos permite diagnosticar con más precisión a los pacientes con reflujo gastroesofágico erosivo como no erosivos y, sobre todo, identificar los trastornos funcionales y realizar un correcto tratamiento²².

Conclusión

En conclusión, nos encontramos ante una técnica en pleno desarrollo en cuanto a su uso, sobre la que se están estudiando distintos valores y métricas para facilitar el diagnóstico de patologías funcionales. Todo esto nos proporcionará una comprensión completa del funcionamiento esofágico y la clínica de nuestros pacientes. Además, también sirve para valorar respuesta al tratamiento.

Bibliografía

1. Silny J. Intraluminal múltiple electric impedance procedure for measurement of gastrointestinal motility. *J Gastrointest. Motil* 1991; 3:151-62.
2. Kahrilas PJ, Sifrim D. High-resolution manometry and impedance-pH/manometry: valuable tools in clinical and investigational esophagology. *Gastroenterology*. 2008 Sep;135(3):756-69. doi: 10.1053/j.gastro.2008.05.048. Epub 2008 Jul 17. PMID: 18639550; PMCID: PMC2892006.
3. Tolín Hernani MM, Álvarez Calatayud G, Sánchez Sánchez C. Impedanciometría intraluminal multicanal esofágica: indicaciones y técnica. *An Pediatr Contin*. 2013;11(2):110-6.
4. Patel A, Gyawali CP. How to Optimally Apply Impedance in the Evaluation of Esophageal Dysmotility. *Curr Gastroenterol Rep*. 2016 Nov;18(11):60. doi: 10.1007/s11894-016-0534-9. PMID: 27738965; PMCID: PMC5457282.
5. Yadlapati R, Kahrilas PJ, Fox MR, et al. Esophageal motility disorders on high-resolution manometry: Chicago classification version 4.0©. *Neurogastroenterol Motil*. 2021 Jan;33(1):e14058. doi: 10.1111/nmo.14058. PMID: 33373111; PMCID: PMC8034247.
6. Bredenoord AJ, Weusten BL, Sifrim D, Timmer R, Smout AJ. Aerophagia, gastric, and supragastric belching: a study using intraluminal electrical impedance monitoring. *Gut*. 2004; 53(11):1561-5. [PubMed: 15479671].
7. Saleh CM, Bredenoord AJ. Utilization of esophageal function testing for the diagnosis of the rumination syndrome and belching disorders. *Gastrointest Endosc Clin N Am*. 2014; 24(4):633-42. [PubMed: 25216908].
8. Halland M, Parthasarathy G, Bharucha AE, et al. Diaphragmatic breathing for rumination syndrome: Efficacy and mechanisms of action. *Neurogastroenterol Motil*, 28 (2016), pp. 384-391.

