



Revista Mexicana de
UROLOGIA

ÓRGANO OFICIAL DE DIFUSIÓN DE LA SOCIEDAD MEXICANA DE UROLOGÍA

www.elsevier.es/uromx



ARTÍCULO ORIGINAL

Uso de la espectroscopía del infrarrojo para detectar isquemia vesical en pacientes con obstrucción parcial al vaciamiento, secundario a hiperplasia prostática benigna

Ramírez-García Sotero,^{a,*} Gutiérrez-Salinas José,^b Núñez-Ramos Norma R.,^a Carranza-Castro Hazel,^c García-Ortiz Liliana,^d Hernández-Rodríguez Sergio.^b

^a Uromédica OSF. México D.F., México.

^b Laboratorio de Bioquímica y Medicina Experimental, División de Investigación Biomédica, Centro Médico Nacional "20 de Noviembre", ISSSTE. México D.F., México.

^c Servicio de Cirugía Experimental, Centro Médico Nacional "20 de Noviembre", ISSSTE. México D.F., México.

^d División de Medicina Genómica, Centro Médico Nacional "20 de Noviembre", ISSSTE. México D.F., México.

PALABRAS CLAVE

Espectroscopía de infrarrojo cercano, hiperplasia prostática benigna, isquemia de vejiga, obstrucción parcial al vaciamiento, México.

Resumen

Introducción: La espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS, por sus siglas en inglés *Near-Infrared Spectroscopy*) es un método no invasivo, que determina en tiempo real las concentraciones de deoxihemoglobina (HHb), oxihemoglobina (O₂Hb), hemoglobina total (tHb) y citocromo C (Cyt-C), que detecta un proceso de hipoxia y/o isquemia de la vejiga, que puede ser producido por una patología prostática.

Material y métodos: Se utilizó un equipo modelo URO-NIRS-2000, que detecta la concentración de HHb, O₂Hb, tHb y Cyt-C. Las mediciones se realizaron durante la micción en dos grupos: 1) control de sujetos adultos sanos (n= 4), 2) pacientes con el diagnóstico de obstrucción parcial al vaciamiento secundaria a hiperplasia prostática benigna (HPB) (n=6).

Resultados: En el grupo control, el patrón de cambios en la concentración de los compuestos detectados coincide con el proceso dinámico de vaciado de la vejiga. En los pacientes, se muestra un patrón de desfase en la concentración de todos los metabolitos, que se interpreta como un proceso de hipoxia provocado por un fenómeno de isquemia-reperfusión.

Conclusiones: La tecnología basada en NIRS es una herramienta que ayuda en la evaluación del funcionamiento de la vejiga, al correlacionar los procesos metabólicos con los procesos dinámicos de la vejiga, y establecer un diagnóstico oportuno de un proceso de hipoxia promovido por un fenómeno de isquemia-reperfusión.

* Autor para correspondencia: Director Médico, Uromédica OSF. Calle Uxmal N° 422, Colonia Vértiz Narvarte, Delegación Benito Juárez, C.P. 0320, México D.F., México. Teléfono: 5687 8162. Correo electrónico: sotemor@prodigy.net.mx

KEYWORDS

Near-infrared spectroscopy, benign prostatic hyperplasia, bladder ischemia, partial bladder outlet obstruction, Mexico.

Bladder ischemia detection with infrared spectroscopy in patients with partial bladder outlet obstruction secondary to benign prostatic hyperplasia

Abstract

Background: Near-infrared spectroscopy (NIRS) is a noninvasive method that determines the concentrations of deoxyhemoglobin (HHb), oxyhemoglobin (O₂Hb), total hemoglobin (tHb), and cytochrome c (cytC) in real time, detecting a process of hypoxia and/or ischemia of the bladder that can be produced by a prostatic pathology.

Material and methods: Model URO-NIRS-2000 equipment was used to detect HHb, O₂Hb, tHb, and cytC concentrations. Measurements were carried out during micturition in two groups: 1) healthy adult subject control (n= 4); 2) patients diagnosed with partial bladder outlet obstruction secondary to benign prostatic hyperplasia (BPH) (n= 6).

Results: In the control group, the change pattern in the concentration of the detected components coincided with the dynamic process of bladder emptying. In the patient group, there was a dephasing in the concentration of all the metabolites, which was interpreted as a hypoxic process caused by an ischemia-reperfusion phenomenon.

Conclusions: NIRS-based technology is a tool that aids in the evaluation of bladder function by correlating metabolic processes with the dynamic processes of the bladder and establishing the opportune diagnosis of a hypoxic process produced by an ischemia-reperfusion phenomenon.

