

Estimulación eléctrica del nervio pudendo: una opción para el tratamiento de la hiperactividad neurogénica del detrusor

Electrical stimulation of pudendal nerve: an option for the treatment of the neurogenic detrusor overactivity

Opisso E¹, Navarro M¹, Morcillo M¹, Borau A, Rijkhoff NJM²

¹Institut Universitari de Neurorehabilitació Guttmann-UAB, Badalona. ²Department of Health Science and Technology, Center for Sensory-Motor Interaction (SMI), Aalborg University, Aalborg, Denmark.

Esta investigación ha sido financiada por FUNDACIÓN MAPFRE

Resumen

Objetivo: Introducir la estimulación eléctrica del nervio pudendo como un procedimiento capaz de tratar la hiperactividad neurogénica del detrusor en un contexto hospitalario y domiciliario.

Pacientes y Métodos: Para el primer estudio (Programa de autoestimulación en ambiente domiciliario) se reclutaron 11 pacientes. La duración del protocolo fue de una semana e incluía dos urodinámicas, una al principio y otra al final del proceso. En el segundo protocolo se incluyeron doce pacientes (Estimulación eléctrica mediante EMG del nervio dorsal del pene/clitoris) donde se realizaron dos urodinámicas sucesivas, la primera sin y la segunda con estimulación. En los dos estudios se valoró la capacidad cistométrica. En el primer estudio, a los pacientes se les pedía que rellenaran un diario miccional.

Resultados: Tanto para el primero como para el segundo estudio, los pacientes mostraron un aumento significativo de las capacidades cistométricas en las urodinámicas posteriores comparadas con las iniciales ($p=0,045$) ($p=0,002$). El volumen medio de micción diaria se incrementó conforme avanza la estimulación ($p=0,035$).

Conclusión: La viabilidad y los resultados globalmente positivos de los estudios prueban que la estimulación eléctrica del nervio pudendo puede ser una opción para el tratamiento de la hiperactividad neurogénica del detrusor.

Palabras clave:

Hiperactividad del detrusor, lesión medular, daño cerebral, incontinencia, estimulación del pudendo.

Abstract

Objective: To introduce the electrical stimulation of the pudendal nerve as an effective procedure to treat neurogenic detrusor overactivity in both hospital and home settings.

Patients and Methods: For this purpose, two studies were designed and performed. Eleven patients were recruited in the first study (Autostimulation program in home setting). The duration of the protocol was one week and it included two urodynamics, first at baseline and the second at the end of the study. In the second study (EMG electrical stimulation of the dorsal penile/clitoral nerve), twelve patients were included. Patients underwent two successive urodynamics, first without and second with electrical stimulation. In both studies, cystometric capacities were used to assess objectively the outcome of the treatment. In the first study, patients were asked to fill a bladder diary.

Results: In both first and second studies, patients show a statistically significant improvement of the cystometric capacities in posterior urodynamics compared to baseline urodynamics ($p=0.045$ and $p=0.002$, respectively). Mean micturition volume per day increased significantly as long as stimulation days advanced ($p=0.035$).

Conclusion: The feasibility and the globally positive outcomes of both studies show that the stimulation of the pudendal nerve can be an option to the treatment of the neurogenic detrusor overactivity.

Key-words:

Detrusor overactivity, Spinal Cord Injury, Brain Injury, Pudendal stimulation, Incontinence.

Correspondencia

E. Opisso
Institut Universitari de Neurorehabilitació Guttmann-UAB
Cami de Can Ruti s/n 08916 (Badalona)
eopisso@guttmann.com

Introducción

La micción voluntaria y el mantenimiento de la continencia son funciones diarias que se desarrollan en comportamientos socialmente aceptables. Este comportamiento que se adquiere en la niñez requiere la mayor integración entre los sistemas nerviosos somáticos y autónomos tanto consciente como subconsciente del control neuronal. La función coordinada de la vejiga urinaria y sus esfínteres depende de la completa integridad de las vías nerviosas periféricas en un complejo sistema de control neuronal situado en la medula espinal y el cerebro [1].

