

PAVIMENTO PELVICO

*CENNI DI ANATOMIA
U. Del Carro e F. Bianchi*

INDICE

1) *Diaframma pelvico*

1.1) Muscolo ischio-coccigeo

1.2) Muscolo elevatore dell'ano:

1.2.1) muscolo pubococcigeo

1.2.2) muscolo puborettale

1.2.3) muscolo ileo coccigeo

2) *Perineo*

2.1) Triangolo anale

2.1.1) sfintere esterno dell'ano

2.1.2) Fossa ischio rettale

2.2) Triangolo urogenitale

2.2.1) Muscoli perineali profondi:

2.2.1.1) sfintere uretrale

2.2.1.2) muscolo trasverso profondo del perineo

2.2.2) muscoli urogenitali superficiali:

2.2.2.1) muscolo trasverso superficiale del perineo

2.2.2.2) muscolo bulbo cavernoso

2.2.2.3) muscolo ischio cavernoso

3) *sfintere dell'ano*

3.1) sfintere esterno o striato dell'ano (EAS)

3.1.1) Parte profonda

3.1.2) Parte intermedia

3.1.3) Parte sottocutanea

3.2) Innervazione EAS

3.3) Sfintere interno o liscio dell'ano (IAS)

3.4) Innervazione

4) *Sfintere uretrale*

4.1) sfintere interno o liscio dell'uretra (IUS)

4.2) sfintere striato o esterno dell'uretra (EUS)

4.3) Innervazione

5) *Cenni di istologia*

5.1) *EAS*

5.2) *EUS*

6) *Innervazione somatica del pavimento pelvico*

6.1) *Nervo pudendo*

6.1.1) *Il nervo rettale (o emorroidale) inferiore*

6.1.2) *Il nervo del perineo*

6.1.3) *Il nervo dorsale del pene (o clitoride).*

6.2) *Nervo ileo-ipogastrico*

6.3) *Nervo ileo-inguinale*

6.4) *Nervo genito-femorale*

6.5) *Nervo cutaneo posteriore della coscia*

7) *Innervazione autonoma*

7.1) *Parasimpatico*

7.2) *Ortosimpatico*

PAVIMENTO PELVICO *CENNI DI ANATOMIA*

1) Diaframma pelvico

Il pavimento o diaframma pelvico è una lamina muscolare a forma di cupola rovesciata e incompleta nella porzione mediana, che delimita inferiormente la piccola pelvi; ha funzione di sostegno dei visceri pelvici e, contraendosi simultaneamente con i muscoli addominali e con il diaframma, contribuisce all'aumento della pressione intraddominale. E' rivestito superiormente dalla fascia superiore del diaframma pelvico (membrana pelvica) che lo separa dalle strutture del piccolo bacino e inferiormente dalla fascia inferiore (membrana perineale).

Il diaframma pelvico è formato dal muscolo ischio-coccigeo e elevatore dell'ano.

1.1) Muscolo ischio-coccigeo (coccigeo):

E' una lamina muscolare triangolare che costituisce la porzione postero-superiore del diaframma pelvico. Il suo apice si fissa alla fascia pelvica e all'apice della spina ischiatica, fondendosi con il legamento sacro-spinoso. Con la base raggiunge i margini laterali del coccige e la V vertebra sacrale. E' innervato dal IV e V nervo spinale sacrale.

1.2) Muscolo elevatore dell'ano:

E' una lamina muscolare quadrangolare, simmetrica, inserita sulla faccia interna delle pareti laterali della piccola pelvi, dalla superficie interna del pube fino alla spina ischiatica, trovando attacco in un ispessimento della fascia del muscolo otturatore interno (arco tendineo del muscolo elevatore dell'ano). Le due lamine sono unite medialmente, a formare la porzione principale del pavimento pelvico. L'innervazione del muscolo elevatore dell'ano è assicurata dal nervo elevatore dell'ano (Thor and de Groat 2010) le cui fibre originano da motoneuroni spinali siti a livello dei neuromeri sacrali S2-S4 tramite le radici corrispondenti. Sembra che il nervo pudendo, nell'uomo, non contribuisca in modo rilevante all'innervazione di tale muscolo. Il muscolo elevatore dell'ano si compone di tre parti distinte:

