

ANATOMÍA FUNCIONAL DEL TRACTO URINARIO INFERIOR. NEUROFISIOLOGÍA DE LA MICCIÓN Y LA CONTINENCIA. MECANISMOS DE CONTINENCIA URINARIA EN LA MUJER

F. Arias Fúnez y L. Perales Cabanas

A pesar de los avances obtenidos en los últimos años en el conocimiento de las bases anatómicas de la función del tracto urinario inferior para comprender la fisiología y fisiopatología de la micción, existen todavía algunos aspectos del mecanismo de la micción y su forma de alterarse que permanecen desconocidos. Esto puede ser debido a la compleja organización estructural de la vejiga y de la uretra y a lo complicado que resulta encontrar un modelo experimental comparable a su funcionamiento durante el almacenamiento de orina, comportándose como un reservorio competente y sin fugas y con un vaciamiento voluntario, completo y oportuno por otro lado.

El estudio de la anatomía funcional del tracto urinario inferior requiere, en primer lugar, un repaso al desarrollo embrionario de este órgano que nos permita una mejor comprensión de su estructura y funcionamiento.

DESARROLLO EMBRIONARIO

Aunque existen diferencias significativas en las últimas fases del desarrollo embrionario del tracto urinario inferior, debido a la doble función, excretora y de eliminación de productos genitales, en el varón, no es así en las primeras etapas.

El conducto mesonéfrico o conducto de Wolf, vía excretora del mesonefros o segundo

órgano urinario, sin actividad funcional demostrada en el embrión humano, desemboca en una cavidad común denominada cloaca, por recibir comunicación directa del sistema excretor y del intestino posterior. La cloaca se encuentra en amplia comunicación con la alantoides.

Hasta la 3ª semana del desarrollo embrionario, una invaginación ectodérmica se dirige hacia la cloaca hasta reducir el espacio existente a una fina lámina de tejido llamada membrana cloacal. Esta invaginación ectodérmica se llama proctodeo.

Entre la 4ª y la 7ª semana del desarrollo, la cloaca se divide en una porción posterior o conducto anorectal, y una porción anterior o seno urogenital primitivo (Fig. 1). Esta separación se debe al crecimiento de una cresta mesodérmica transversal que nace del ángulo que forman la alantoides y el intestino posterior. Esta formación mesodérmica está constituida por una serie de repliegues tabicantes denominados espolón de Koelliker y repliegues de Rathke. Esta cresta, denominada tabique uorrectal, crece en dirección a la membrana cloacal con la que se fusiona finalmente, originando el núcleo perineal de Keibel y las membranas urogenital, delante, y anal, de situación posterior, ambas derivadas de la primitiva membrana cloacal (Fig. 1).

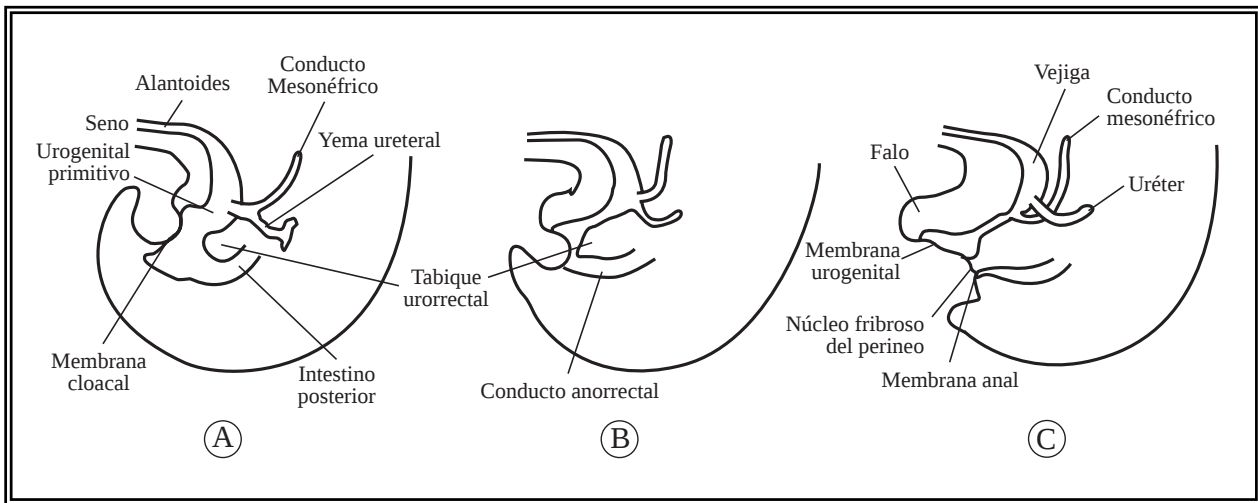


Figura 1. Esquema que muestra la división de la cloaca en seno urogenital y conducto anorrectal. Advértase que el conducto mesonéfrico se incorpora gradualmente en la pared del seno urogenital, y que los uréteres desembocan por separado. A) Final de la quinta semana. B) Siete semanas. C) Ocho semanas.

En el seno urogenital se distinguen dos partes. La superior y más voluminosa es la futura vejiga, en comunicación con la alantoides, que quedará reducida a un conducto obliterado desde el vértice de la vejiga definitiva, el uraco o, también denominado, ligamento umbilical medio. La parte más caudal y de menor tamaño, de configuración pseudotubular y denominada porción pélvica del seno urogenital, formará la uretra femenina y en el varón las porciones prostática y membranosa de la uretra.

En este mismo período y a partir de la 3ª semana, se desarrollan en la cara posterior de ambos conductos mesonéfricos dos evaginaciones o yemas ureterales que crecen dirigiéndose hacia el tejido metanéfrico que originará el riñón definitivo.

Durante la división de la cloaca, desarrollo del seno urogenital y diferenciación de la futura vejiga, la posición de los conductos mesonéfricos y uréteres se modifica sustancialmente. Las porciones caudales de los conductos mesonéfricos se incorporan gradualmente en la pared de la vejiga y en consecuencia, los

uréteres, que eran evaginaciones de dichos conductos, llegan a la vejiga por separado incorporándose igualmente en el espesor de la pared vesical.

En etapas ulteriores, los orificios ureterales se desplazan más en dirección craneal, y los conductos mesonéfricos se aproximan y dirigen caudalmente hasta desembocar en la porción pélvica del seno urogenital y por tanto en la uretra prostática del varón. En la mujer sufrirán atrofia posterior y en el varón se incorporarán como estructuras de su aparato genital.