Introducción

El síndrome de disfunción del tracto urinario inferior es un complejo de síntomas que se presenta en ambos sexos, en donde el órgano más afectado es la vejiga. Este órgano presenta sintomatología predominantemente de urgencia urinaria con o sin incontinencia, que afecta importantemente la calidad de vida del paciente.¹ La presencia de obstrucción mecánica en el tracto urinario inferior secundario a una patología de próstata (principalmente hiperplasia y/o hipertrofia), puede provocar dificultad al vaciamiento de la vejiga, lo que produce un incremento en la presión intravesical durante la micción.^{1,2} La obstrucción parcial al vaciamiento de la vejiga (OPVV), con la consecuente disminución en el flujo de la salida de la orina, es un problema muy común encontrado en mujeres y hombres, sobre todo en la tercera edad de la vida; sin embargo, su frecuencia es mayor en hombres cuando se asocia a una patología prostática.¹⁻⁴ Además, el diagnóstico de OPVV puede ser complicado cuando el paciente aún no presenta la sintomatología específica de obstrucción y los resultados de gabinete están en parámetros normales.¹⁻⁴

Los estudios de presión-flujo han sido aceptados como el estándar de referencia para diagnosticar OPVV, ya que este método puede diferenciar a los pacientes que presentan una disminución en su pico de flujo máximo (Q_{max}) secundario a obstrucción, del causado por una alteración en la contracción del músculo detrusor.^{2,5-7} A pesar de su aparente utilidad, el estudio de presión-flujo implica la cateterización con las consecuentes molestias y riesgos para el paciente, por lo que su uso es limitado.

La íntima relación entre la vejiga urinaria y la uretra prostática, hacen que las alteraciones en el tejido prostático tengan como consecuencia lógica, una alteración al vaciamiento vesical, manifestado como OPVV.⁸⁻¹¹

Una vez que se desarrolla en el paciente un fenómeno de obstrucción a la salida de orina, secundario a una patología

de próstata, tiene lugar un incremento en la cantidad de orina retenida, lo que produce un aumento en el volumen residual, que a su vez eleva la presión intravesical, alterando el patrón de contracción del músculo detrusor de la vejiga.¹¹⁻¹⁶

El incremento en la presión intravesical condiciona alteraciones en el patrón de contracción del músculo detrusor, que a su vez produce el complejo sintomático del síndrome de vejiga hiperactiva, cuyas manifestaciones clínicas alteran significativamente la calidad de vida del paciente.^{1,6-8,11,12}

Hasta el momento, no se conocen con exactitud los mecanismos fisiopatológicos involucrados en el desarrollo del síndrome de vejiga hiperactiva, sin embargo, muchos esfuerzos han sido encaminados a entender la participación del músculo detrusor, ya que las alteraciones en su patrón de contracción constituyen una parte importante en la fisiología vesical.¹²⁻²⁰

Estudios realizados en animales de experimentación, a los cuales se les produjo una obstrucción parcial al vaciamiento, han señalado que la isquemia y el subsecuente desarrollo de hipoxia, pueden tener un importante papel en las alteraciones de la contracción del músculo detrusor.^{14,18-21} Se ha demostrado en este tipo de modelos experimentales, que la inducción de isquemia (por obstrucción del riego arterial de la vejiga), produce hipoxia del tejido vesical, seguido de un incremento en la actividad contráctil del músculo detrusor. Además, el restablecer la circulación, produce un fenómeno de reperusión que se acompaña por un exceso en la disposición de oxígeno en los tejidos, que nuevamente modifica el patrón de contracción del músculo detrusor.¹²⁻²¹ De esta forma, la determinación de la oxigenación tisular aunado a estudios hemodinámicos pueden ser auxiliares para detectar un proceso de isquemia-reperusión, el cual se piensa es uno de los componentes fisiopatológicos más importantes en el desarrollo del síndrome de vejiga hiperactiva, en el paciente obstruido.¹²⁻²²

Los estudios urodinámicos son el estándar de oro para detectar el fenómeno de vejiga hiperactiva, sin embargo, la realización de dichos estudios produce muchas incomodidades y riesgos en el paciente.^{2,5-7} Es por eso que el desarrollo de procedimientos diagnósticos no invasivos para evaluar la función vesical, pueden ser valiosos sobre todo en pacientes, en quienes se tiene que llevar a cabo evaluaciones urodinámicas con regularidad.^{10,11,22-25}

Los estudios de ultrasonido Doppler han sido de gran ayuda para intentar detectar las variaciones del flujo sanguíneo en la pared de la vejiga, durante el ciclo de vaciamiento; sin embargo, presenta problemas metodológicos que impiden su uso para detectar las contracciones vesicales.^{26,27}

En años recientes, se ha desarrollado una tecnología que utiliza procedimientos no invasivos para el paciente, que ha demostrado ser un buen auxiliar en el estudio y detección de los problemas fisiológicos del tracto urinario inferior, provocado por una obstrucción al vaciado de la vejiga.²³⁻²⁵

Dicha tecnología utiliza el fenómeno de la espectroscopía del infrarrojo cercano (NIRS, por sus siglas en inglés *Near-Infrared Spectroscopy*) el cual, como su nombre lo indica, utiliza una parte del espectro electromagnético en donde la luz emitida por un generador, que se localiza en el rango de 750 a 2 600 nm, le permite atravesar los tejidos y, dependiendo de la longitud de onda seleccionada, el espectro emitido es absorbido, transmitido o reflejado de acuerdo con las características moleculares de los componentes naturales llamados "cromóforos". Estos emiten una respuesta que es captada por el detector, y que correlaciona directamente con su estructura, color y concentración. De esta forma, es posible asociar una única longitud de onda del espectro NIRS con la absorbancia específica de un cromóforo.²³⁻²⁵

