الفصل الثاني

البنية الأساسية للسبيل البولي السفلي، ووظيفتها، والتحكم فيها

مقدمة

يتكون السبيل البولي من قسمين مميزين يعتمدان على بعضها البعض:

- **الجهاز العلوي**: ويتكون من الكلى والحالب.
- **الجهاز السفلي**: ويتكون من المثانة والإحليل.

يوفر هذان القسمان منظومة متطورة للغاية من القنوات مع مخزن، وتقوم هذه المنظومة بتحويل الإنتاج المستمر الذاتي للبول من الكليتين إلى إفراغ إرادي (على فترات) متقطع ومسيطر عليه (التبول في الوقت والمكان المناسب).

ويعتبر الفهم الدقيق لبنية السبيل البولي السفلي، ووظيفته، وطريقة التحكم فيه أمراً حيوياً لتحليل وتفسير فحوصات حركية الجهاز البولي.

الكُلى والحالبان

تقوم كلتا الكيتين – عندما تعملان بشكل صحيح ويتم ترويتهما على نحو كاف – بإنتاج مقدار من البول بشكل مستمر يتجاوز ٠.٥ مل لكل كيلوجرام من وزن

الجسم/ساعة (أي > ٣٥ مل في الساعة لشخص وزنه ٧٠ كجم). ويصب هذا البول في أجهزة تجميع البول في الكلى، ثم يتم إفراغه عن طريق الحالب.

يعمل الحالبان كقنوات ذات ضغط منخفض قابلة للتمدد مع الحركة الحووية الداخلية التي تنقل البول من الكلى إلى المثانة. ويتم إفراغ البول إلى المثانة عند الوصل المثاني الحالبي (VUJ) الموجود في نهاية كل حالب. وإذا كانت نقطة الوصل تعمل بشكل صحيح، فإنها ستسمح بجريان البول في اتجاه واحد فقط يتضمن آلية لمنع جزر البول من المثانة إلى الحالب. وتعمل هذه الآلية على حماية السبيل العلوي من الضغوط العالية التي تحدث داخل المثانة خلال إفراغ البول، كما تمنع الجراثيم المعدية من دخول السبيل العلوي.

المثانة

المثانة هي عضو عضلي أجوف، ولها وظيفتان رئيسيتان:

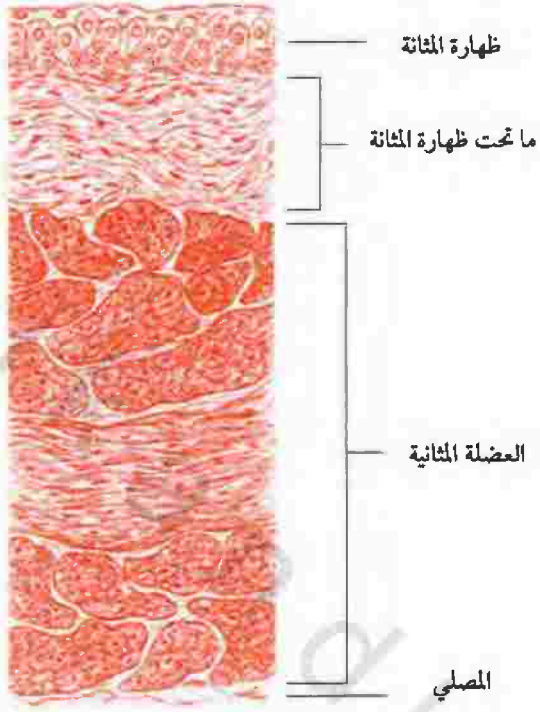
- تخزين البول تحت ضغط منخفض.
- طرد البول في الوقت والمكان المناسب.

من الناحية النسيجية العضوية، تتألف المثانة من ثلاث طبقات مميزة:

١- **الغشاء المصلي**: طبقة النسيج الضام المصلية الخارجية.

٢- **العضلة المثانية**: طبقة وسطى من العضلات الملساء، تشكل مجموعة خلايا ملتحمة وظيفية من حزم العضلات المتشابكة، مع ألياف تسير في كل الاتجاهات.

٣- **ظهارة المثانة**: وهي أعمق بطانة مكونة من الخلايا الظهارية الانتقالية التي توفر حاجزاً مرناً غير مخرج للبول، ولها معدل أيض مرتفع ودور مهم في التحكم في وظيفة المثانة (الشكل ٢,١).