Dado que los conductos mesonéfricos y uréteres tienen origen mesodérmico, la mucosa de la vejiga en la porción formada por la incorporación de estos conductos, el trigono vesical, es de origen mesodérmico. El resto de la vejiga, derivado del seno urogenital tiene origen endodérmico. Con el tiempo, el revestimiento mesodérmico de la zona trigonal es sustituido por epitelio endodérmico, de manera que, en definitiva, el interior de la vejiga queda revestido por completo por epitelio de origen endodérmico.

En la 12ª semana se pueden reconocer fácilmente todas las características de la vejiga y uretra del adulto.

De toda esta secuencia de hechos es fácil deducir que el músculo uretral y el detrusor vesical tienen el mismo origen, constituyendo una estructura ininterrumpida con las implicaciones fisiológicas posteriores que esto conlleva, especialmente en la mujer. En el varón, el desarrollo simultáneo de la glándula prostática a partir de evaginaciones de la primitiva uretra yuxtavesical complica la situación, aunque la organización estructural es, básicamente, la misma en ambos sexos.

ANATOMÍA VESICouretral

La vejiga urinaria, intercalada en un sistema excretor, permite la expulsión intermitente de una orina producida de forma continua por el riñón. Como cita J. Conde Andreu, cuando en un sistema tubular orgánico se intercala una dilatación, es para convertir una función continua en intermitente. La vejiga se comporta como un reservorio de capacidad fisiológica variable, entre 150 y 500 cc, con un promedio de 300-350 cc. Testut describe la capacidad de almacenaje de la vejiga de cadáver, sin provocar rotura, mediante instilación de hasta 1000-1500 cc de líquido. En situaciones patológicas, la distensión máxima puede alcanzar varios litros antes de provocar su ruptura.

De morfología globulosa en plenitud, es capaz de replegarse sobre sí misma tras su vaciamiento, adquiriendo raramente forma esferoidal en estado de reposo. Se sitúa sobre el suelo pélvico detrás del pubis y delante del recto y vesículas seminales en el varón y del eje útero vaginal en la mujer. En el niño su situación es más alta en referencia a la sínfisis del pubis.

Su posición se mantiene mediante tractos fibrosos y fascículos musculares. Desde el pubis, los ligamentos pubovesicales, denominados puboprostáticos en el varón. Desde el sacro hay fijaciones hasta la cara posterior de la vejiga, saltando el recto. El ligamento umbilical medio, derivado del uraco, y los ligamentos umbilicales laterales derivados de los vasos obliterados, ayudan a la fijación superior. Su límite inferior se relaciona con el espacio prostático, y el cuello vesical, atrapado por la próstata, ayuda a su fijación; por delante se sitúa el espacio de Retzius; los espacios látero-vesicales, el eje genital femenino y las vías genitales del varón terminan de configurar las relaciones de la vejiga en la cavidad pélvica. El peritoneo recubre su cara superior en el varón, descendiendo de forma leve por su cara posterior en la mujer (Fig. 2).

Procedentes de la arteria ilíaca interna, las arterias vesicales, superior e inferior representan el aporte sanguíneo a la vejiga, existiendo también de forma muy inconstante, ramas derivadas de las arterias obturatriz y glútea inferior y de la arteria uterina en la mujer. El drenaje venoso forma un plexo en la

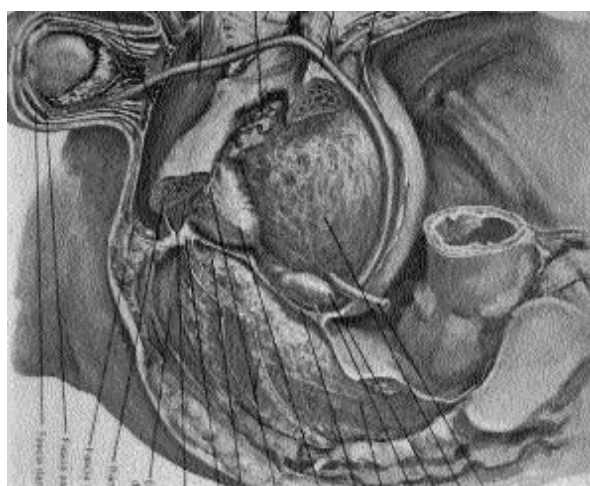


Figura 2.

base vesical que termina en la vena hipogástrica. El drenaje linfático originado en la submucosa drena en los grupos ganglionares pre, látero y retrovesicales y desde allí a los hipogástricos, ilíacos primitivos y de la bifurcación aórtica.

Sin olvidar la anatomía descriptiva, el estudio de la anatomía funcional permite un mejor conocimiento de los mecanismos implicados en la micción voluntaria y en la continencia así como de las afecciones del tracto urinario inferior relacionadas con estos mecanismos. En este sentido el estudio de la anatomía muscular y neuroanatomía son imprescindibles.

ANATOMÍA MUSCULAR

Existen una serie de conceptos básicos en el estudio de la anatomía muscular del tracto urinario inferior:

1. La continuidad de la muscular desde la porción distal de los uréteres para formar el trigono vesical y alcanzar la pared dorsal de la uretra.

2. Los haces musculares del detrusor se entrecruzan sin determinar una distribución en capas.

3. La identificación de una vaina vesical alrededor de la porción distal del uréter que ha dado paso al concepto de vaina ureteral dual.

- 4 El concepto de rabdoesfinter como elemento integrante del músculo estriado integrante de la pared de la uretra.

CUERPO Y BASE VESICAL

La división funcional anteriormente aceptada de trigono y detrusor completo, ha sido sustituida, en base a diferencias locales en la innervación adrenérgica, por una división en

dos elementos: cuerpo y base, aceptándose éste en la actualidad como una noción fundamental en la fisiología de la micción (Fig. 3). La base vesical se encuentra por debajo de la desembocadura de los uréteres continuándose proximalmente con las vainas periureterales y distalmente con la muscular uretral a través de la unión vésicouretral, sin que exista ninguna zona diferenciable anatómicamente con el cuerpo vesical, que se encuentra en posición craneal.

La musculatura del cuerpo, distensible, se organiza en forma de haces que se ramifican y reagrupan continuamente, cambian de dirección y profundidad y se entrecruzan y entrelazan ampliamente entre sí, sin formar capas determinadas, permitiendo una contracción, al unísono, tridimensional, que permite bombear la orina en la fase de evacuación (Fig. 4)

Conforme nos aproximamos a la base, los haces musculares del cuerpo se reorganizan en forma de asas, anillos o lazadas. Esta distribución afecta a todas las capas de la base y no de forma exclusiva a su cara dorsomedial (localización del trigono) denominada con más propiedad como detrusor del trigono. Durante la fase de continencia, la base no es distensible, comportándose como una placa horizontal y fija (placa base o anillo del fundus), que se modifica en sentido vertical durante la micción, adoptando forma de embudo mediante la contracción del detrusor y permitiendo la apertura de salida. En este sentido, parece que la obstrucción que se asocia a la hiperplasia prostática es debida al impedimento mecánico para adoptar esta forma de embudo durante la micción.