1.2.1) muscolo pubococcigeo: formato dai fasci più anteriori, a direzione quasi sagittale, che dalla superficie interna del pube si portano posteriormente. Inizialmente abbracciano il muscolo sfintere uretrale (e la prostata nell'uomo) costituendo parte della muscolatura periuretrale; proseguendo in direzione antero-posteriore, nella donna, alcune fibre si inseriscono sulle pareti vaginali (fibre pubovaginali), mentre in entrambi i sessi fibre ancora più posteriori terminano sul corpo perineale (o centro tendineo del perineo, struttura fibromuscolare di forma piramidale situata nel piano mediale tra canale anale e apparato urogenitale) e sul retto (fibre puboanali). Queste ultime decussano e si fondono con la muscolatura longitudinale del retto, entrando a far parte del muscolo longitudinale congiunto. Posteriormente al retto le fibre più mediali formano un rafe fibroso (legamento ano-coccigeo) che si inserisce sulla superficie anteriore del coccige, mentre quelle più laterali si inseriscono sul margine laterale del coccige.

1.2.2) muscolo puborettale: costituisce la porzione più corposa del muscolo elevatore dell'ano. In corrispondenza dell'origine non può essere separato dal pubococcigeo, mentre più posteriormente i suoi fasci si uniscono con quelli controlaterali e con quelli del muscolo sfintere esterno dell'ano a formare una fionda attorno alla giunzione ano-rettale.

1.2.3) muscolo ileococcigeo: esile struttura composta dai fasci più posteriori, a direzione quasi trasversale, che originano dalla fascia otturatoria e si inseriscono ai lati degli ultimi segmenti coccigei, contribuendo alla formazione del legamento ano-coccigeo.

2) Perineo

Il perineo è la regione sottostante al diaframma pelvico; è costituito da formazioni muscolo-fasciali disposte a chiudere inferiormente lo stretto inferiore della pelvi. La muscolatura perineale avrebbe un'origine embriologica diversa rispetto alla muscolatura del diaframma pelvico ed è innervata da un gruppo particolare di motoneuroni, raggruppati nel nucleo di Onuf, attraverso il nervo pudendo (Thor and De Groat, 2010).

In superficie si estende fino alla cute e occupa una posizione mediana tra le natiche e la superficie mediale delle cosce. Approssimativamente ha una forma a losanga, ad asse maggiore diretto antero-posteriormente; una linea trasversale passante per le tuberosità ischiatiche lo divide in due regioni triangolari:

- **triangolo posteriore o anale**: struttura con base anteriore ed apice in corrispondenza del coccige; contiene il tratto terminale del canale anale.

- **triangolo anteriore o urogenitale**: caratterizzato da base posteriore ed apice in corrispondenza della sinfisi pubica; contiene organi urogenitali esterni.

Il triangolo anteriore e posteriore non giacciono sullo stesso piano: il triangolo urogenitale è inclinato in basso ed indietro, quello anale in basso ed in avanti.

In profondità il perineo è delimitato anteriormente dall'arcata pubica, lateralmente, in direzione anteroposteriore, dal ramo inferiore del pube e dell'ischio, tuberosità ischiatica e legamento sacrotuberoso, e posteriormente dall'apice del coccige.

2.1) Triangolo anale

In questa regione si distinguono:

2.1.1) Sfintere esterno dell'ano (v. sotto per descrizione dettagliata).

2.1.2) Fossa ischio rettale:

recesso cuneiforme in posizione laterale, con base superficiale corrispondente alla cute del perineo. Medialmente è delimitata dallo EAS, lateralmente dalla tuberosità ischiatica e fascia otturatoria, posteriormente dal margine inferiore del muscolo grande gluteo e, più in basso, dal legamento sacro-tuberoso, mentre anteriormente è delimitata dal margine posteriore dei muscoli del diaframma uro-genitale. Le fosse ischio rettali dei due lati comunicano posteriormente in corrispondenza di un recesso mediano retro-sfinterico. I vasi pudendi interni e i nervi pudendi decorrono sulla parete laterale della fossa ischio-rettale, avvolti da una struttura fasciale che forma il canale pudendo.