El cromóforo más abundante del organismo es la hemoglobina (Hb), y el espectro NIRS es capaz de distinguir entre las diferentes especies de estas moléculas, dependiendo de su estado químico con respecto al oxígeno. Así, el espectro NIRS puede detectar en tiempo real la concentración tisular de deoxihemoglobina (HHb), oxihemoglobina (O₂Hb), el total de la hemoglobina (tHb) y el citocromo C (Cyt-C).²³⁻²⁵ Los equipos basados en tecnología NIRS tienen un espectro de emisión en el rango de los 700 a 900 nm, en donde las distintas especies químicas de la Hb junto con el Cyt-C presentan sus máximas absorbancias, y han permitido estudiar y evaluar en modelos experimentales y sujetos humanos, la actividad de la vejiga urinaria en tiempo real y poder detectar los fenómenos de isquemia, al monitorear los cambios en la oxigenación tisular (usando los cambios en la concentración de HHb y O₂Hb), así como los fenómenos hemodinámicos (usando los cambios en la concentración de tHb y Cyt-C), que proporcionan información sobre la presencia o consumo del oxígeno en una área específica. La tecnología NIRS detecta las variaciones en la concentración de HHb, O₂Hb, tHb y Cyt-C del músculo detrusor. Las señales espectrofotométricas generadas por estos compuestos son detectadas durante el proceso de llenado y vaciado de la vejiga, y permiten evaluar los efectos de compresión en la vasculatura del detrusor, para asociarlos a cambios hemodinámicos autorregulatorios del tejido y detectar un proceso de hiper o hipoactividad de este músculo. Así, los cambios en la

saturación de oxígeno de la Hb junto con los cambios de flujo en la vasculatura de la vejiga, son asociados a cambios en la contracción muscular del detrusor y por ende, son una importante herramienta de diagnóstico en problemas de la función vesical.^{9,16,23-33}

Con lo anteriormente mencionado, el presente estudio tiene como objetivo detectar, con el auxilio de la tecnología NIRS, la dinámica de cambios en las concentraciones de HHb, O₂Hb, tHb y Cyt-C, en el músculo detrusor de pacientes con obstrucción parcial al vaciamiento, durante el proceso de la micción.

Material y métodos

Selección de los participantes

Se seleccionaron seis pacientes masculinos (rango de edad 49 a 56 años), que presentaron sintomatología del tracto urinario inferior, a quienes se les diagnosticó la presencia de OPVV secundario a hiperplasia prostática benigna (HPB) (diagnosticada por ultrasonido y uroflujometría). Ninguno de los pacientes presentó cirugía previa en el tracto urinario inferior, así como tampoco ningún tipo de infección ni patología crónica (por ejemplo, diabetes mellitus, fallas cardíacas o vasculares, enfermedades pulmonares, musculares, falla renal, alteraciones neurológicas locales o generales, etc.). Como parte general del protocolo de estudio, a cada paciente se le realizaron exámenes generales de sangre y orina, además se aplicó el cuestionario internacional de sintomatología de próstata (IPSS, por sus siglas en inglés), para evaluar su calidad de vida. Como grupo control, se seleccionaron cuatro sujetos masculinos (pareados en edad al grupo de pacientes), aparentemente sanos, que no presentaban sintomatología urinaria ni prostática. Todos los participantes firmaron una carta de consentimiento informado y aceptaron participar en el estudio.

Uso de tecnología basada en infrarrojo cercano

Para el estudio, se utilizó un equipo URO-NIRS-2000 (Urodynamic Tech, Ltd, Canadá), con tres emisores/detectores (785, 808 y 830 nm) integrados en un sólo *rack*, que se coloca en la piel aproximadamente a 5 cm por arriba de la región suprapúbica. El *rack* se conecta con una interfase a una computadora, en donde se integra la información para que en tiempo real y en forma simultánea, detecte las concentraciones en el rango micromolar, de HHb, O₂Hb, tHb y Cyt-C del músculo detrusor. La relación de concentraciones de HHb y O₂Hb nos muestra la presencia de un fenómeno de hipoxia, mientras que, la relación de tHb y Cyt-C, detectan un proceso de isquemia de acuerdo a lo previamente reportado.^{23-25,28-34}

El registro de las concentraciones de todos los metabolitos se realizó durante el tiempo en que se lleva a cabo la micción, en los dos grupos de estudio: 1) grupo control (n=4) de sujetos adultos sanos sin patología urinaria baja, 2) sujetos adultos (n=6) con el diagnóstico de OPVV secundario a HPB. Al mismo tiempo que se llevó a cabo la detección de los metabolitos señalados, se realizó un estudio flujométrico usando el software que está integrado al aparato URO-NIRS-2000, y que es proporcionado por el fabricante.

Análisis estadístico

El análisis de los resultados fue realizado usando el programa estadístico GraphPad Prism® V-4.00 (GraphPad Software, San Diego, California, U.S.A.). Los resultados cualitativos fueron analizados usando tablas de contingencia, aplicando la prueba *ji cuadrada* o exacta de Fisher, según corresponda, mientras que los resultados cuantitativos fueron analizados usando *t* de Student. En todos los casos, se consideró un valor de $p < 0.05$ como estadísticamente significativo.

Resultados

En nuestro estudio incluimos inicialmente seis pacientes que contaban con diagnóstico de OPVV secundario a HPB, con un rango de ocho a 15 meses de evolución. Incluimos como grupo control a cuatro sujetos aparentemente sanos, y que no presentaron ningún tipo de patología urológica.