UNIÓN URÉTEROVESICAL

Según el concepto antiguo, la porción muscular distal de ambos uréteres se despliega en

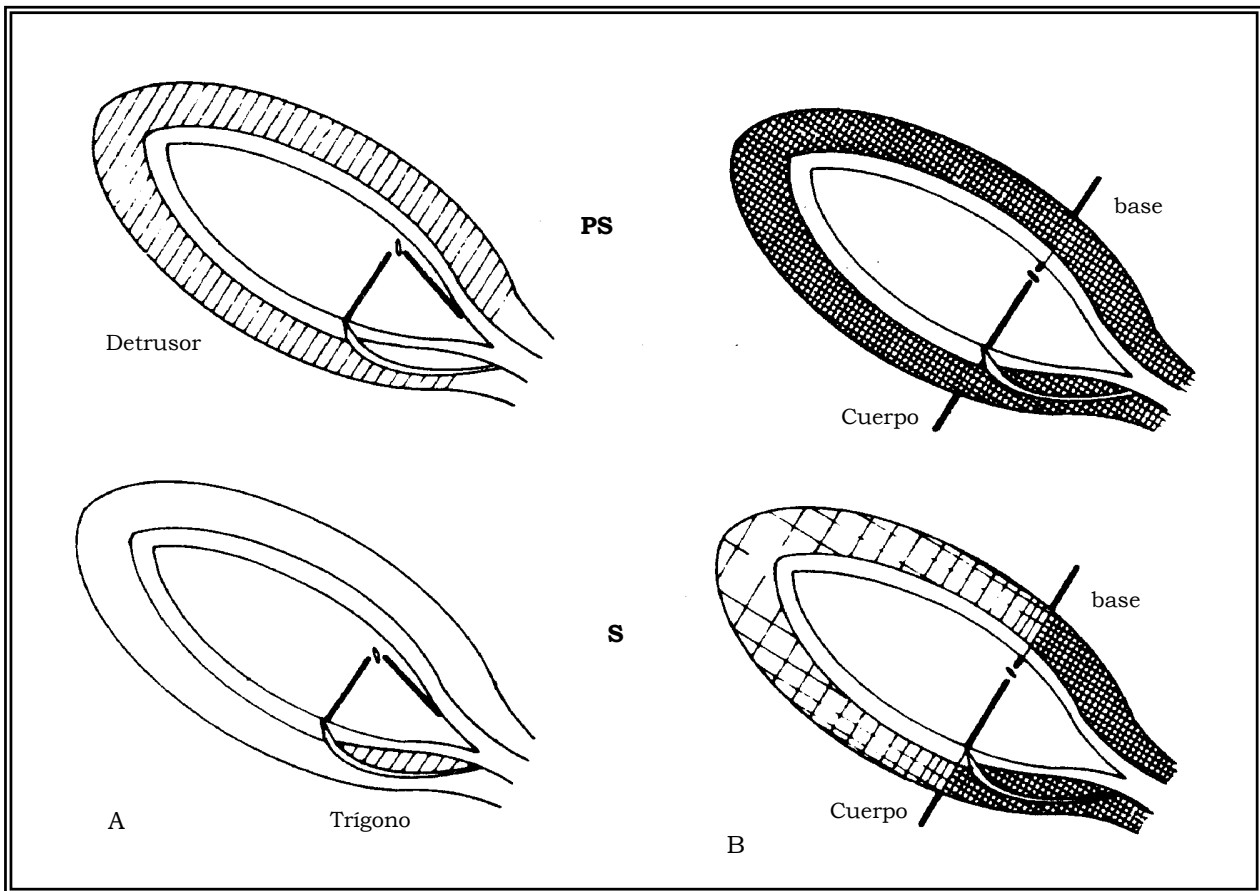


Figura 3. Concepto original del cuerpo y la base de la vejiga basado en la densidad de la innervación intrínseca en cuatro especies de mamíferos (B), confrontado con el primitivo concepto tradicional del detrusor completo frente al trigono (A). PS = parasimpático-colinérgico; S = simpático-adrenérgico.

forma de abanico hacia al trigono delimitando un área de forma triangular, el trigono superficial de la literatura antigua, que se extiende por la base del detrusor, disminuyendo de grosor y prolongándose en dirección caudal con la línea media dorsal del cuello vesical y de la uretra. La identificación de la vaina de Waldeyer ha dado lugar al concepto de doble vaina ureteral, donde las prolongaciones craneolaterales del detrusor se orientan longitudinalmente y en espiral rodeando como una vaina la porción distal del uréter, a lo que contribuye la propia muscular ureteral. Al ser una prolongación del detrusor, su contracción pro-

voca la tracción de esta vaina ureteral, lo que determina el mecanismo antirreflujo vésicoureteral. En función de este hecho se creó el concepto de uréter neurogénico, destinado a explicar el reflujo que aparece en los trastornos neuropáticos de la vejiga.

De todo lo expuesto anteriormente se deduce que el trigón ha perdido su papel como controlador de la continencia urinaria en favor del cuello vesical y de la competencia de las uniones uréterovesicales, quedando relegada su función a mero mecanismo de fijación de ambos uréteres.