Los dos principales problemas que comporta la vejiga neurógena son la hiperactividad neurogénica del detrusor (NDO) y la disinergia detruso-esfinteriana (DSD). La Sociedad Internacional para la Continencia (ICS) define la NDO como una observación urodinámica caracterizada por contracciones involuntarias del detrusor durante la fase de llenado que pueden ser provocadas o espontáneas cuando existe una patología neurológica relevante. También define la DSD como la contracción del detrusor concurrente con la contracción involuntaria del músculo estriado uretral [2]. La NDO es responsable, en estos sujetos, de baja capacidad vesical e incontinencia. Los pacientes que tienen NDO en combinación con DSD pueden tener también altas presiones vesicales transitorias las cuales pueden llevar al reflujo vesicoureteral y al fallo renal si no se trata.

Hay diferentes métodos para tratar la incontinencia que produce la NDO como son la cateterización intermitente (CI) [3] o la autocateterización limpia. La utilización de antimuscarínicos en combinación con la CI limpia es el patrón de manejo de la NDO [4]. Los anticolinérgicos re-

ducen la capacidad de contracción del detrusor durante la fase de llenado y, por lo tanto, incrementan la capacidad vesical [5]. El uso de inyecciones de toxina botulínica en el detrusor ha supuesto otra alternativa en el tratamiento de la NDO, aunque sus efectos no son permanentes [6]. Otros procedimientos quirúrgicos, como la citoplastia de ampliación vesical [7] o la rizotomía dorsal sacra [8], puede ser una alternativa permanente para estos pacientes. También la estimulación eléctrica de los aferentes del nervio pudendo es un método efectivo en la supresión de las contracciones involuntarias del detrusor en pacientes con NDO [9][10]. La estimulación del nervio dorsal del pene o del clítoris (ENDP), una rama del pudendo, son efectivas para inhibir las contracciones del detrusor además de ser un procedimiento no invasivo [11][12]. Existen dos tipos de estimulación, en cuanto a su disparo, la estimulación continua en el tiempo y la estimulación condicionada a la contracción del detrusor. Ambas han probado ser igual de efectivas [12]. Este trabajo tiene como objetivo analizar la estimulación eléctrica del nervio pudendo como un procedimiento capaz de tratar la hiperactividad neurogénica del detrusor.

Material y métodos

Para ejecutar este trabajo se diseñaron y ejecutaron dos estudios:

Estudio 1: Programa de autoestimulación en ambiente domiciliario.

El programa tuvo una semana de duración y siguió el protocolo mostrado en la Tabla 1. Las urodinámicas, para recoger las variables cistométricas, tanto del primer como

Tabla 1. Protocolo del primer estudio

Día	Tarea	Ubicación
Programa de autoestimulación en ambiente domiciliario		
1	URODINÁMICA	1.- Sin estimulación 2.-Autoestimulación HOSPITAL
2	Sin estimulación // Diario miccional	DOMICILIO
3-5	Con estimulación // Diario miccional	DOMICILIO
6	Sin estimulación // Diario miccional	DOMICILIO
7	URODINÁMICA	1.- Sin estimulación 2.-Autoestimulación HOSPITAL
Estimulación eléctrica mediante EMG del nervio dorsal del pene o clítoris		
1	URODINÁMICA	1.- Sin estimulación + Registro de EMG 2.-Estimulación controlada con EMG HOSPITAL

del último día, constaron de dos infusiones, una de control y la segunda con estimulación, donde el paciente se estimuló para prevenir las contracciones involuntarias del detrusor.

Durante la fase domiciliaria, el paciente utilizó un pequeño estimulador, accionado por un botón, (Odstock O2CHS, Salisbury Health Care, Salisbury, Wiltshire, Reino Unido) personalmente tres de los cinco días que dura esta fase. Se colocaron electrodos autoadhesivos de 25 mm (PALS, Axelgaard Man Co, Fallbrocok, CA, EEUU) que se colocaron en la parte dorsal del pene o cerca del clítoris (Figura 1). Los parámetros de estimulación fueron 20 pulsos por segundo, con un ancho de 200 μ s y una intensidad de estimulación, configurada para cada sujeto, entre 1,5 y 2 veces la intensidad necesaria para producir el reflejo bulbocavernoso y dependiendo de la tolerancia a la corriente.

En la fase domiciliaria al paciente rellenó durante cinco días un diario miccional donde se anotaron las cantidades de líquido ingerido, líquido miccionado, escapes, episodios de urgencia y el número de estimulaciones.