ما تحت ظهارة المثانة	Suburothelium	ظهارة المثانة	Urothelium
المصلي	Serosa	العضلة المثانية	Detrusor

الشكل رقم (٢,١) بنية جدار المثانة. *يتكون جدار المثانة من ٤ طبقات متميزة، منها طبقتي ظهارة المثانة وما تحت ظهارة المثانة ذات معدل الأيض مرتفع النشاط.*

٤- طبقة ما تحت ظهارة المثانة: تقع مباشرة تحت ظهارة المثانة، وهي أيضاً ذات معدل أيض نشط للغاية، وتعمل بالتنسيق مع ظهارة المثانة، حيث تحتوي على التهابات العصبية الواردة.

تمتد قاعدة المثانة بشكل محيطي من فتحتي الحالبين. وتتضمن هذه منطقة المثلث المثاني، وهو مساحة عضلية ثلاثية صغيرة تقع بين فتحتي الحالبين وعنق المثانة. ويحتوي هذا المثلث المثاني على ضفيرة معقدة من الأعصاب. ويقع جسم المثانة فوق فتحتي الحالبين.

آلية عمل الإحليل والمعصرة

الإحليل له وظيفتان رئيسيتان هما:

١- توفير آلية فعالة للتحكم في البول في غالبية الوقت (مرحلة التخزين).

٢- السماح بإفراغ البول من المثانة بالقدر الكافي مع الحد الأدنى من المقاومة أثناء التبول (مرحلة الإفراغ).

وهناك دور آخر مرجح للإحليل – ولكنه لا يزال افتراضياً – وهو تأمين الإشارات العصبية الواردة، والتي قد يكون لها دور مهم في التأثير على وظيفة المثانة. وتنتظم الطبقة المخاطية العميقة في كلا الجنسين في طيات طولية، وتظهر خلال مرحلة التخزين، وعندما يكون الإحليل 'مغلقا' على هيئة نجمية عند أخذ مقطع عرضي لها. ويسمح هذا التكوين بحدوث تمدد جيد، وهو أمر ضروري خلال فتح الإحليل.

وتحتوي الطبقات تحت المخاطية على ضفيرة من الأوعية الدموية قد يكون لها علاقة في إحكام إغلاق "الإحليل المغلق" عن طريق نقل توتر عضلة الإحليل إلى الطيات المخاطية.

وبغض النظر عن الاختلافات التشريحية الواضحة، هناك اختلافات مهمة في آليات عمل المعصرة بين الرجال والإناث (الشكل ٢,٢).

ويبين الجدول (٢,١) الإحليل الذكري، والبروستات، وآلية عمل العضلتين القويتين العاصرتين لعنق المثانة في الذكر؛ مقارنة بآلية عمل المعصرة الداخلية الوحيدة الأضعف، مع عنق المثانة الأضعف، والإحليل الأقصر لدى الإناث.

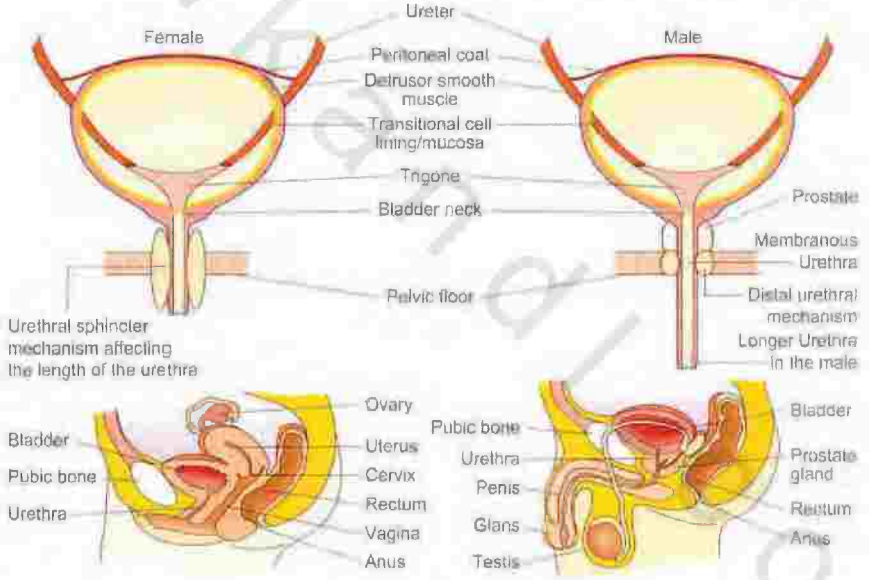
آلية عمل المعصرة لدى الرجال

هناك آليتان هامتان لعمل المعصرة لدى الرجال:

١- الآلية المعصرية القريبة لعنق المثانة – (معصرة ملساء).