En la tabla 1 se muestran las características somatométricas y bioquímicas generales, tanto de los pacientes como de los controles. Como se puede observar, los pacientes tienen un promedio de edad < 60 años y sobrepeso; sin embargo, no presentan alteraciones evidentes en el resto de sus variables somatométricas o bioquímicas, en comparación con las del grupo control. Además, el análisis de orina fue negativo para cualquier tipo de infección o patología agregada, pero presentaron un rango de calificación de 24 a 35 puntos en el cuestionario IPSS. Ninguno de los pacientes presentó patología general o local agregada.

Es reconocido el hecho de que la presencia de HPB produce alteraciones en la vejiga, que a su vez se traduce como sintomatología del tracto urinario inferior. También es reconocido el hecho, de que el principal factor actor activo de la vejiga es el músculo detrusor.

Nosotros realizamos un análisis del comportamiento del músculo detrusor usando tecnología basada en NIRS, en donde el equipo usado tiene como pieza principal un emisor/detector, el cual se coloca en la región suprapúbica del paciente tal como lo muestran las figuras 1A y 1B. Una vez colocado el emisor/detector y durante la micción, se realiza la detección de las concentraciones de HHb, O₂Hb, tHb y Cyt-C. En la fig. 1C, se muestra una gráfica experimental de los cambios de concentración de estos metabolitos, en la microcirculación de músculo sometido a una oclusión arterial, en donde se demuestra que existe un fenómeno de hipoxia, que se denota por una disminución en la concentración de O₂Hb junto con un incremento en la HHb. Mientras que el fenómeno de isquemia, se caracteriza por un incremento en la concentración de tHb (fig. 1C).

En el caso de nuestros pacientes, se llevó a cabo la determinación de estos metabolitos usando el equipo URO-NIRS-2000, de esta forma, en la figs. 2A y 2B se muestran gráficas representativas de los cambios en las concentraciones micromolares en el músculo detrusor, de los metabolitos HHb, O₂Hb, tHb y Cyt-C (usando la escala de la izquierda). Estos metabolitos son detectados en tiempo real durante la micción, la cual se representa por los cambios en el flujo que están medidos por la escala de la derecha. La fig. 2A representa el curso temporal de los cambios de concentración de los metabolitos, ya señalados en el momento de realizar la micción por un sujeto control. Como se puede observar, durante el momento de la micción, la concentración de los metabolitos no presenta variaciones importantes a lo largo del tiempo. En este caso, todas las concentraciones de los metabolitos permanecen dentro del cuadrante positivo de la escala y se puede observar únicamente una variación en el comportamiento de la concentración de la tHb, un momento antes y durante el proceso de micción.

Tabla 1 Características somatométricas y bioquímicas generales de los pacientes y los sujetos controles, incluidos en el estudio

Variable	Pacientes (n=6)	Controles (n=4)
Edad (años)	52.33 ± 3.51 (49-56)	52.25 ± 3.77 (48-57)
Peso (Kg)	76.73 ± 12.55 (63-88)	69.98 ± 7.41 (65-81)
Talla (m)	1.71 ± 0.14 (1.55-1.83)	1.62 ± 0.053 (1.56-1.67)
IMC (Kg/m ²)	26.3 ± 2.7 (23.6-29.07)	26.8 ± 3.9 (23.4-32.04)
FC (Lat/min)	76 ± 5.29 (70-80)	69.75 ± 8.26 (60-78)
FR (Resp/min)	17.02 ± 17 (0.5-16)	16.75 ± 0.5 (16-17)
Temp. (°C)	36.02 ± 36.3 (0.15-36)	36.13 ± 0.15 (36-36.3)
Hb (g/mL)	16.53 ± 0.21 (16.3-16.7)	15.7 ± 1.11 (14.5-16.7)
Hto (%)	49.33 ± 2.02 (47.7-51.6)	46.38 ± 2.54 (43.5-49.4)
Plaquetas (1x10 ⁶ /mL)	267 ± 64.21 (198-325)	308 ± 49 (247-366)
Eritrocitos	6 ± 0.18 (5.42-5.79)	5.1 ± 0.51 (4.52-5.59)
Linfocitos	31.4 ± 5.35 (26.2-36.9)	35.8 ± 7.62 (31.2-47.2)
Monocitos	8.9 ± 1.56 (8-10.7)	7.8 ± 0.9 (6.7-9)
Neutrófilos	51.9 ± 7.8 (44.1-59.7)	52.4 ± 6.5 (44-59.9)
Eosinófilos	2.13 ± 1.4 (1-3.8)	3.57 ± 3.5 (0.9-8.4)
Basófilos	0.4 ± 0.17 (0.2-0.5)	0.32 ± 0.18 (0.2-0.6)

IMC: índice de masa corporal; FC: frecuencia cardíaca; FR: frecuencia respiratoria; Temp.: temperatura corporal; Hb: hemoglobina; Hto: hematocrito.