Estudio 2: Estimulación eléctrica mediante EMG del nervio dorsal del pene o clítoris

Para aquellos pacientes en los cuales la autoestimulación no era una opción por no disponer de suficiente sensación vesical para activar la estimulación, se recomendó la estimulación por EMG del esfínter uretral externo. Para registrar el EMG del esfínter uretral externo realizamos dos punciones, mediante dos agujas hipodérmicas, a través del suelo pélvico en los hombres o parauretralmente en las mujeres (Figura 2).

A los pacientes reclutados se les realizó una urodinámica de dos infusiones. La primera sin estimulación que sirvió de

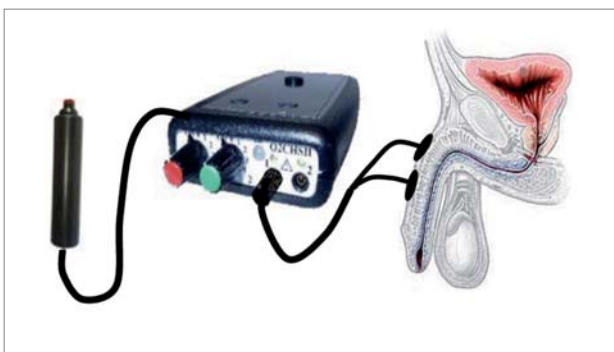


Fig. 1. Esquema de estimulación del nervio pudendo (nervio dorsal del pene).

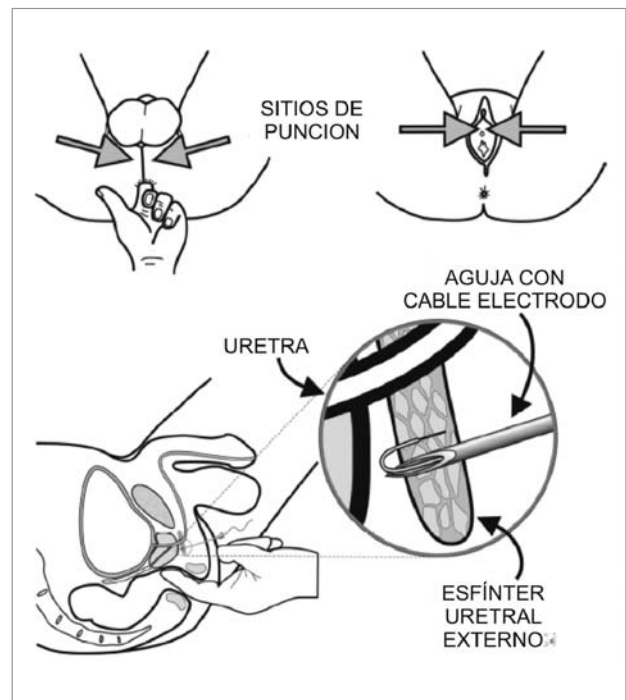


Fig. 2. Esquema de la colocación de los electrodos de EMG en hombres y mujeres.

diagnóstico, además de aportar el registro de EMG. La segunda fue con estimulación disparada por EMG. Entre la primera y la segunda se calculó el umbral de EMG a partir del cual se dispara la estimulación (Tabla 1). La actividad de EMG no se limitó a los periodos donde la presión intravesical era alta, cuando se contraía el detrusor, por lo que fue necesario construir un detector de EMG capaz de distinguir la señal EMG del esfínter correlacionada con el detrusor. Para esta identificación de la señal se utilizó un detector basado en una función de la media cuadrática y la curtosis de una ventana deslizante de 300 ms que se actualizaba cada 30 ms.

Población

Entre Abril de 2009 y Abril de 2010 se incluyeron en uno de los dos estudios un total de 23 pacientes con síntomas de NDO. Los criterios de inclusión fueron diagnóstico con NDO con una capacidad vesical menor a 300 ml y ser mayor de edad. Se excluyeron aquellos pacientes que portaban sonda vesical permanente o que presentaban intolerancia a la estimulación eléctrica.