٢- الآلية المعصرية للإحليل البعيدة عند ذروة البروستات – معصرة مخططة أو البعيدة).

توفر المعصرة القريبة في عنق المثانة لدى الرجال آلية قوية للمحافظة على الاستمساك وأيضاً لمنع قذف السائل المنوي إلى الخلف أثناء الجماع. وفي حالة المرضى الذين يعانون من تلف المعصرة الإحليلية البعيدة (على سبيل المثال، تمزق الإحليل الناتج عن كسر الحوض)، يمكن التحكم في عملية الاستمساك فقط من خلال آلية عنق المثانة القريبة. ومن ناحية التركيب النسيجي الدقيق، فهي تتكون من طبقة قوية داخلية من حزم العضلات المرتبة في اتجاه دائري.



Pubic bone	عظم العانة	Membranous Urethra	الإحليل الغشائي
Longer Urethra in the male	الإحليل أطول لدى الرجال	Distal urethral mechanism	آلية الإحليل البعيد
Bladder	المثانة	Anus	الشرج
Testis	الخصيتان	Ovary	المبيض
Uterus	الرحم	Cervix	عنق الرحم
Rectum	المستقيم	Vagina	المهبل
Glans	حشفة القضيب	Penis	القضيب

الشكل (٢,٢) تشريح السبيل البولي السفلي لدى كلا الجنسين.

الجدول (٢,١) مقارنة آلية عمل المعصرة لدى الرجال والإناث. *يظهر الجدول السبب في أن الإناث أكثر عرضة لضعف كفاءة آلية الإحليل، وأنهن أكثر عرضة للإصابة بسلس البول الناتج عن الإصابة بضعف المعصرة الداخلية.*

مقارنة آلية عمل المعصرة لدى الرجال والإناث		
	الرجال	الإناث
آلية عمل عنق المثانة القريب	قوية	ضعيفة
آلية عمل العضلة الإحليلية البعيدة/ المعصرة الإحليلية (لدى الإناث)	قوية	عرضة لتأثير مؤثرات خارجية مثل ضعف أرضية الحوض ووقوع تلف أو قطع الأعصاب الناتج عن الولادة
البروستات	زيادة إضافية في مقاومة مخرج المثانة	لا يوجد
الإحليل	طويل	قصير (~٣,٥ سم)

كما تمارس آلية المعصرة البعيدة دوراً كبيراً يتضح في قدرتها على الاستمساك، حتى عندما تكون آلية عنق المثانة القريبة عاجزة تماماً بسبب وجود خزع في عنق المثانة أو بسبب استئصال البروستات. وهذه المعصرة محدودة بسمك ٣ – ٥ ملم من جدار غشاء الإحليل من مستوى الشنخوب وصولاً إلى الجانب البعيد من غشاء الإحليل، وتتألف أساساً من العضلة المخططة الخارجية القادرة على التقلص المطرد اللازم للاستمساك، وتساهم المعصرة (الداخلية) بدرجة أقل بالاستمساك.

غدة البروستات

تتكون البروستات من عضلة ملساء ونسيج غدّي؛ وتزيد نسبة العضلة الملساء في حالة تضخم البروستات الحميد (BPH). ويتم السيطرة على عضلة البروستات الملساء من قبل الجهاز العصبي الودّي الذي يعمل عن طريق تحرير عنصر النورادرينالين إلى α_{1a}— وهي مستقبلات الأدرينالين الموجودة على خلايا العضلات الملساء. ويؤدي التقلص الناتج إلى زيادة مقاومة مخرج المثانة، ويساعد أيضاً على الاستمساك لدى الرجال.