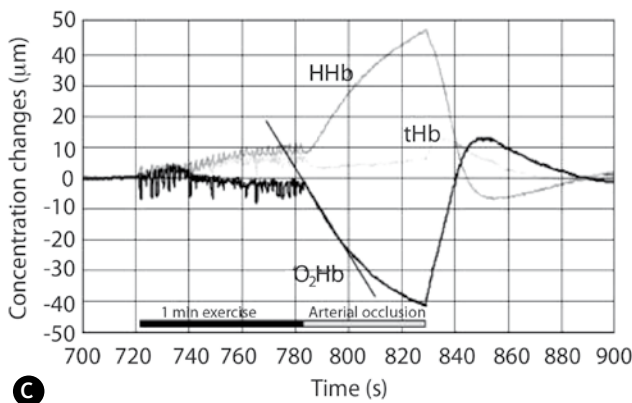
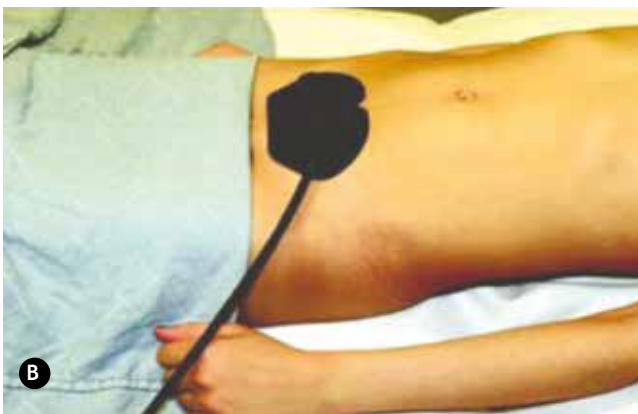
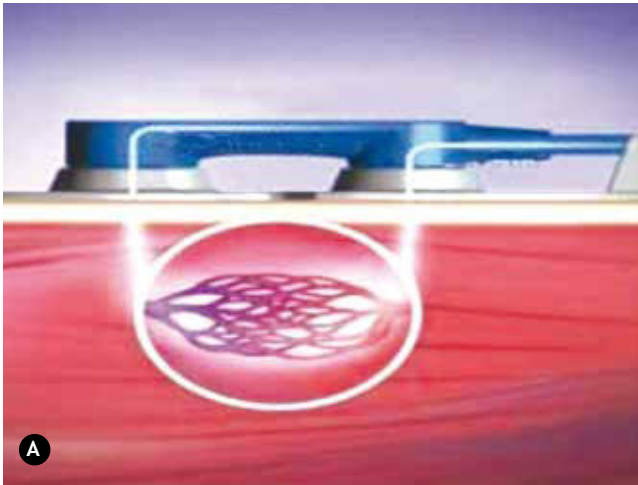


Figura 1 Representación esquemática de los componentes principales y demostración del uso del aparato URO-NIRS-2000. **A)** Esquema del emisor/sensor NIRS y su modo de actuar en la superficie de la piel. **B)** Fotografía demostrativa que muestra en dónde y cómo se coloca el emisor/sensor NIRS en un paciente, para realizar la detección de los diversos metabolitos cromóforos. **C)** Gráfica demostrativa de las variaciones en la concentración de HHb, O₂HB y tHb a lo largo del tiempo, cuando existe un proceso de oclusión vascular, que es indicativo de hipoxia originado por un proceso de isquemia.

Por otro lado, en la figura 2B se muestra un ejemplo del curso temporal de las concentraciones de los metabolitos del músculo detrusor, en un paciente que presenta obstrucción parcial al vaciamiento. Como puede observarse, la curva de flujo de orina durante la micción, es menos aguda y tiene mayor duración cuando se compara con la obtenida en el control (fig. 2A). Además, como se puede observar, la concentración de todos los metabolitos presenta variaciones importantes a lo largo del tiempo en que dura el proceso de micción. Lo más destacado es el hecho de que las concentraciones de HHb, O₂Hb y tHb, inician desde el cuadrante negativo de la escala, además de que existen cambios en el perfil de ellos, caracterizados por una mayor caída en la concentración durante la fase más aguda de la micción, que va aproximadamente de los 20 a los 50 segundos del estudio; al mismo tiempo se produce un incremento en la concentración de Cyt-C (fig. 2B).

Discusión

El uso de la espectroscopía de infrarrojo cercano o NIRS, es una técnica no invasiva reconocida por sus ventajas técnicas y gran sensibilidad, que nos permite monitorear en tiempo real, la concentración de cromóforos de importancia vital para el organismo, los tejidos y las células.^{2,9,23-25}

En el campo de la Urología, la tecnología NIRS es usada para monitorear los cambios en la concentración de HHb y O₂Hb, así como para detectar la presencia de hipoxia en el músculo detrusor y establecer si existen cambios en la hemodinamia de ese órgano que originen un proceso de isquemia, usando para ello, el monitoreo de las concentraciones de tHb y Cyt-C.^{2,9,23-25,28-33}

Además, al mismo tiempo que se estudian estos procesos, un estudio NIRS se acopla simultáneamente con un estudio uroflujométrico, con lo que se tiene agregado un elemento de estudio que puede detectar alteraciones en el proceso de la micción y determinar la presencia de una disfunción en el vaciado de la vejiga.²⁸⁻³⁴

En el caso de la HPB, es conocido el hecho de que una parte importante de la sintomatología en el paciente, está dada por el factor activo de la vejiga, que es el músculo detrusor.^{1,2,8,12} Cuando existe un proceso de HPB, la salida de orina se ve obstruida y el músculo detrusor presenta alteraciones en su fisiología que pueden ser agudas o crónicas, dependiendo del tiempo de obstrucción.¹²⁻²⁰

Dentro de los procedimientos de diagnóstico de la patología de la vejiga, se encuentran los estudios de urodinamia, sin embargo, como ha sido señalado, su realización produce molestias y riesgos importantes al paciente.^{2,6-8}