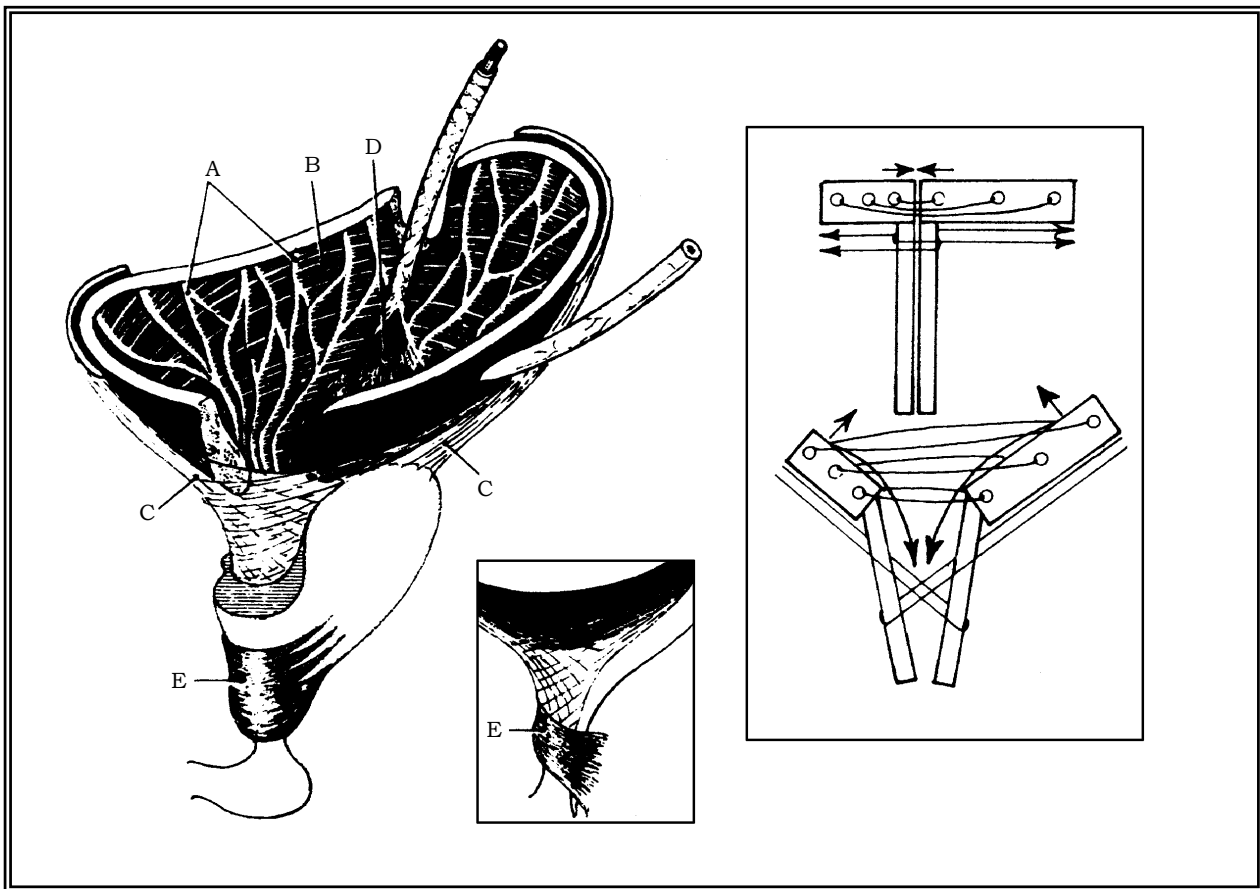


Figura 4. Anatomía funcional de la base de la vejiga y de la musculatura del tracto de salida vesical “esfinteriano”: punto de vista admitido. A = haces internos longitudinales de la base del detrusor extendiéndose hasta la uretra; B = haces intermedios, orientados circularmente sobre todo, formando el armazón de la base del detrusor; C = haces externos longitudinales anteriores y posteriores que se extienden oblicuamente hasta la uretra; D = músculo del trigono (“trigono superficial” de la antigua literatura formado por fibras mezcladas y dispuestas en abanico de la muscularis de la porción distal de los uréteres); E = rabdoesfínter del varón y la mujer (recuadro intermedio). En el recuadro de la derecha se ha dibujado la placa base aplanada que mantiene el cierre (arriba) y la placa en forma de embudo abriendo el cuello de la vejiga durante la micción (abajo).

ESFÍNTER DE MÚSCULO LISO

La continuidad anatómica de la base del detrusor y de la muscularis uretral, constituyendo una unidad funcional, representa un hecho fundamental en el mecanismo de la continencia tanto en el hombre como en la mujer. Junto a este extremo, hay unanimidad en considerar que no existe ningún esfínter de fibra lisa diferenciado en el verdadero sentido anatómico, sino más bien un mecanismo esfinteriano

en el que participan la musculatura de la base de la vejiga, la unión vésicoureteral y la uretra proximal. El esfínter estriado, otros elementos estructurales de los órganos, el soporte anatómico y las propiedades biomecánicas propias de la uretra, complementan el mecanismo de la continencia. En este sentido algunos autores han descrito un mecanismo esfinteriano proximal y otro distal, representados en el varón por la muscular uretral preprostática y prostática,

en relación craneal y caudal con el veru montanum, y en la mujer por los dos tercios proximales y el tercio distal de la uretra respectivamente.

La base de la vejiga, las vainas periureterales y la muscularis uretral incluidas en una unidad basada en la continuidad anatómica de estas estructuras y en la doble inervación similar, tanto adrenérgica como colinérgica, de sus elementos musculares, ha dado lugar al concepto de esfínter liso urinario implicado tanto en la continencia como en la competencia de la unión uréterovesical en el momento de la micción.

MUSCULATURA DE LA URETRA

Las prolongaciones caudales de la base del detrusor representan la muscularis uretral. Llegan formando capas casi separadas de fibras de disposición longitudinal y circular, que cambian con frecuencia de orientación para formar muchos haces que conectan con haces de disposición oblicua. Las fibras circulares han sido consideradas como verdaderas espirales que forman el núcleo de la uretra esfinteriana del varón. El extremo afilado y caudal del músculo del triángulo se continua en forma de una banda estrecha por la cara interna de la línea media dorsal de la uretra hasta el veru montanum en el varón, y a breve distancia del cuello vesical en la mujer.

En el varón estas fibras musculares se ven rechazadas periféricamente por el desarrollo de la glándula prostática entrando a formar parte de las fibras musculares de la cápsula prostática, y en la línea media ventral se localizan en la comisura anterior (antes lóbulo anterior) que es de predominio fibromuscular y que, o bien carece de elementos glandulares o éstos son vestigiales.

ESFÍNTER ESTRIADO

Las fibras circulares de músculo estriado que rodean a la uretra prostática han sido descritas clásicamente como una parte del llamado diafragma urogenital configurando el término de esfínter externo, aludiendo a una disposición más distal que la del esfínter interno. Hay que reseñar que hay muchos autores que no comparten la idea tradicional del diafragma urogenital. En este sentido, los defensores del mecanismo esfinteriano doble, proximal y distal, reconocen la existencia de unas fibras estriadas que se integran en el mecanismo esfinteriano distal. Se acepta actualmente la presencia de un rabdoesfínter como integrante de la muscular uretral, en ambos sexos, separado e independiente del resto de la musculatura del suelo de la pelvis. Se encuentra por fuera de la muscularis uretral e íntimamente unido a ella. En el varón es más voluminoso, más desarrollado y mejor delimitable que en la mujer. Es más denso en la cara ventral que en la dorsal y algunos autores han descrito su prolongación hasta el veru montanum en el varón y a lo largo de toda la uretra en la mujer.

En la mujer es más denso en su tercio medio, adoptando disposición oblicua ascendiendo hasta casi el cuello vesical por su cara ventral, y distalmente abrazando las caras lateral y ventral de la uretra para adherirse a las paredes vaginales.

En el varón, la disposición es más compleja, asociándose en parte a la uretra membranosa y en parte a la cápsula prostática. Adopta forma de herradura con un área dorsal con menor densidad de miofibrillas. Parte de estas fibras se disponen rodeando la cápsula prostática y, según algunos autores, entrando a formar parte de la propia estructura capsular, avanzando cranealmente hasta perderse en las proximidades del cuello vesical.