آلية عمل المعصرة لدى الإناث

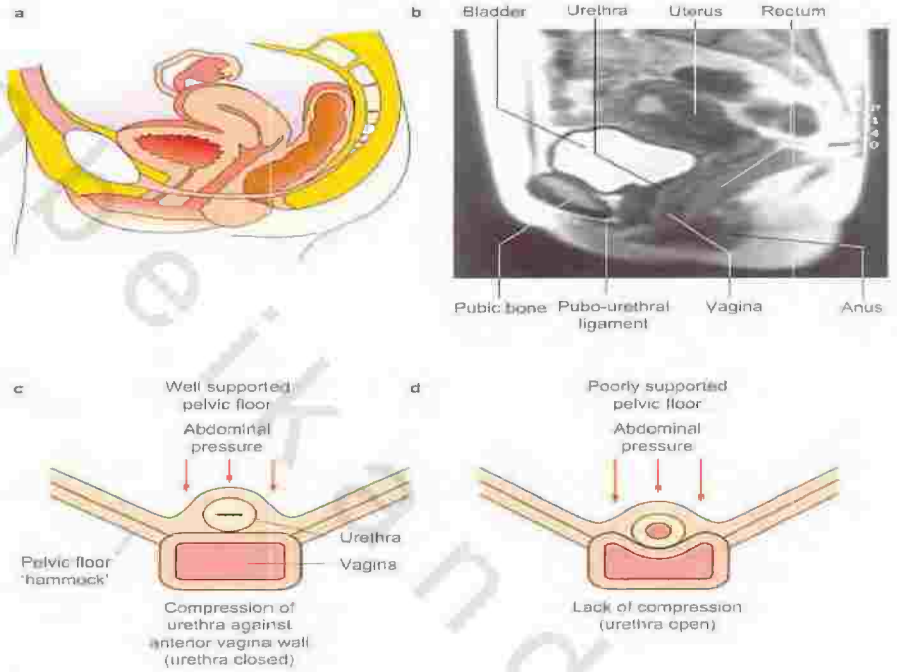
بالمقارنة مع الرجال، تعتبر الإناث أكثر عرضة للمعاناة من سلس البول بسبب ضعف المعصرة، ويرجع ذلك إلى أن آليات المعصرة لديهن أقل قوة. كما أن بنية عنق المثانة أضعف بكثير من عنق المثانة لدى الرجال، وفي أغلب الأحيان تكون غير كافية؛ حتى لدى الشابات اللواتي لم يسبق لهن الولادة. كما أن بنية عنق المثانة محدود بشكل ضعيف بألياف العضلات التي غالباً ما يكون لها اتجاه طولي.

وعادة ما يعتمد الاستمساك على سلامة آلية المعصرة الإحليلية. وتتألف هذه العضلة، كما هو الحال بالنسبة للمعصرة الإحليلية البعيدة لدى الرجال، من عضلة داخلية ملساء طولانية والعضلة الخارجية المخططة الأكبر منها. وتمتد هذه المعصرة على طول ثلثي الإحليل القريب، وتكون أكثر تطوراً في الثلث الأوسط من الإحليل. وتؤدي الأضرار – الناجمة عن الإصابة أثناء الولادة – التي تلحق بالمعصرة أو الأعصاب التي تغذيها (خاصة العصب الاستحيائي) إلى تقليل فعالية هذه الآلية، وتمهّد لحدوث سلس البول الجهدي.

عضلات أرضية الحوض

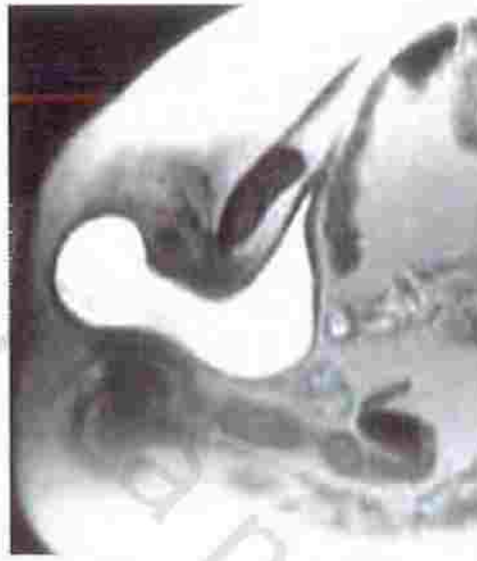
تلعب عضلات أرضية الحوض لدى الإناث دوراً هاماً في الحفاظ على الاستمساك. وتتكون أرضية الحوض في المقام الأول من مجموعة عضلات الشرج الرافعة، ولفافة داخل الحوض، والأربطة الداعمة. وتقوم أرضية الحوض هذه بوظيفة إبقاء أجهزة الحوض في الموضع الصحيح. وتشكل هذه الأنسجة 'الأرجوحة' الداعمة الموجودة تحت الإحليل. وأثناء زيادة الضغط داخل البطن (مثل السعال والعطس)، ينضغط الإحليل مقابل هذه الأرجوحة، وبذلك يظل الإحليل مغلقاً وتستطيع المريضة استمساك البول (الشكل ٢,٣).