En contraparte, los procedimientos no invasivos como son los que usan tecnología basada en NIRS, son en la actualidad una muy buena opción para estudiar los fenómenos fisiológicos y de función, ya que además de no requerir de procedimientos invasivos, tiene un alto grado de certeza diagnóstica, ya que puede detectar cambios en las concentraciones de metabolitos que revelan alteraciones fisiológicas en el músculo liso, y que pueden ser asociados a la presencia de hipoxia, ocasionada por un fenómeno de isquemia-reperusión.²³⁻³³

Usando modelos experimentales con animales de laboratorio y con tecnología basada en NIRS, se ha demostrado

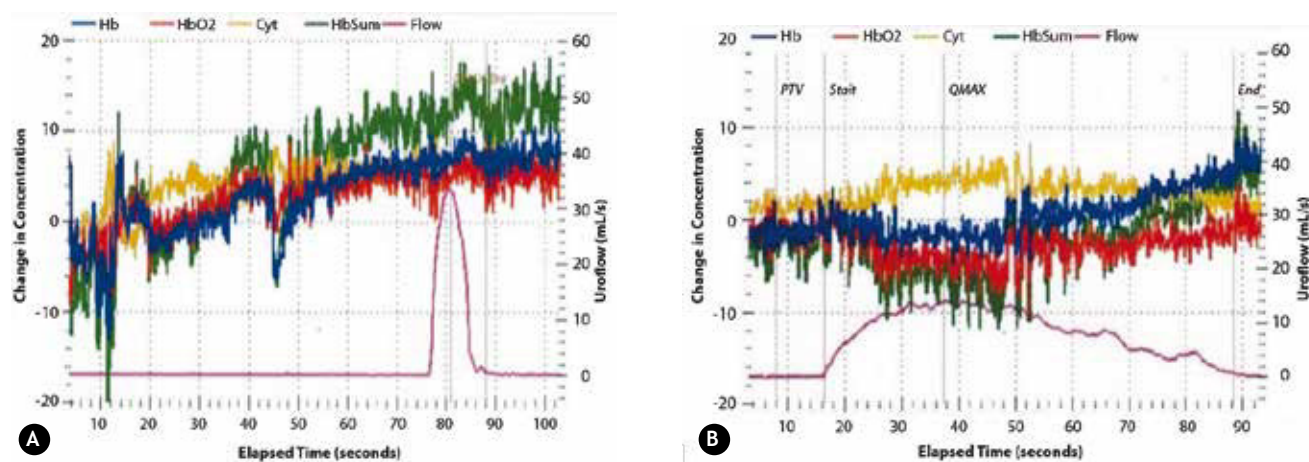


Figura 2 Gráficas representativas del monitoreo en tiempo real de las concentraciones de HHb, O₂HB, tHb y Cyt-C, acoplado con el flujo de orina durante la micción, obtenidas con el aparato URO-NIRS-2000. A) Perfil de cambios en los metabolitos durante la micción en un sujeto normal. B) Perfil de cambios en los metabolitos durante la micción, en un paciente que presenta obstrucción parcial al vaciamiento.

que el músculo detrusor presenta un proceso de isquemia transitoria durante el proceso de la micción, provocado por la contracción muscular del mismo. Este proceso transitorio de isquemia produce una hipoxia en los tejidos de la vejiga, principalmente en el músculo detrusor. Una vez que la contracción muscular disminuye, la sangre se conduce con normalidad por lo que la isquemia y la hipoxia terminan, cuando se instala la reperusión en la microcirculación. Además, la distensión muscular del detrusor, cuando la vejiga se encuentra llena de orina, también contribuye con el fenómeno de isquemia (y por tanto, de hipoxia), ya que los vasos sanguíneos de la microcirculación del detrusor, se colapsan por este efecto de presión. Esto termina cuando la vejiga es vaciada y el músculo se relaja, con lo que regresa a su normalidad el flujo en la microcirculación.^{16,18,34-42} Por otro lado, este ciclo de isquemia-reperusión normal que presenta el músculo detrusor durante el proceso de la micción, genera especies reactivas derivadas del oxígeno/nitrógeno, que en un momento dado pueden dañar las estructuras celulares y los tejidos.^{20,21,35,36,38-42}

Se ha descrito que, una vez que se instala la obstrucción, en forma inicial se produce un incremento en las contracciones del músculo detrusor y un alargamiento en el tiempo de vaciado vesical; situaciones que incrementan la tensión intramural de las paredes de la vejiga. En las primeras fases de la obstrucción, estos dos fenómenos (aumento de tensión y contracciones del detrusor), generan un fenómeno de isquemia-reperusión constantes, por lo que se produce una caída de la tensión de oxígeno en el tejido, por un tiempo más prolongado; seguido de un incremento brusco en la disposición de oxígeno en el momento en que el músculo se relaja, lo que ocasiona un incremento en la producción de especies reactivas tanto del oxígeno como de nitrógeno, tal y como ocurre en un infarto al miocardio.^{20,21,28-45}

Tomando en cuenta lo anteriormente mencionado, nosotros podemos afirmar que el uso de un equipo basado en la tecnología NIRS, nos auxilia en la detección de la presencia (en tiempo real y magnitud del ciclo) de isquemia-reperusión,

que facilita la presencia de hipoxia e hiperoxia; lo que a su vez favorece un incremento en la producción de especies reactivas derivadas del oxígeno/nitrógeno y que, en un momento dado, pueden alterar la función del músculo detrusor de la vejiga.