A todos los pacientes se les entregó la hoja informativa y de todos se obtuvo el correspondiente consentimiento

Tabla 2. Pacientes incluidos en el estudio**Programa de autoestimulación en ambiente domiciliario**

	Sexo	Edad	Patología	Ayudas al manejo de vejiga	Tratamiento farmacológico	Debut
1	H	46	Mielitis		Oxibutinina	1992
2	H	33	LM L2 AIS B	Pañales		12/2006
3	H	54	LM C6 AIS D		Solifenacina	2007
4	H	40	TCE	Pañales	Oxibutinina	10/2003
5	H	18	EM	Pañales	Oxibutinina	2001
6	H	37	Mielitis	Pañales	Oxibutinina	05/2007
7	M	58	EM	Pañales		1990
8	M	57	LM L4 AIS D			10/1988
9	M	18	LM D5 AIS B			20/1/2006
10	M	35	TCE		Solifenacina	5/6/2004
11	M	31	LM D10 AIS C	Pañales	Oxibutinina	17/4/2007

Estimulación eléctrica mediante EMG del nervio dorsal del pene o clítoris

	Sexo	Edad	Patología	Ayudas manejo vejiga	Fármacos	Evolución (meses)
1	H	20	LM D5 AIS A	Colector urinario		8
2	H	18	LM D6 AIS A	Colector urinario + CI		6
3	M	54	LM D8-D9 AIS A	Oxibutinina Pañales + CI	Oxibutinina	6
4	H	21	LM D2 AIS C	Colector urinario		7
5	H	38	LM D9 AIS C	Pañales	Tamsulosina	19
6	M	34	LM L1 AIS B	Pañales		24
7	M	34	LM D11 AIS A	Pañales + CI	Solifenacina	35
8	H	43	LM D6 AIS A	Pañales + CI		47
9	H	40	LM C6 AIS C	Colector urinario		14
10	M	33	TCE	Pañales	Solifenacina	60
11	H	40	LM C5 AIS C	Pañales	Oxibutinina	79
12	H	51	EM	Colector urinario		79

(LM: Lesión medular; TCE: Traumatismo craneoencefálico; EM: Esclerosis múltiple; AIS: American Spinal Injury Association (ASIA) Impairment Scale; CI: Cateterismos intermitentes).

informado. Los dos estudios fueron aprobados por el Comité de Ética del Instituto Guttmann. Todas las urodinámicas se realizarán siguiendo la guía de buenas prácticas urodinámicas [13].

En el estudio 1 entraron 11 pacientes fueron (Tabla 2). En dos casos sufrían de incontinencia urinaria debido a otra patología neurológica no indicadas inicialmente. En el segundo estudio se englobaron 12 candidatos (Tabla 2). En el segundo estudio, al finalizar la primera urodinámica se realizaron las pruebas de tolerancia a la estimulación y se calculó el umbral teniendo en cuenta el registro de la primera urodinámica (Figura 5). En la segunda urodinámica se apreció que cada vez que la señal procesada de EMG cruza-

ba el umbral preestablecido el estimulador se enciendía y suprimía hasta seis contracciones no inhibidas (Figura 6).

Análisis estadístico

Se calcularon las medidas de tendencia central y de dispersión para determinar las características de la muestra. Se realizaron las pruebas de Kolmogorov-Smirnov para comprobar la distribución normal de las variables. Se utilizó la prueba paramétrica de la t de Student para datos apareados para comprobar las variaciones pre-post tratamiento y con-sin estimulación de las variables cistométricas estudiadas (capacidad, volumen/micción). Mediante un modelo de medidas repetidas (GLM) se compararon los efectos de la estimulación a

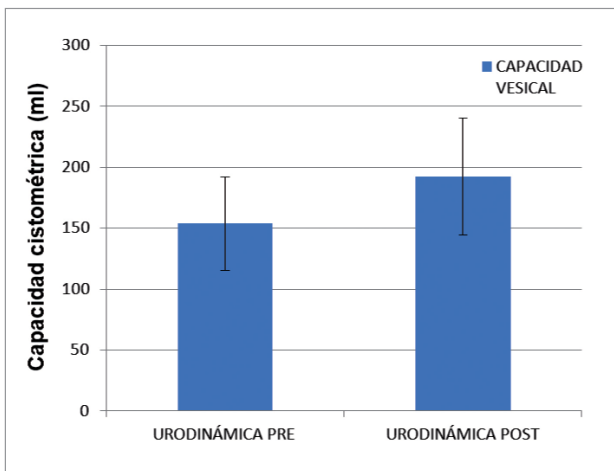


Fig. 3. Capacidades cistométricas medias pre y post en el primer estudio.