ويؤدي فشل هذه الآلية إلى حدوث هبوط (هبوط) (الشكل ٢,٤) وفرط نشاط عنق المثانة، ويعتبر سبباً لحدوث سلس البول الجهدي (انظر الفصل الخامس).



Bladder	المثانة	Rectum	المستقيم
Urethra	الإحليل	Pubic bone	عظم العانة
Uterus	الرحم	Vagina	المهبل
Pubo-urethral ligament			الرابط العاني الإحليلي
Anus	مخرج الشرج	Abdominal pressure	ضغط البطن
Well Supported pelvic floor			أرضية الحوض مدعوم بشكل جيد
Pelvic floor "hammock"			أرضية الحوض "الأرجوحة"
Compression of urethra against anterior vagina wall (urethra closed)			ضغط الإحليل على الجدار الأمامي للمهبل (الإحليل مغلق)
Poorly Supported pelvic floor			أرضية الحوض غير مدعومة بشكل جيد
Lack of compression (urethra open)			عدم وجود ضغط (الإحليل مفتوح)

الشكل رقم(٢,٣) مقطع وسطي سهمي لتوضيح حوض الأنثى (أ) *مع شكل مطابق للتصوير بأشعة الرنين المغناطيسي (ب). يؤدي فقدان دعامة أرضية الحوض (الأرجوحة) (ج) إلى فقدان إرسال/دفع الضغط داخل البطن إلى الإحليل.*



الشكل رقم(٢,٤). هبوط عنق المثانة. *المثانة الحابطة واضحة جداً.*

وظيفة السبيل البولي السفلي

يمكن تقسيم وظيفة السبيل البولي السفلي إلى مرحلتين متميزتين:

١- مرحلة التخزين (التعبئة).

٢- مرحلة الإفراغ.

في معظم الوقت (أكثر من ٩٩٪)، يكون السبيل البولي السفلي في مرحلة التخزين، في حين يستغرق أقل من ١٪ من الوقت في الإفراغ.

مرحلة التخزين

أثناء مرحلة التخزين، تمتلئ المثانة بالبول المتدفق من الحالبين. وتحتاج المثانة لاستيعاب الزيادة في الحجم دون حدوث ارتفاع ملحوظ في ضغط المثانة (داخل

المثانة)، وتسمى خاصية تقبل الاسترخاء هذه "مطاوعة" المثانة. وفيما يلي العوامل التي تسهم في المطاوعة:

- خصائص المرونة السلبية لنسيج جدار المثانة.
- القدرة الذاتية للعضلة الملساء على الحفاظ على توتر ثابت خلال مجموعة كبيرة من التمددات.
- المنعكسات العصبية التي تتحكم في توتر العضلة المثانية أثناء تعبئة المثانة.

أثناء مرحلة التخزين، يجب أن يظل الإحليل وآلية المعصرة مغلقين للحفاظ على المقاومة العالية لمخرج البول والاستمساك.

مرحلة الإفراغ

أثناء مرحلة الإفراغ، يجب أن يحدث نشاط معاكس لما حدث خلال مرحلة التخزين. يجب أن تتوقف المثانة عن الاسترخاء، وبدلاً من ذلك عليها أن تنكمش لتطرد البول. ويجب على الإحليل والمعصرة "الفتح" لتقليل مقاومة مخرج البول وبالتالي السماح بخروج البول. كما يجب أن يكون الإفراغ فعالاً وأن يظل أدنى حد ممكن — أو لا شيء — من البول في المثانة في نهاية مرحلة الإفراغ.

أثناء الإفراغ

١- يسترخي الإحليل قبل تقلص العضلة المثانية.

٢- تسترخي عضلات أرضية الحوض في نفس الوقت.

٣- يحدث "تفتح" في عنق المثانة بشكل القمع لتيسير جريان البول في الإحليل القريب.