Los pacientes incluidos en nuestro estudio presentan una evolución de su sintomatología de hasta 15 meses, tiempo en el cual, pensamos que pueden tener una alteración importante en sus procesos vesicales tanto metabólicos como fisiológicos, ocasionados por el exceso de radicales libres derivados del oxígeno/nitrógeno, tal como ha sido sugerido previamente.³⁷⁻⁴⁷

Conclusiones

Tomando en cuenta todo lo mencionado con anterioridad, nosotros podemos afirmar que la tecnología basada en NIRS es capaz de detectar en nuestros pacientes, un fenómeno de isquemia-reperusión que podemos observar en tiempo real en el músculo detrusor, ocasionado por la obstrucción que produce la HPB. Este fenómeno de isquemia-reperusión puede generar especies reactivas altamente dañinas para la célula, el tejido y la vejiga, en general. Como causa directa de este daño al músculo detrusor generado por los radicales libres, este órgano presenta alteraciones transitorias o permanentes, lo que genera la sintomatología clínica característica de hiperactividad del músculo detrusor, por lo que es de gran importancia entender con mayor claridad este tipo de fenómenos, para así tener herramientas que nos permitan actuar en forma oportuna y adecuada, para mejorar la calidad de vida del paciente ya que, al conocer los mecanismos fisiopatológicos de daño y temporalidad de éstos, podemos mejorar nuestros algoritmos de diagnóstico y manejo de la obstrucción parcial al vaciamiento, generada por una HPB.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Financiamiento

Los autores no recibieron patrocinio para llevar a cabo este artículo.

Referencias

1. Steers WD. Pathophysiology of overactive bladder and urge urinary incontinence. *Rev Urol* 2002;4(Suppl 4):S7-S18.
2. Arnolds M, Oelke M. Positioning invasive versus noninvasive urodynamics in the assessment of bladder outlet obstruction. *Curr Opin Urol* 2009;19(1):55-62.
3. Madersbacher S, Alivizatos G, Nordling J. EUA 2004 guidelines on assessment, therapy and follow-up of men with lower urinary tract symptoms suggestive of benign prostatic obstruction (BPH guidelines). *Eur Urol* 2004;46(5):547-554.
4. Abrams P, Cardozo L, Fall M. The standardisation of terminology of lower urinary tract function: report from the standardisation Sub-Committee of the International Continence Society. *Neurourol Urodyn* 2002;21(2):167-178.
5. Kershen RT, Azadzoid KM, Siroky MB. Blood flow, pressure and compliance in the male human bladder. *J Urol* 2002;168(1):121-125.
6. Nitti VW. Pressure flow urodynamic studies: the gold standard for diagnosing bladder outlet obstruction. *Rev Urol* 2005;7(Suppl 6):S14-21.
7. Griffiths D. Basics of pressure-flow studies. *World J Urol* 1995;13(1):30-33.
8. Schafer W. Principles and clinical application of advanced urodynamic analysis of voiding function. *Urol Clin North Am* 1990;17(3):553-566.
9. Stothers L, Guevara R, Macnab A. Classification of male lower urinary tract symptoms using mathematical modelling and a regression tree algorithm of noninvasive near-infrared spectroscopy parameters. *Eur Urol* 2010;57(2):327-332.
10. Schafer W, Abrams P, Liao L. Good urodynamic practices: uroflowmetry, filling cystometry and pressure-flow studies. *Neurourol Urodyn* 2002;21(3):261-274.
11. Irwin DE, Milsom I, Hunskaar S. Population-based survey of urinary incontinences, overactive bladder and other lower urinary tract symptoms in five countries: results of the EPIC study. *Eur Urol* 2006;50(6):1306-1314.
12. Abrams P, Griffiths DJ. The assessment of prostatic obstruction from urodynamic measurements and from residual urine. *Br J Urol* 1979;51(2):129-134.
13. Lin ATL, Chen MT, Yang CH, et al. Blood flow of the urinary bladder: effects of outlet obstruction and correlation with energetic metabolism. *Neurourol Urodyn* 1995;14(3):285-292.
14. Azadzi KM, Tarcan T, Kozlowski R, et al. Overactivity and structural changes in the chronically ischemic bladder. *J Urol* 1999;162:1768-1778.
15. Brading AF, Symes S. Ischemia as an etiological factor in bladder instability: implications for therapy. *Adv Exp Med Biol* 2003;539(Pt A):255-269.
16. Vijaya G, Digesu GA, Derpapas A, et al. Changes in detrusor muscle oxygenation during detrusor overactivity contraction. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol* 2012;163(1):104-107.
17. Brading AF. A myogenic basis for the overactive bladder. *Urology* 1997;50(suppl 6A):57-67.
18. Haferkamp A, Dörsam J, Resnick NM, et al. A structural basis of neurogenic bladder dysfunction. III Intrinsic detrusor innervation. *J Urol* 2003;169(2):555-562.
19. Mills IW, Greenland JE, McMurray G. Studies of the pathophysiology of idiopathic detrusor instability: the physiological properties of the detrusor smooth muscle and its pattern of innervation. *J Urol* 2000;163(2):646-651.
20. Brading A, Pessina F, Esposito I, et al. Effect of metabolic stress and ischaemia on the bladder and the relationship with bladder overactivity. *Scand J Urol Nephrol Suppl* 2004;215:84-92.
21. Erdem E, Leggett R, Dicks B, et al. Effect of bladder ischaemia/reperfusion on superoxide dismutase activity and contraction. *BJU Int* 2005;96(1):169-174.
22. Abrams P. Bladder outlet obstruction index, bladder contractility index and bladder voiding efficiency: three simple indices to define bladder voiding function. *BJU Int* 1999;84(1):14-15.
23. Ramírez-García S, Carranza-Castro PH, Gutiérrez-Salinas J, et al. Aplicación en medicina de la espectroscopía de infrarrojo cercano. *Med Int Mex* 2012;28(4):365-370.
24. Farag FF, Martens FM, D' Hauwers KW, et al. Near-infrared spectroscopy: A novel, noninvasive, diagnostic method for detrusor overactivity in patients with overactive bladder symptoms. A preliminary and experimental study. *Eur Urol* 2011;59(5):757-762.
25. Ferrari M, Mottola L, Quaresima V. Principles, techniques and limitations of near infrared spectroscopy. *Can J Appl Physiol* 2004;29(4):463-487.
26. Greenland JE, Brading AF. Urinary bladder blood flow changes during the micturition cycle in a conscious pig model. *J Urol* 2007;177(5):1856-1861.
27. Khullar V, Cardozo LD, Salvatore S, et al. Ultrasound: a noninvasive screening test for detrusor instability. *Br J Obstet Gynaecol* 1996;103(9):904-908.
28. Macnab AJ, Stothers L. Development of a near-infrared spectroscopy instrument for application in urology. *Can J Urol* 2008;15(5):4233-4240.
29. Macnab A, Shadgan B, Afshar K. Near-infrared spectroscopy of the bladder: new parameters for evaluating voiding dysfunction. *Int J Spectroscopy* 2011;2011:1-8.
30. Farag FF, Hesakkers JP. Non-invasive techniques in the diagnosis of bladder storage disorders. *Neurourol Urodyn* 2011;30(8):1422-1428.
31. Mastoroudes H, Giarenis I, Vella M, et al. Use of near infrared spectroscopy as an alternative to videourodynamics to detect detrusor overactivity in women with the overactive bladder syndrome. *Urology* 2012;80(3):547-550.
32. Stothers L, Shadgan B, Macnab A. Urological application of near infrared spectroscopy. *Can J Urol* 2008;15(6):4399-4409.
33. Yurt M, Süer E, Gülpinar Ö, et al. Diagnosis of bladder outlet obstruction in men with lower urinary tract symptoms: comparison of near infrared spectroscopy algorithm and pressure flow study in a prospective study. *Urol* 2012;80:182-186.
34. Te AE, Chung DE, Lee RI, et al. Near infrared spectroscopy (NIRS) for application in urology. *J Urol* 2009;181(suppl 4):601-602.
35. Lin WY, Mannikarottu A, Li S, et al. Correlation of in vivo bladder blood flow measurements with tissue hypoxia. *World J Urol* 2011;29(2):165-170.
36. Mannikarottu AS, Kogan B, Levin RM. Ischemic etiology of obstructive bladder dysfunction: a review. *Recent Res Devel Mol Cell Biochem* 2005;2:15-34.
37. Farag FF, Heesakkers JP. Non-invasive techniques in the diagnosis of bladder storage disorders. *Neurourol Urodyn* 2011;30(8):1422-1428.
38. Lin AD-Y, Mannikarottu AS, Chaudhry A. Protective effects of grape suspension on in-vivo ischemia/reperfusion of the rabbit bladder. *BJU Int* 2005;96(9):1397-1402.
39. Greenland JE, Hvistendahl JJ, Andersen H. The effect of bladder outlet obstruction on tissue oxygen tension and blood flow in the pig bladder. *BJU Int* 2000;85(9):1109-1114