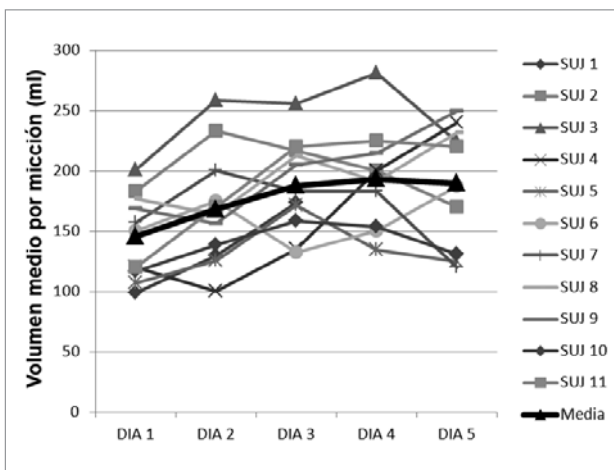


Fig. 4. Volúmenes por paciente por día en el primer estudio.

lo largo de una serie de puntos temporales. Para todas las pruebas se consideraron significativos los valores $p < 0,05$ (bilateral). El paquete estadístico utilizado fue Statistical Package for Social Sciences (SPSS) versión 16.0 para Windows.

Resultados

Estudio 1, se comparan dos variables principalmente capacidad cistométrica vesical y volumen/micción.

La capacidad cistométrica vesical, al principio y al final del protocolo (Figura 3) presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p=0,045$) entre ambos instantes. La estimulación eléctrica demostró ser una herramienta válida para aumentar la capacidad cistométrica vesical.

El volumen / micción, mediante los diarios miccionales, (Figura 4) se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p=0,035$). Realizando las comparaciones, dos a dos, apreciamos diferencias, entre las medias del primer 145,5 (34,7) ml y el último día 189,9 (50,4) ml, significativas ($p=0,032$). Los tres días de estimulación incrementaron la capacidad vesical y, por lo tanto, un aumento de la autonomía.

En el segundo estudio, al comparar las capacidades cistométricas medias para los 12 sujetos en las dos urodinámicas, 161,2 (63,4) ml y 296,3 (132,1) ml, las diferencias entre las dos medias fueron significativas ($p=0,002$).

Discusión

La neurorrehabilitación es un proceso para recuperar o compensar las alteraciones funcionales en una persona que sufre una lesión neurológica. En pacientes diagnosticados de una vejiga neurógena debe procurarse la restauración, total o parcial, de la función del tracto urinario inferior. La estimulación del nervio dorsal del pene o del clítoris (ENDP), un rama del pudendo, son efectivas para inhibir las contracciones del detrusor además de ser un procedimiento no invasivo [11-12]. Existen dos tipos de estimulación, en cuanto a su disparo, la estimulación continua en el tiempo y la estimulación condicionada a la contracción del detrusor. Ambas han probado ser igual de efectivas [12]. Sin embargo, la estimulación continua puede presentar diferentes inconvenientes, como el daño al tejido corporal, la habituación neuronal debido a la estimulación eléctrica a largo plazo además de un mayor consumo energético. Por contrapartida el evento que dispara la estimulación condicional sigue siendo uno de los mayores problemas en el desarrollo de esta técnica. Se han investigado diferentes métodos de disparo, puesto hoy en día aún no existe un disparador fiable en un entorno a largo plazo. La presión intravesical ha resultado ser un disparador muy fiable y efectivo [12][14], sin embargo, la monitorización de la presión intravesical o la tensión de la pared vesical resulta ser complicado en un ambiente no hospitalario a largo plazo. Más recientemente, la electro-neurografía (ENG) mostró también ser señal capaz de indicarnos la inminencia de la contracción del detrusor tanto en gatos en el nervio pudendo [15] como en humanos en raíces sacras [16]. La electromiografía (EMG) del esfínter externo uretral es otra opción de disparador de la estimulación eléctrica puesto que esta está fuertemente relacionada con la actividad del detrusor [17]. Tanto el registro de ENG como el de EMG demostraron ser eficaces cuando el registro se analizaba y procesaba con poste-