NEUROANATOMÍA

El tracto urinario inferior tiene una inervación simpática y parasimpática y en el género humano, con control voluntario sobre la micción, se añade una influencia somática.

La coordinación funcional de la compleja estructura anatómica del aparato urinario inferior se obtiene por un sistema nervioso igualmente complejo, con una vía aferente y otra eferente conducidas por vías periféricas y centrales. La inervación eferente proviene de núcleos de la médula espinal con posteriores estaciones ganglionares de recambio. Existen varios centros cerebrales que regulan los impulsos de estos centros espinales. La inervación aferente circula por las mismas vías periféricas hasta la médula, para posteriormente ascender por haces espinocéfálicos a los núcleos y áreas centrales.

Tanto la vejiga como la uretra tienen sensibilidad exteroceptiva y propioceptiva, originadas en receptores de tensión, longitud y volumen que se estimulan por la contracción y distensión del detrusor, la uretra y los músculos perineales. La mucosa vesical percibe el dolor y la uretra el dolor, la temperatura y el tacto. Para una mejor comprensión del mecanismo de regulación nerviosa del tracto urinario inferior vamos a diferenciar tres apartados: vías periféricas, vías centrales y núcleos superiores (Fig. 5)

VÍAS PERIFÉRICAS

El detrusor, el músculo uretrotrigonal y la muscular uretral están inervados por ramas nerviosas del plexo pélvico, que se encuentra en la profundidad de la pelvis y está formado por una mezcla de las ramificaciones del nervio pélvico, de naturaleza parasimpática, y el nervio hipogástrico, simpático. El nervio pélvi-

co está integrado por 3 ó 4 troncos que envían ramas eferentes desde el núcleo del parasimpático situado en la columna intermediolateral de la sustancia gris medular sacra, de los segmentos S2 – S4.

El núcleo simpático, situado en la columna intermediolateral de la sustancia gris de los segmentos dorsolumbares D10 – D12, emite ramas eferentes que se dirigen a través de los ganglios de la cadena simpática hasta el plexo preaórtico hipogástrico superior, que, caudalmente, se subdivide dando origen al nervio hipogástrico, que más que un tronco es una red delgada de ramificaciones.

Los elementos eferentes de ambos nervios se recambian, aunque no todas las fibras nerviosas, en una placa formada por varios ganglios conocida como ganglio hipogástrico, del que saldrán fibras postganglionares pélvicas e hipogástricas. Las fibras nerviosas que no sufrieron intercambio en el ganglio hipogástrico, también discurren en conjunto con las anteriormente descritas y hacen su sinapsis en ganglios distribuidos en la superficie y en el interior de los órganos inervados.

En el asta anterior de algunos segmentos de la médula sacra se encuentran las neuronas motoras que dan origen a la inervación somática del esfínter externo, originando el núcleo de Onuf. Los axones de estas neuronas se incorporarán a los nervios pudendos que inervan la musculatura estriada pélvica y el esfínter externo, aunque hay autores como Gil-Vernet que describen una inervación exclusiva vegetativa del rabdoesfínter. Otros, por el contrario, defienden la teoría de la triple inervación (somatomotora más autonómica doble) sin que se haya podido establecer, hasta ahora, el componente colinérgico-parasimpático en el ser humano. En otro sentido se ha estipulado que el rabdoesfínter puede ser origen de impulsos aferentes, pero aún no se ha

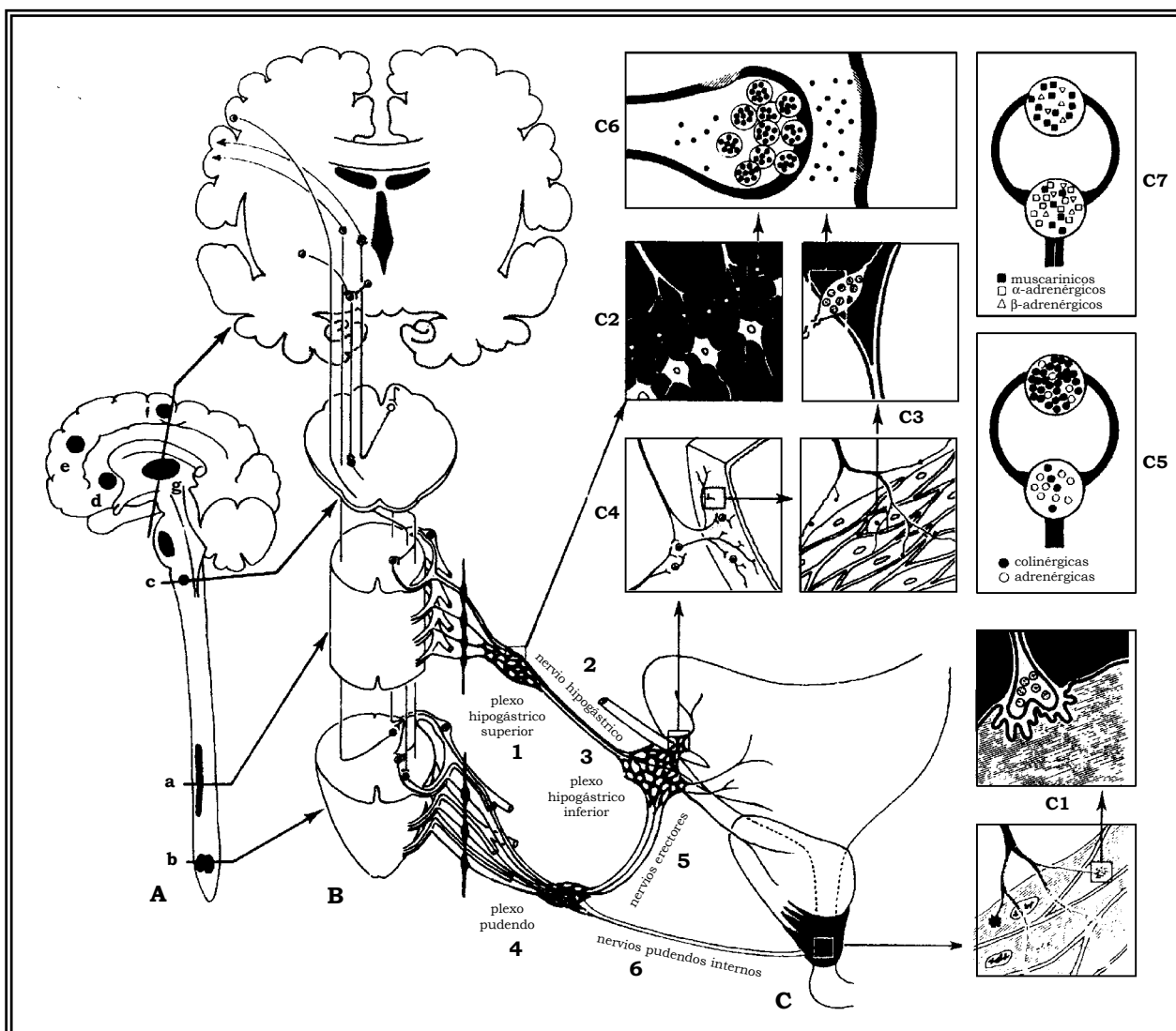


Figura 5. Esquema de la inervación del tracto urinario inferior.

demostrado su existencia, ya que el esfínter externo carece de husos musculares que son los responsables de los impulsos aferentes de los músculos estriados.