9. Kessing BF, Bredenoord AJ, Smout AJ. Objective manometric criteria for the rumination syndrome. *Am J Gastroenterol*. 2014 Jan;109(1):52-9. doi: 10.1038/ajg.2013.428. Epub 2013 Dec 24. PMID: 24366235.
10. Carlson DA, Beveridge CA, Lin Z, Balla M, Gregory D, Tye M, Ritter K, Kahrilas PJ, Pandolfino JE. Improved Assessment of Bolus Clearance in Patients With Achalasia Using High-Resolution Impedance Manometry. *Clin Gastroenterol Hepatol*. 2018 May;16(5):672-680.e1. doi: 10.1016/j.cgh.2017.11.019. Epub 2018 Mar 7. PMID: 29155168; PMCID: PMC5911237.
11. Ngamruengphong S, von Rahden BH, Filser J, Tyberg A, Desai A, Sharaiha RZ, et al. Intraoperative measurement of esophagogastric junction cross-sectional area by impedance planimetry correlates with clinical outcomes of peroral endoscopic myotomy for achalasia: a multicenter study. *Surg Endosc*. 2016; 30(7):2886-94. [PubMed: 26487227].
12. Shi Z, Guo J, Clarke J, Jin H, Wang X, Zhang N, Stein E, Dhalla S, Pasricha PJ, Chen JDZ. Roles of High-resolution Manometry in Predicting Incomplete Bolus Transit in Patients With Dysphagia. *J Clin Gastroenterol*. 2018 Oct;52(9):e73-e81. doi: 10.1097/MCG.0000000000000949. PMID: 29095422; PMCID: PMC6454548.
13. Lin Z, Nicodème F, Lin CY, Mogni B, Friesen L, Kahrilas PJ, Pandolfino JE. Parameters for quantifying bolus retention with high-resolution impedance manometry. *Neurogastroenterol Motil*. 2014 Jul;26(7):929-36. doi: 10.1111/nmo.12346. Epub 2014 Apr 22. PMID: 24750336; PMCID: PMC4120956.
14. Carlson DA, Omari T, Lin Z, Rommel N, Starkey K, Kahrilas PJ, Tack J, Pandolfino JE. High-resolution impedance manometry parameters enhance the esophageal motility evaluation in non-obstructive dysphagia patients without a major Chicago Classification motility disorder. *Neurogastroenterol Motil*. 2017 Mar;29(3):10.1111/nmo.12941. doi: 10.1111/nmo.12941. Epub 2016 Sep 20. PMID: 27647522; PMCID: PMC5328837.
15. Shay, S, Tutuian, R, Sifrim, D, et al. Twenty-Four Hour Ambulatory Simultaneous Impedance and pH Monitoring: A Multicenter Report of Normal Values From 60 Healthy Volunteers. *Am J Gastroenterol* 2004; 99:1037.
16. Tutuian, R, Mainie, I, Agrawal, A, et al. Normal values for ambulatory 24-h combined impedance-pH monitoring on acid suppressive therapy. *Gastroenterology* 2006; 130 Suppl 2:A171.
17. Trudgill NJ, Sifrim D, Sweis R, Fullard M, Basu K, McCord M, Booth M, Hayman J, Boeckxstaens G, Johnston BT, Ager N, De Caestecker J. British Society of Gastroenterology guidelines for oesophageal manometry and oesophageal reflux monitoring. *Gut*. 2019 Oct;68(10):1731-1750. doi: 10.1136/gutjnl-2018-318115. Epub 2019 Jul 31. PMID: 31366456; PMCID: PMC6839728.
18. Sawada A, Guzman M, Nikaki K, Sonmez S, Yazaki E, Aziz Q, Woodland P, Rogers B, Gyawali CP, Sifrim D. Identification of Different Phenotypes of Esophageal Reflux Hypersensitivity and Implications for Treatment. *Clin Gastroenterol Hepatol*. 2021 Apr;19(4):690-698.e2. doi: 10.1016/j.cgh.2020.03.063. Epub 2020 Apr 6. PMID: 32272249.
19. Zerbib F, Bredenoord AJ, Fass R, Kahrilas PJ, Roman S, Savarino E, Sifrim D, Vaezi M, Yadlapati R, Gyawali CP. ESNM/ANMS consensus paper: Diagnosis and management of refractory gastro-esophageal reflux disease. *Neurogastroenterol Motil*. 2021 Apr;33(4):e14075. doi: 10.1111/nmo.14075. Epub 2020 Dec 28. PMID: 33368919.
20. Aziz Q, Fass R, Gyawali CP, Miwa H, Pandolfino JE, Zerbib F. Functional Esophageal Disorders. *Gastroenterology*. 2016 Feb 15;S0016-5085(16)00178-5. doi: 10.1053/j.gastro.2016.02.012. Epub ahead of print. PMID: 27144625.
21. Frazzoni M, de Bortoli N, Frazzoni L, Tolone S, Furnari M, Martinucci I, Mirante VG, Marchi S, Savarino V, Savarino E. The added diagnostic value of postreflux swallow-induced peristaltic wave index and nocturnal baseline impedance in refractory reflux disease studied with on-therapy impedance-pH monitoring. *Neurogastroenterol Motil*. 2017 Mar;29(3). doi: 10.1111/nmo.12947. Epub 2016 Sep 12. PMID: 27620303.
22. Sawada A, Guzman M, Nikaki K, Sonmez S, Yazaki E, Aziz Q, Woodland P, Rogers B, Gyawali CP, Sifrim D. Identification of Different Phenotypes of Esophageal Reflux Hypersensitivity and Implications for Treatment. *Clin Gastroenterol Hepatol*. 2021 Apr;19(4):690-698.e2. doi: 10.1016/j.cgh.2020.03.063. Epub 2020 Apr 6. PMID: 32272249.
23. Gyawali CP, Kahrilas PJ, Savarino E, Zerbib F, Mion F, Smout AJPM, Vaezi M, Sifrim D, Fox MR, Vela MF, Tutuian R, Tack J, Bredenoord AJ, Pandolfino J, Roman S. Modern diagnosis of GERD: the Lyon Consensus. *Gut*. 2018 Jul;67(7):1351-1362. doi: 10.1136/gutjnl-2017-314722. Epub 2018 Feb 3. PMID: 29437910; PMCID: PMC6031267.
24. Mittal RK. Esophageal function testing: beyond manometry and impedance. *Gastrointest Endosc Clin N Am*. 2014 Oct;24(4):667-85. doi: 10.1016/j.giec.2014.06.006. Epub 2014 Aug 1. PMID: 25216911; PMCID: PMC4428911.