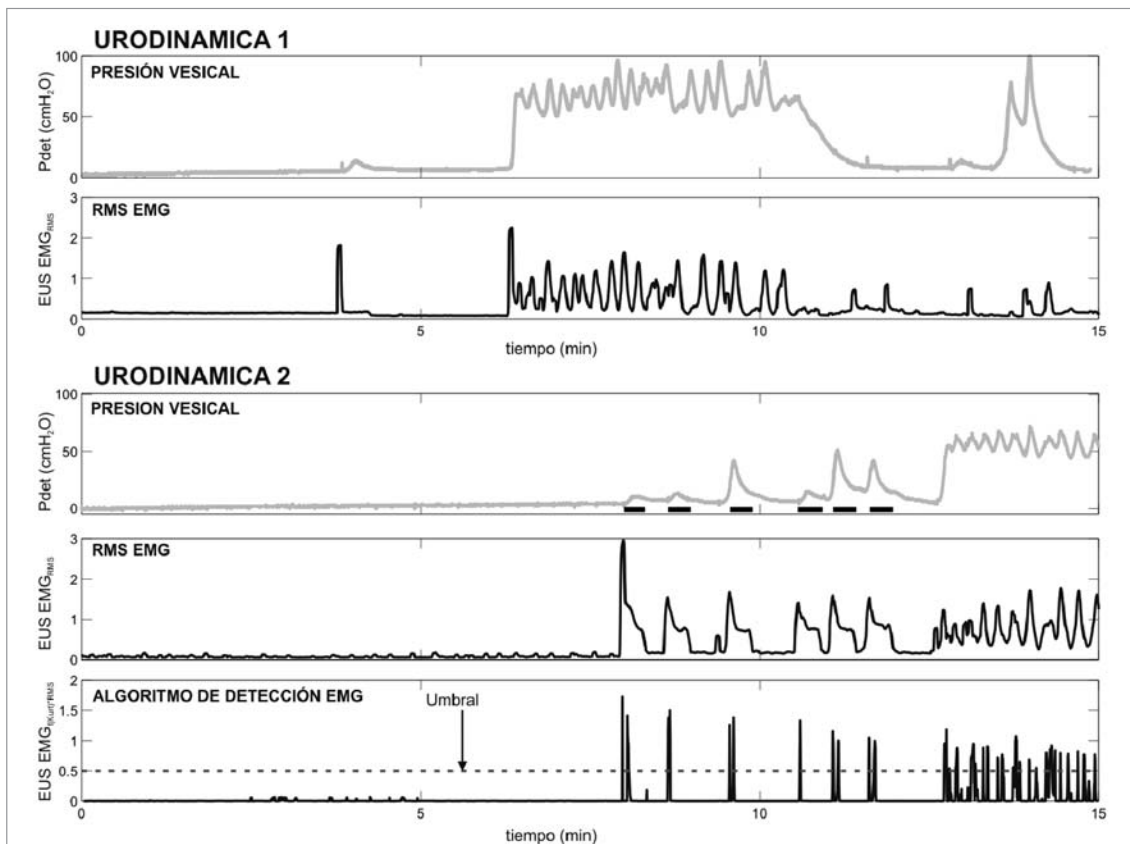


Fig. 5. Detalle de dos urodinámicas para el estudio 2 del paciente número 2.

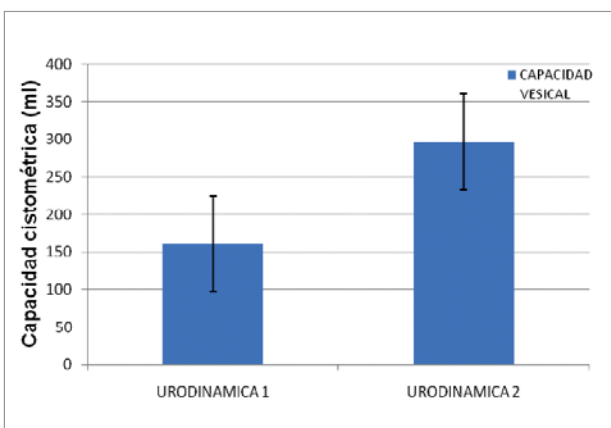


Fig. 6. Capacidades cistométricas medias pre y post en el segundo estudio.