Las vías aferentes que parten de la vejiga y la uretra discurren por las ramificaciones del plexo pélvico y llegan por el nervio pélvico y el hipogástrico, sin hacer sinapsis intermedias, hasta los ganglios de las raíces dorsales de la médula, para luego ascender a núcleos supe-

riores. Los nervios pudendos son portadores también de fibras aferentes con información derivada del acto de la micción.

VÍAS CENTRALES

Las vías centrales básicamente son aferentes, encargadas de conducir impulsos nerviosos exteroceptivos y propioceptivos a núcleos centrales, y hay también vías eferentes de regulación y control miccional.

Como vías aferentes tenemos los cordones posteriores, y los haces espinotalámicos y espinotalámicos cruzados, ambos situados en las columnas laterales de la médula.

Los cordones posteriores conducen impulsos derivados de:

- La distensión vesical, como sensación abdominal asociada a vejiga llena, conducida por fibras que discurren por los nervios pélvico e hipogástrico.

- La micción inminente, sensación de origen uretral que es conducida por fibras aferentes de los nervios pudendos hasta la porción sacra de las columnas laterales.

- La sensación de orina pasando se transmite por vías aferentes del nervio pudendo hasta la columna posterior.

Los haces espinotalámicos conducen impulsos derivados de:

- La sensación de deseo miccional; es vehiculizada por los nervios pélvicos hasta el centro sacro medular.

- La sensación de orina en la uretra es llevada por los nervios pélvicos a estos haces.

Los haces espinotalámicos cruzados llevan impulsos derivados de:

- Impulsos exteroceptivos derivados de la uretra y el trigono, conducidos por los nervios pélvicos al centro de la micción, y derivados del resto de la vejiga, conducidos por el nervio hipogástrico al centro toracolumbar, y desde allí a los citados haces.

Los cordones posteriores descritos y los haces espinotalámicos, constituyen el denominado vago pélvico que alcanza el bulbo en su núcleo paraalar y de allí asciende por el haz paraalotalámico hasta el tálamo. Por otro lado, los nervios periféricos alcanzan en la médula el haz sacrobulbar que se convierte en el haz espino-

bulbar y, haciendo sinapsis en el núcleo yuxtatosolitario del bulbo, alcanza el tálamo a través del haz yuxtatosolitario. Ambas vías terminan en el núcleo ventral pósterolateral del tálamo.

Los haces espinales eferentes son:

- El tracto reticuloespinal lateral que es facilitador para el detrusor y ligeramente inhibidor para el esfínter externo y se origina en núcleos del mesencéfalo, puente y bulbo.

- El tracto reticuloespinal ventral que es inhibidor para el detrusor y se origina en la formación reticular medial bulbar y termina en el centro miccional sacro.

- El tracto reticuloespinal medial que se origina en la formación reticular pontina y en el núcleo pontino del esfínter para terminar en el núcleo sacro del esfínter.

NÚCLEOS O CENTROS SUPERIORES

A nivel supraespinal, la función vésicouretral se realiza mediante mecanismos facilitadores, localizados en el hipotálamo posterior y en el puente, y mediante áreas inhibitoras, localizadas a nivel transhipotalámico y en cerebro medio.

En sentido descendente se encuentran en:

- a) Córtex cerebral, con un área vésicoconstrictora localizada en el lóbulo paracentral (porción anterior de la circunvolución post y precentral) y áreas inhibitoras localizadas en la porción media de la corteza frontal anterior y en la circunvolución cingulada anterior que rodean la rodilla del cuerpo calloso.

- b) El cerebelo, cuyo papel es desconocido, teniendo el núcleo fastigial, probablemente de acción constrictora sobre el detrusor.

- c) Los ganglios de la base, de acción inhibitoria y con neuronas en el núcleo caudado, núcleo lentiforme, putamen, globus palidus, cuerpo de Luys, sustancia negra y núcleo rojo.

d) A nivel del lóbulo límbico, o cerebro visceral, se encuentra el área de la micción inducida emocionalmente.

e) En el mesencéfalo hay áreas véscicoconstrictoras y relajantes, estas últimas cercanas al tubérculo cuadrigémico inferior.

f) En la protuberancia existen igualmente áreas relajantes en la formación reticular, y áreas véscicoconstrictoras en el núcleo rostral pontino del detrusor.

g) El bulbo posee áreas constrictoras en la formación reticular dorsolateral y en el núcleo lateral bulbar, y zonas véscico-relajantes en la formación reticular dorsomedial.

Todas estas formaciones centrales emiten su información descendente a través de los haces reticuloespinales hasta el centro miccional sacro descrito por Budge, en los segmentos S2 – S4, aunque Larruelle lo localiza en la columna de torsade, en el borde anteromedial del asta anterior, llegando hasta el núcleo simpático D10 – D12 – L2, y hasta el núcleo somático sacro situado en el asta anterior de los segmentos S2 – S4.

NEUROFISIOLOGÍA DE LA MICCIÓN

Sentadas las bases anatómicas funcionales del tracto urinario inferior, el siguiente paso debe ser el estudio de cómo estas vías nerviosas se integran en un conjunto que garantiza el correcto funcionamiento de este sistema cuyo último fin es el almacenamiento de la orina y el acto voluntario de la micción.

La característica que distingue a la regulación autonómica del tracto urinario inferior del de otras vísceras es la doble función de la vejiga, como reservorio y con capacidad de vaciamiento; esto hace que muchos de los circuitos que controlan la micción funcionen como un

conmutador bifásico y que el control voluntario de la función de la vejiga y la uretra requiera la participación de un centro superior cortical.