٤- تتقلص العضلة المثانية لطرد البول بقوة.

العودة إلى مرحلة التخزين

في نهاية الإفراغ، ينغلق الإحليل القريب بطريقة راجعة، وبالتالي يتم حلب البول بصورة راجعة في المثانة. وتتم ملاحظة هذا "الحلب الراجع" أثناء فحوصات السبيل البولي السفلي المستخدم بها الصبغة عندما يطلب من المريض وقف الإفراغ. عقب ذلك، تعود المثانة إلى حالة الاسترخاء.

قياس حركية الجهاز البولي

مرحلة التخزين

- تمتلئ المثانة بشكل سلبي – مسترخية العضلة المثانية
- تكون آليات المعصرة الإحليلية 'مغلقة' – عضلات الإحليل وأرضية الحوض منكمشة.

مرحلة الإفراغ

- تطرد المثانة البول بنشاط تحت السيطرة الإرادية الواعية – تنكمش العضلة المثانية.
- تكون آليات المعصرة الإحليلية 'مفتوحة' – يسترخي الإحليل وعضلات أرضية الحوض.

سيطرة الخلايا العصبية على السبيل البولي السفلي

يتم التحكم في السبيل البولي السفلي من خلال سلسلة معقدة من المسارات العصبية المحيطية والمركزية، ووظيفة هذه المسارات هي:

- التنسيق بين أنشطة المثانة والإحليل.
- التحكم في تقبل المثانة للاسترخاء (المطاوعة).
- الإحساس بامتلاء المثانة.

- الحفاظ على الاستمساك مع زيادة امتلاء المثانة.
- بدء الإفراغ الإرادي.

السيطرة الحركية (الصادرة)

- تكون مرحلة التخزين تحت السيطرة الودّية.
- تكون مرحلة الإفراغ تحت السيطرة نظير الودّية.

تتكون التغذية العصبية المحيطية للسبيل البولي السفلي أساساً من ثلاث مجموعات من الأعصاب (الجدول(٢,٢) والشكل (٢,٥):

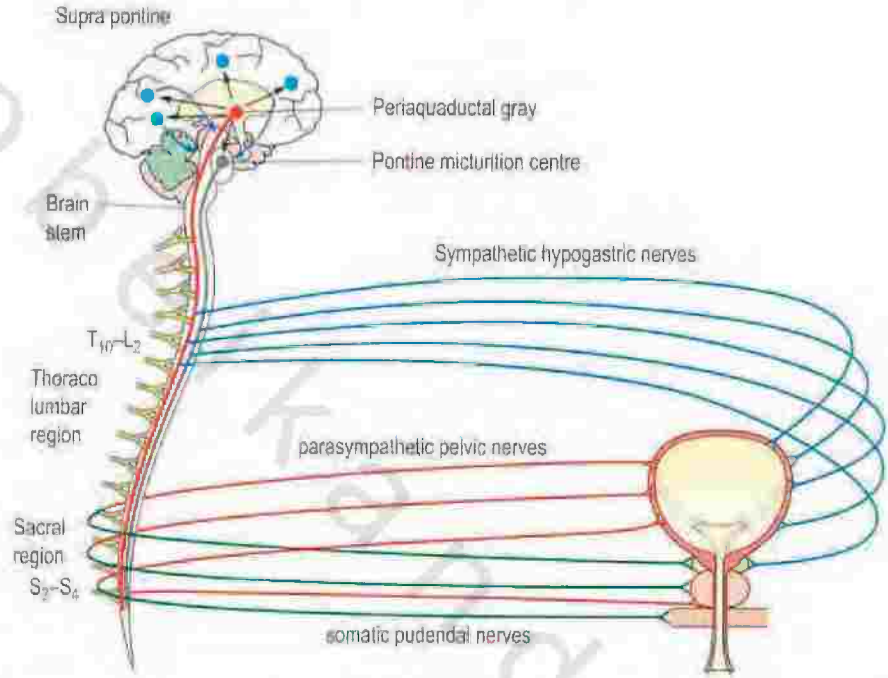
١- خثلية.
٢- حوضية.
٣- استحيائية.

السيطرة الحسية (الواردة)

تنتقل الإشارات الواردة من السبيل البولي السفلي عبر العصب الخثلي وأعصاب الحوض والفرج. وتنقل هذه الأعصاب المعلومات المتعلقة بامتلاء المثانة تماماً كما تنقل ما يتعلق بوجود أي محفز ضار (كيميائي أو برودة).