rrioridad. Por lo que es necesaria una etapa posterior para realizar el analizado y procesado de la señal para disparar la estimulación. Otra opción es la autoestimulación o la estimulación disparada por el propio paciente. La autoestimulación es una opción viable solo en aquellos sujetos que son capaces de sentir su vejiga pero que no disponen de un tiempo de aviso para poder ir al baño. Esta ausencia de tiempo es uno de las mayores quejas en estos pacientes. A pesar de haberse demostrado que los pacientes con esta sensación de urgencia, en el contexto hospitalario, son capaces de autoestimularse tan efectivamente como lo hace la estimulación disparada por presión intravesical [18], la estimulación controlada por el paciente ha de ser aún probada en condiciones ambulatorias y por un periodo más largo para determinar si pierde eficacia con el tiempo o tiene algún efecto de arrastre. Este trabajo se encamina hacia una prótesis implantable, o no, capaz de monitorizar el estado de la vejiga para controlar sus reacciones mediante estimulación eléctrica.

Este estudio, junto el de Goldman et al [19], han sido de los primeros en demostrar la viabilidad del tratamiento de la estimulación del nervio pudiendo de la incontinencia de urgencia, durante una semana, en un ambiente no hospitalario. El trabajo de Goldman et al se ciñó exclusivamente a la población no neurogénica, al contrario de nuestro proyecto. Aproximadamente el 80% de los pacientes después de la semana presentaban un aumento en el volumen de micción/día medio que se correlacionaba con un aumento de capacidad cistométrica objetivada en las urodinámicas. La estimulación del nervio pudiendo autocontrolada demuestra ser una buena solución para pacientes refractarios del tratamiento farmacológico o que no pueden soportar sus efectos secundarios.

La estimulación eléctrica puede ser molesta, incluso dolorosa, especialmente en pacientes que tienen preservada la sensación genital. Una reducción en la amplitud de la corriente podría reducir esta incomodidad; sin embargo, no serviría reducir la amplitud del estímulo, pues amplitudes más bajas no consiguen el mismo efecto inhibitorio [20].

Cuando antes empiece la estimulación, en el transcurso de una contracción del detrusor, mayores son las posibilidades de detener la contracción y mayor será la posibilidad de prevenir un posible episodio de incontinencia [18]. Por lo tanto, cabe esperar que un entrenamiento en la técnica de autoestimulación conseguirá mejores resultados de la capacidad de prolongar, mediante estimulación, una micción y evitar posibles pérdidas de orina. Otro elemento que se puede mejorar son los electrodos de superficie, ya que no es una solución óptima en un contexto crónico, especialmente en las mujeres. Una solución implantada corregiría esta problemática.

La EMG puede ser un disparador fiable para controlar la estimulación eléctrica de los nervios dorsales del pene o del clítoris y, por lo tanto, inhibir las contracciones no deseadas de la vejiga. La monitorización de la EMG del esfínter externo tiene ventajas comparado con otras bioseñales utilizadas para predecir las contracciones vesicales y la presión intravesical [14] o la electroneurografía de las raíces sacras [16] las cuales aunque fiables no son viables en el domicilio.

Por lo expuesto pensamos que se debe impulsar el desarrollo de una neuroprótesis implantable para el control de la actividad vesical; las neuroprótesis controladas con EMG han demostrado su eficacia en el control de las extremidades superiores en pacientes con lesión medular o para la marcha con electrodos intramusculares [21-23]. ■