Conforme la vejiga se llena de orina, los impulsos aferentes de la vejiga que se transmiten por las neuronas mecanoceptoras desencadenan el reflejo de la micción, produciendo una contracción de la vejiga junto a una disminución recíproca de la resistencia uretral o del tracto de salida. Estas fibras aferentes se excitan con presiones intravesicales de menos de 15 – 20 cm de agua, siendo la velocidad de conducción entre 1.2 y 30 m/seg, lo que corresponde a fibras A delta ligeramente mielinizadas. Estas fibras aferentes que circulan por el nervio pélvico establecen sinapsis con las neuronas de la médula sacra que emitirán sus axones hacia la protuberancia. Cuando se estimula la zona dorsomedial de la protuberancia se produce una contracción vesical y se inhibe el esfínter externo uretral.

En animales de experimentación se ha visto que estos estímulos aferentes no son esenciales para la micción, y que el estímulo en la protuberancia produce una contracción del detrusor pero disminuida, funcionando los impulsos aferentes como potenciadores o refuerzo una vez iniciado el reflejo de la micción.

Las aferencias uretrales también influyen en el reflejo de la micción, produciéndose por el paso de la orina a través de la uretra, influyendo en la contracción del detrusor.

Además del reflejo de la micción que controla la contracción del detrusor, existen otros reflejos. Las fibras eferentes pudendas del núcleo de Onuf, permanecen silentes durante la micción (silencio electromiográfico del esfínter externo y musculatura pélvica). La zona dorsomedial de la protuberancia manda impulsos inhibitorios a este núcleo. Las cola-

terales de los axones de las neuronas preganglionares sacras llegan al núcleo de Onuf, de forma que la excitación de estas neuronas a nivel vesical inhibe las motoneuronas por hiperpolarización de estas células. Por otro lado, ciertas aferencias pudendas también hiperpolarizan estas motoneuronas inhibiéndolas. Por último, las proyecciones protuberanciales y los axones preganglionares pueden establecer sinapsis con neuronas reguladoras de las motoneuronas del esfínter.

Antes de la evacuación, la musculatura lisa de la uretra se relaja. Las fibras parasimpáticas del nervio pélvico parecen intervenir en la relajación del tracto de salida de la vejiga (la estimulación eléctrica de las raíces del nervio sacro disminuye la resistencia uretral incluso cuando hay parálisis de la musculatura estriada). Es probable que los impulsos aferentes de la vejiga desencadenen un reflejo uretral mediado por el nervio pélvico y que la liberación de óxido nítrico por los nervios uretrales sea la responsable de la relajación uretral.

MECANISMOS DE CONTINENCIA URINARIA (Tabla 1)

Las estructuras anatómicas del periné constituyen el soporte físico que garantiza la continencia urinaria. El diafragma pélvico constituido por la fascia endopélvica y el complejo muscular elevador del ano (músculos pubocóxigeo, iliocóxigeo e isquicóxigeo) supone el primer elemento. El músculo elevador del ano, a través de sus inserciones óseas y en las paredes laterales de la vagina y en el ano, mantiene una estrecha relación con la uretra, de manera que, su contracción, tanto voluntaria como refleja durante el esfuerzo, contribuye al cierre uretral. La fascia endopélvica se diferencia a nivel del cuello vesical y la uretra, en dos estructuras llamadas ligamentos pubouretra-

TABLA I

Resumen de los factores que intervienen en el mecanismo de la continencia según diversos autores

CONTINENCIA DEL CONDUCTO URINARIO	
FACTORES PRIMARIOS, intrínsecos	
1. En el cuello de la vejiga	Músculo liso de la UVU
2. En la uretra	Mucularis lisa Rabdoesfínter Vasos sanguíneos de la submucosa Elementos tisulares fibro o elásticos
3. En el cuello vesical y uretra	Mecanismos nerviosos
FACTORES COADYUVANTES, extrínsecos	
1. En el cuello de la vejiga	Transmisión de la presión intraabdominal
2. A lo largo de la uretra	Musculatura del suelo de la pelvis Relaciones y sostén anatómico
DEFORMABILIDAD, intrínseca y extrínseca	
De la mucosa (mullido interno)	
Vasos submucosos (efecto de colchón)	

les posteriores que, originados en la cara posteroinferior del pubis, dan lugar a tres fascículos con inserciones diferentes: uno se fija en el tejido parauretral del tercio medio de la uretra, otro se fusiona con la fascia del elevador del ano constituyendo lo que Raz denomina ligamentos uretropélvicos y que proporcionan la sujeción más firme de la uretra al diafragma pélvico, y el tercero forma el ligamento intermedio que se une al ligamento pubouretral anterior o prolongación del ligamento suspensorio del clítoris. Actualmente se considera que los ligamentos pubouretrales son piezas

claves en la continencia urinaria, al mantener la uretra proximal por encima del diafragma urogenital, dentro del área de transmisión de las presiones intraabdominales.

El diafragma urogenital cierra el hiato genital de los elevadores y separa la cavidad abdominal del periné, que se encuentra fuera de la acción de las presiones intraabdominales. Está formado por una fascia superior, una fascia inferior o membrana perineal, con escasa función de soporte, y una capa muscular estriada intermedia, con fibras que se dirigen desde las ramas isquiopúbicas hasta la uretra, rodeándola y dirigiéndose hacia las caras lateral y posterior de la vagina, y con fibras entre uretra y vagina. De esta forma el concepto clásico de músculo transverso profundo queda obsoleto, al no existir tal estructura muscular individualizada.

Como continuación de la fascia del elevador del ano se encuentra la fascia pubocervical que, en ambos lados de la línea media, se dirige desde el pubis hasta el cervix pasando por la cara posterior de la uretra y la vejiga quedando un pequeño hiato entre ambos lados que aumenta al producirse un prolapso genital y desplazarse lateralmente estas dos fascias. Por delante se continua con la fascia periuretral y posteriormente se fusiona con las prolongaciones anteriores de los ligamentos cardinales, que fijan el útero a la pared pélvica.

La incontinencia se produce cuando la presión vesical, dependiente de la presión del detrusor, presión hidrostática de la orina y presión intraabdominal transmitida, supera la presión uretral que depende de la presión uretral de cierre en reposo y la presión intraabdominal transmitida a la uretra.

En reposo, la uretra se encuentra colapsada gracias a la tensión superficial originada por las secreciones uretrales, la plasticidad de los

pliegues uretrales y el tono de las fibras musculares lisas del cuello y de la uretra proximal. Para Raz, las anastomosis arteriovenosas del plexo submucoso uretral serían un segundo factor para mantener la presión uretral de cierre. Como hemos referido anteriormente, el concepto de esfínter liso no se acepta actualmente, sin embargo, las fibras musculares lisas prolongadas desde el detrusor ayudarían a mantener la presión de cierre. En último lugar, el rabdoesfínter, en su porción dependiente del nervio pélvico, sería capaz de mantener su tono durante largos periodos de tiempo, pero como se ha demostrado mediante anestesia de los nervios pudendos, es incapaz de mantener la continencia por sí sólo, sobre todo en situaciones de esfuerzo, donde precisa verse complementado por la acción de fibras estriadas de acción rápida, corta e intensa situadas en el diafragma urogenital, dispuesto como hemos visto, en torno a la parte distal de la uretra.