الجدول رقم (٢,٢). التغذية العصبية في السبيل البولي السفلي.

التغذية العصبية في السبيل البولي السفلي					
	النوع	المركز العصبي	العضلة المثانية	المعصرة	الناقلات العصبية الرئيسية
الخثلية	ودّي	T10-12	تسترخي	تنكمش العضلة الملساء العاصرة	نور أدرينالين
الحوضية	لاودّي	S2-S4 (مركز التبول الشوكي)	تنكمش	تسترخي	أسيتيل كولين
الاستحيائية	جسدي	S2-S4 (نواة أونف)	لا يوجد	تنكمش العضلة المخططة العاصرة وأرضية الحوض	اسيتيل كولين



Supra pontine	فوق الجسري	Brain stem	جذع الدماغ
Periaquaductal gray		المنطقة الرمادية المُحيْطَةُ بالقناة الدماغية	
Pontine micturition center		مركز التبول الجسري	
T10-L2		الفقرة الصدرية العاشرة والقطنية الثانية	
Sympathetic hypogastric nerves		الأعصاب الودّية الخثلية	
Thoraco lumbar region		المنطقة الصدرية القطنية	
Parasympathetic pelvic nerve		أعصاب الحوض نظيرة الودّية	
Sacral region S2-S4		المنطقة العجزية عند الفقرة الثانية والرابعة	
Somatic pudendal nerves		الأعصاب الاستحيائية الجسدية	

الشكل رقم (٢,٥). التحكم العصبي في السبيل البولي السفلي. *تظهر الأعصاب المحيطية الجسدية، والودّية ونظير الودّية؛ ومركز التبول الجسري، والمنطقة الرمادية المحيطة بالقناة الدماغية، والمنطقة فوق الجسرية، وهي جميعها مرتبطة بعملية السيطرة على تخزين وإفراغ البول. وهناك تداخلات واسعة على جميع المستويات (غير موضحة).*

تشارك الإشارات الواردة في:

- المنعكسات الذاتية.
- الإحساس الواعي بامتلاء المثانة.

في بعض الظروف العصبية أو حالات الإنتانات، يكون هناك فرط نشاط لبعض هذه الأعصاب الواردة مما يسبب آلاماً في المثانة، ومن المعتقد أن أليافاً عصبية واردة من نوع C لها علاقة بتحفيز التقلصات الذاتية للعضلة المثانية (فرط نشاط العضلة المثانية).

منعكسات التخزين الذاتية

هناك عدد من المنعكسات الذاتية التي تقع أساساً في الحبل الشوكي عند المنطقة القطنية العجزية. ومع زيادة امتلاء المثانة، تؤدي هذه المنعكسات إلى زيادة النشاط الودّي، وتمنع النشاط نظير الودّي، وتنشط أيضاً الأعصاب الحسية (الجسدية). وبالتالي، تعزز هذه المنعكسات التخزين عن طريق إرخاء المثانة، وتعمل على الاستمساك عن طريق زيادة قوة كل من المعصرة الداخلية والخارجية (منعكسات الوقاية).

ولا تقتصر منعكسات الإفراغ على الحبل الشوكي، بل هناك عدد من المنعكسات خارج العمود الفقري متعلقة بتنسيق نشاط السبيل البولي السفلي، والتي تم اكتشافها في قطع النخاع الشوكي التجريبي العالي.

الرغبة في الإفراغ

بعد مرحلة الطفولة، يتم التحكم في عملية التبول بصورة إرادية؛ وبالتالي يتم السماح ببدء عملية التبول في الظروف المناسبة فقط. ولتحقيق ذلك، يجب إرسال المعلومات المتعلقة بامتلاء المثانة إلى الدماغ، وعندما يكون الوضع مناسباً للتبول يقوم الدماغ بتجاوز المنعكسات المحيطية المتعلقة بالتخزين و"يفتح" السبيل البولي السفلي لبدء مرحلة الإفراغ.