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Craggs M, McFarlane J. Neuromodulation of the lower urinary tract. *Exp Physiol* 1999; 84:149-60.
2. Abrams P, Cardozo L, Fall M, Griffiths D, Rosier P, Ulmsten U, et al. The standardization of terminology of lower urinary tract function: Report from the standardization sub-committee of the International Continence Society. *Neurourol Urodyn* 2002; 21:167-78.
3. Guttmann L, Frankel H. The value of intermittent catheterisation in the early management of traumatic paraplegia and tetraplegia. *Paraplegia* 1966; 4:63-84.
4. Andersson KE. Antimuscarinics for treatment of overactive bladder. *Lancet Neurol* 2004; 3:46-53.
5. Chancellor MB, Anderson RU, Boone TB. Pharmacotherapy for neurogenic detrusor overactivity. *Am J Phys Med Rehabil* 2006; 85:536-45.
6. Sahai A, Khan MS, Gregson N, Smith K, Dasgupta P. GKT Botulinum Study Group. Botulinum toxin for detrusor overactivity and symptoms of overactive bladder: where we are now and where we are going. *Nat Clin Pract Urol* 2007; 4:379-86.
7. Quek ML, Ginsberg DA. Long-term urodynamics followup of bladder augmentation for neurogenic bladder. *J Urol* 2003; 169:195-8.
8. Hohenfellner M, Pannek J, Bötzel U, Dahms S, Pfitzenmaier J, Fichtner J, et al. Sacral bladder denervation for treatment of detrusor hyperreflexia and autonomic dysreflexia. *Urology* 2001; 58:28-32.
9. Vodusek DB, Light JK, Libby JM. Detrusor inhibition induced by stimulation of pudendal nerve afferents. *Neurourol Urodyn* 1986; 4:381-9.
10. Groen J, Bosch JLHR. Neuromodulation techniques in the treatment of the overactive bladder. *Br J Urol Int* 2001; 87:723-31.
11. Wheeler JSJ, Walter JS, Zaszczurynski PJ. Bladder inhibition by penile nerve stimulation in spinal cord injury patients. *J Urol* 1992;147:100-2.
12. Kirkham APS, Shah NC, Knight SL, Shah PJ, Craggs MD. The acute effects of continuous and conditional neuromodulation on the bladder in spinal cord injury. *Spinal Cord* 2001; 39:420-8.
13. Schäfer W, Abrams P, Liao L, Mattiasson A, Pesce F, Spangberg A, et al. Good urodynamic practices: uroflowmetry, filling cystometry, and pressure-flow studies. *Neurourol Urodyn* 2002; 21:261-74.
14. Dalmose AL, Rijkhoff NJM, Kirkeby HJ, Nohr M, Sinkjær T, Djurhuus JC. Conditional stimulation of the dorsal penile/clitoral nerve may increase cystometric capacity in patients with spinal cord injury. *Neurourol Urodynam* 2003; 22:130-7.

15. Wenzel BJ, Boggs JW, Gustafson KJ and Grill WM. Detecting the onset of hyper-reflexive bladder contractions from the electrical activity of the pudendal nerves. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2005; 13:428-35.
16. Kurstjens GAM, Borau A, Rodríguez A, Rijkhoff NJM, Sinkjær T. Intraoperative recording of electroneurographic signals from cuff electrodes on extradural sacral roots in spinal cord injured patients. *J Urol* 2005; 174:1482-7.
17. Hansen J, Borau A, Rodríguez A, Vidal J, Sinkjær T, Rijkhoff NJM. Urethral Sphincter EMG as Event Detector for Neurogenic Detrusor Overactivity. *IEEE Trans Biomed Eng* 2007; 54:1212-9.
18. Opisso E, Borau A, Rodríguez A, Hansen J, Rijkhoff NJ. Patient controlled versus automatic stimulation of pudendal nerve afferents to treat neurogenic detrusor overactivity. *J Urol* 2008; 180:1403-8.
19. Goldman HB, Amundsen CL, Mangel J, Grill J, Bennett M, Gustafson KJ, et al. Dorsal genital nerve stimulation for the treatment of overactive bladder symptoms. *Neurourol Urodyn* 2008; 27:499-503.
20. Prévinaire JG, Soler JM, Perrigot M, Boileau G, Delahaye H, Schumacker P. et al. Short-term effect of pudendal nerve electrical stimulation on detrusor hyperreflexia in spinal cord injury patients: Importance of current strength. *Paraplegia* 1996; 34:95-9.
21. Kilgore KL, Hoyen HA, Bryden AM, Hart RL, Keith MW, Peckham PH. An implanted upper-extremity neuroprosthesis using myoelectric control. *J Hand Surg Am* 2008; 33:539-50.
22. Hincapie JG, Kirsch RF. Feasibility of EMG-based neural network controller for an upper extremity neuroprosthesis. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2009; 17:80-90.
23. Dutta A, Kobetic R, Triolo L. Development of an implanted intramuscular EMG-triggered FES system for ambulation after incomplete spinal cord injury. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2009; 1:6793-7.

Conflicto de intereses

Los autores hemos recibido ayuda económica de FUNDACIÓN MAPFRE para la realización de este trabajo. No hemos firmado ningún acuerdo por el que vayamos a recibir beneficios u honorarios por parte de alguna entidad comercial o de FUNDACIÓN MAPFRE.