Por lo tanto, en reposo actúa la presión uretral de cierre y en esfuerzo, la contracción refleja de la musculatura periuretral y la transmisión de presiones. Esta transmisión puede ser pasiva, de forma directa a la uretra, de modo que aumenta la presión uretral en la misma medida en que aumenta la presión intraabdominal, para lo que es necesario que tanto la uretra como la base vesical se encuentren dentro de la cavidad abdominal, por encima del diafragma urogenital. Por otro lado, existe una transmisión activa de presiones, del músculo elevador del ano, que al contraerse fija la uretra de forma intraabdominal y permite la transmisión pasiva de presiones durante el esfuerzo, y de la musculatura estriada periuretral, que proporciona, según diferentes autores, presiones superiores a las originadas por transmisión pasiva.

Como hemos visto, durante el reposo, y en especial durante el esfuerzo, se producen una serie de reflejos con integración nerviosa compleja. El objetivo final de estos reflejos de acumulación urinaria son, en definitiva, el mantenimiento de una presión baja del detrusor, la ausencia de contracciones involuntarias y el logro de unas presiones uretrales máximas. La capacidad de acomodación vesical no sólo depende de las características elásticas de la vejiga sino también de los impulsos nerviosos sacros, ya que la administración intratecal de fármacos altera esta propiedad. Por otro lado, la continencia se mantiene por inhibición de impulsos eferentes parasimpáticos y estimulación de los eferentes simpáticos y somáticos.

El llenado vesical estimula las vías que por el nervio pélvico llegan hasta el asta dorsal de la médula sacra. En la médula, una vía intersegmentaria conduce los estímulos hasta la médula toracolumbar, estimulando las fibras simpáticas preganglionares. Este estímulo se transmite por el nervio hipogástrico y provoca, estimulando la base vesical y la uretra, aumento de resistencia en el tracto de salida vesical. No obstante, la importancia de la inervación simpática está a debate, ya que la simpatectomía no produce efectos apreciables sobre la acomodación y los pacientes con déficit de B-hidroxilasa de dopamina orinan perfectamente.

No existe total conocimiento sobre los centros supraespinales. Puede existir en la región dorsal de la protuberancia un centro de la acomodación (su lesión produce incontinencia), y sus impulsos estimularían las neuronas pudendas aumentando la resistencia de salida.

Existen reflejos que provienen del útero y de la vagina e inhiben las fibras sacras preganglionares que llegan a la vejiga, explicando por

qué el estímulo eléctrico de la vagina es útil en el tratamiento de la inestabilidad del detrusor. Existe, además, un reflejo de contención donde los estímulos aferentes derivados de las relaciones de la vejiga con el suelo pélvico producen una retroalimentación positiva sobre el núcleo de Onuf.

Las neuronas del esfínter externo tienen descargas tónicas que aumentan durante el llenado. El área motora de la corteza cerebral también manda estímulos al esfínter externo ya que es posible interrumpir voluntariamente la micción o aumentar la capacidad de reservorio vesical.

Los mecanismos periféricos también influyen modulando los impulsos parasimpáticos que modulan la vejiga. Una estimulación simpática intensa provoca un estímulo en los receptores adrenérgicos situados en las células del ganglio parasimpático, bloqueando la transmisión de los impulsos colinérgicos. Los mecanismos del ATP, GABA, 5-HT, encefalinas y taquicinas también bloquean los impulsos colinérgicos, haciendo que los ganglios parasimpáticos funcionen como filtros de alto nivel, y los receptores presinápticos muscarínicos tipo 2 favorecen su liberación. Finalmente, factores locales como las endotelinas pueden disminuir la transmisión ganglionar de los impulsos en los ganglios pélvicos.

BIBLIOGRAFÍA

- Buzelin JM. Fisiología vesicoesfinteriana. En *Urodynamique, Bas Appareil Urinaire*. Paris, Mason; 1984: 19-39.
- Chai TC, Steers WD. Neurofisiología de la micción y la continencia. *Clínicas de Urología de Norteamérica: Urodinamia I*. 1996: 235-244.
- Elbadawi A. Anatomía Funcional de los Organos de la Micción. *Clínicas de Urología de Norteamérica: Urodinamia I*. 1996:191-224.

- Elbadawi A, et al. Trilaminar Musculature of the Submucosal ureter. *Anatomy and Functional Implications*. *Urology* 2, 1973: 409-417.
- Elbadawi A, Schenk EA. A new theory of the innervation of bladder musculature. *J Urol* 106; 1971: 372-374.
- Gallego Gómez J, Martínez Agulló E. Fisiología vesicouretral. En *Tratado de Urología*. J.R. Prous Editores; 1993: 69-84.
- Hunter WT. A new concept of the urinary bladder musculature. *J Urol*.71: 1954: 695-704.
- Langman J. *Embriología Especial: Aparato urinario*. *Embriología médica* 3ª ed. The Williams and Wilkins Company Ed. 1976: 147-152.
- Manley CB. The striated muscle of the prostate. *J Urol* 95; 1966: 234-240.
- Resnick NM, Subbarao V. Yalla. Evaluation and Medical Management of Urinary Incontinence. *Campbell's Urology* 6th ed. Patrick C. Walsh et al.; 1992: 643-644.
- Rouviere H. *Anatomía Humana y Descriptiva*. Ed. Bailly-Bailliere.;1976:409-419, 425-426.
- Sarrat R. Anatomía del aparato urogenital. En *Tratado de Urología*. J. R. Prous Editores;1993: 26-31.
- Soler Roselló A, Vila Barja J, Reig Ruiz J. Incontinencia urinaria femenina. En *Tratado de Urología*. J.R. Prous Editores; 1993: 1664-1668.
- Steers WD. Physiology of the Urinary Bladder. *Campbell's Urology* 6th ed. Patrick C. Walsh et al.; 1992: 142-166.
- Steers WD et al. The effects of acute bolus and continuous intrathecal baclofen on genitourinary dysfunction in patients with disorders of the spinal cord. *J Urol* 148; 1992: 1849-1855.
- Tanagho EA. Anatomy of the Lower Urinary Tract. *Campbell's Urology* 6th ed. Patrick C. Walsh et al.; 1992: 40-64.
- Vodusek DB. et al. Detrusor inhibition induced by stimulation of pudendal nerve afferents. *Neurourol Urodyn* 5; 1986: 381-389.
- Woodbourne RT. Anatomy of the ureterovesical junction. *J Urol* 92; 1964: 845-89.