وبمجرد بلوغ مستوى حدّ الامتلاء (الذي سيعتمد على الظروف ويختلف حسب الأفراد)، ستحدث زيادة في نشاط الخلايا العصبية الواردة المنبثقة عن الأعصاب الحسية الموجودة في الضفيرة التي تقع تحت ظهارة المثانة والمرتبطة بجدار المثانة. وتقوم الأعصاب الواردة نظير الودّية في الحوض بتوصيل هذا النشاط عن طريق الحبل الشوكي إلى المنطقة الرمادية المحيطة بالقناة الدماغية (PAG) الموجودة في الدماغ الأوسط. وفي المنطقة الرمادية المحيطة بالقناة الدماغية، تتم معالجة المعلومات المتعلقة بالمثانة؛ ومن هنا يتم إرسال إشارات إلى مركز التبول الجسري (PMC) في جذع الدماغ والمناطق فوق الجسرية من الدماغ.

وتشمل المناطق فوق الجسرية من الدماغ القشرة الأمامية، وتحت المهاد، والفصيص شبه المركزي، والجهاز الحوفي، والتلفيف الحزامي. وهذه المناطق مهمة للتحكم في مركز التبول الجسري إرادياً وذاتياً، ولها دور في تأجيل التبول ومنع تقلصات العضلة المثانية السابقة لأوانها، وبدء الإفراغ في الوقت المناسب.

السيطرة الإرادية على عملية الإفراغ

مركز التبول الجسري هو مركز التحكم الأساسي لتنسيق عملية التبول، وهو في حد ذاته يخضع لسيطرة المنطقة فوق الجسرية.

إذا شعرت المثانة بأنها ممتلئة لكن الوقت غير مناسب للتبول، فإن مركز التبول الجسري سيرسل إشارات نازلة لكبح النشاط نظير الودّي، وزيادة النشاط الودّي، وزيادة النشاط الحسي الجسدي لتفعيل المعصرة الإحليلية وعضلات أرضية الحوض كي تنكمش.

وتؤدي هذه الآليات إرادياً إلى "إحكام إغلاق" مخرج المثانة والحفاظ على الاستمساك حتى يحين الوقت المناسب والوصول إلى المكان المناسب للتبول.

وإذا شعرت المثانة بأنها ممتلئة وكان المكان مناسباً، فيقوم مركز التبول الجسري "بفتح" السبيل البولي السفلي حتى يصبح في طور الإفراغ بإرسال إشارات نازلة لزيادة النشاط نظير الودّي، وكبح النشاط الودّي والنشاط الجسدي.

ومتى ما بدأت عملية الإفراغ، ستقوم المنعكسات الثانوية في الإحليل التي نشطت بفعل جريان البول بتسهيل إفراغ المثانة أيضاً.

التفاعلات العصبية

تم آنفاً ذكر دور المراقبة العصبية في السبيل البولي السفلي بصورة مبسطة، إلاّ أنه هناك تفاعلات كثيرة بين المكونات العصبية على جميع المستويات المحيطية، والشوكية، والمناطق المركزية العلوية. وقد أدى وجود هذه التفاعلات العصبية المعقدة إلى الكثير من الجدل حول التحكم الحركي في السبيل البولي السفلي، وكذلك بشأن المنعكسات الحسية في الآونة الأخيرة. وعلى وجه الخصوص، أصبح دور طبقة تحت ظهارة المثانة في المنعكسات الواردة – والتي تشمل مجموعة متنوعة من الناقلات العصبية – موضع التركيز في كثير من الأبحاث التي يتم إجراؤها في الوقت الراهن. وفي السنوات الأخيرة، أصبح من المسلم به أن تمدد الغشاء المخاطي في ظهارة المثانة يمكن أن يؤدي إلى تحرير عدد من الناقلات العصبية مثل الأستيل كولين، وأكسيد النيتريك، والأدونيسين ثلاثي الفوسفات. وبالإضافة إلى ذلك، تمت معرفة مجموعة مهمة من الخلايا تسمى "الخلايا الخلالية" التي تلعب – بلا شك – دوراً مهمًّا في تنسيق وظيفة السبيل البولي السفلي. ويظل هذا المجال قابلاً للتطور مع مواصلة البحث في الآليات التي تعزز وظيفة السبيل البولي السفلي.

الاستنتاج

يعتبر الفهم الواسع لوظيفة السبيل البولي السفلي وسيطرته أمراً حيوياً لتفسير فحوصات قياس حركية الجهاز البولي بدقة، وفهم الطبيعة المرضية، وعلاج اضطرابات السبيل البولي مثل سلس البول، وانسداد مخرج المثانة، وسوء وظيفة المثانة العصبي المنشأ.