40. Greenland JE, Brading AF. The effect of bladder out flow obstruction on detrusor blood flow changes during the voiding cycle in conscious pigs. *J Urol* 2001;165(1):245-248.
41. Levin RM, O'Connor LJ, Leggett RE, et al. Focal hypoxia of the obstructed rabbit bladder wall correlates with intermediate decompensation. *Neurourol Urodyn* 2003;22(2):156-163.
42. Yung-Shun J, Shu-Mien C, Mei-Yu J, et al. Basic research in bladder outlet obstruction. *Incont Pelvic Floor Dysfunct* 2011;5(1):1-6.
43. Chung DE, Lee RK, Kaplan SA, et al. Concordance of near infrared spectroscopy with pressure flow studies in men with lower urinary tract symptoms. *J Urol* 2010;184(6):2434-2439.
44. Macnab AJ, Stothers L. Near-infrared spectroscopy: validation of bladder-outlet obstruction assessment using non-invasive parameters. *Can J Urol* 2008;15(5):4241-4248
45. Løvvik A, Yaqub S, Oustad H. Can noninvasive evaluation of benign prostatic obstruction be optimized? *Curr Opin Urol* 2012;22(1):1-6.
46. Conners W, Whitebeck C, Chichester P. L-NAME, a nitric oxide synthase inhibitor, diminishes oxidative damage in urinary bladder partial outlet obstruction. *Am J Physiol Renal Physiol* 2006;290(2):F357-363.
47. Lin WY, Levin RM, Chichester P. Effects of L-arginine and LNAME on chronic partial bladder outlet obstruction in rabbit. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2007;293:R2390-R2399.