2.2) Triangolo urogenitale

E' una lamina triangolare muscolo-aponeurotica, dello spessore di circa 1 cm, tesa tra le due branche ischio-pubiche a chiudere la porzione anteriore dello stretto inferiore della piccola pelvi.

Situato inferiormente al diaframma pelvico, il triangolo urogenitale non si limita solamente a ricoprirne la superficie esterna, ma rappresenta il solo rivestimento della fessura mediana delimitata dai margini mediali dei muscoli pubococcigei.

Il trigono urogenitale nel maschio è attraversato dall'uretra (parte membranosa) e contiene nel suo spessore le ghiandole bulbo-uretrali; nella femmina è attraversato dall'uretra e dalla vagina e accoglie le ghiandole di Bartolino.

Le strutture muscolari della regione urogenitale possono essere suddivise in due gruppi:

2.2.1) Muscoli perineali profondi:

2.2.1.1) sfintere uretrale (v. in seguito)

2.2.1.2) muscolo trasverso profondo del perineo: è una lamina muscolare, pari, disposta trasversalmente. I suoi fasci si inseriscono lateralmente sulla faccia interna dell'ischio, e medialmente decussano incrociandosi con i fasci omologhi controlaterali, contribuendo alla formazione del centro tendineo del perineo. In questa sede le fibre si uniscono alla parte profonda dello EAS posteriormente e allo sfintere uretrale anteriormente.

Nella donna è possibile individuare un muscolo compressore dell'uretra costituito da una serie di fasci muscolari che originano dalla branca ischio pubica di ogni lato, si dirigono in avanti e decussano portandosi controlateralmente a costituire una banderella piatta situata al davanti dell'uretra sotto lo sfintere uretrale. Altre fibre con origine analoga si dirigono medialmente e raggiungono la vagina. Raramente questi fasci raggiungono il corpo perineale e formano un vero e proprio muscolo trasverso profondo del perineo.

Nella donna è presente uno sfintere uretro-vaginale, le cui fibre originano dal corpo perineale, si dirigono in avanti, ai lati della vagina e dell'uretra, e decussano portandosi contro lateralmente, in modo da formare un sottile strato muscolare piatto situato al davanti dell'uretra e sotto il muscolo compressore uretrale, con un ruolo importante nella continenza urinaria.

2.2.2) Muscoli urogenitali superficiali:

2.2.2.1) muscolo trasverso superficiale del perineo: è una sottile lamina muscolare, pari, tesa trasversalmente nella regione perineale, in corrispondenza del suo asse minore, subito al di sotto della fascia perineale superficiale.

Costituisce il lato posteriore di un triangolo muscolare situato nel perineo anteriore, detto triangolo ischio-cavernoso, il cui lato esterno è formato dal muscolo ischio-cavernoso e quello interno dal muscolo bulbo-cavernoso: il pavimento di questo spazio è la fascia anteriore del diaframma urogenitale (membrana perineale).

Origina dalla superficie interna della tuberosità ischiatica e, portandosi medialmente, termina nel centro tendineo del perineo, ove le fibre decussando e si portano nei muscoli controlaterali bulbo cavernoso, trasverso del perineo e EAS. Talvolta può inserirsi anche nel muscolo bulbo cavernoso o nello sfintere esterno dell'ano.

Insieme al muscolo trasverso profondo, il trasverso superficiale del perineo fissa il corpo perineale.

2.2.2.2) muscolo bulbo cavernoso

Nell'uomo è costituito da due porzioni simmetriche, unite da un sottile rafe tendineo mediano. I fasci muscolari originano da questo rafe e dal corpo perineale, nel quale decussano per continuarsi controlateralmente con il muscolo trasverso e

EAS. I fasci posteriori formano una lamina sottile e si inseriscono nel centro tendineo del perineo, quelli intermedi circondano il bulbo dell'uretra e la porzione adiacente del corpo spugnoso del pene portandosi sulla sua superficie dorsale di queste formazioni, dove si intrecciano con i fasci contro laterali; i fasci più anteriori si aprono e abbracciano i corpi cavernosi del pene e i vasi dorsali del pene. Il muscolo bulbocavernoso contribuisce allo svuotamento dell'uretra, dopo svuotamento vescicale; durante la minzione i suoi fasci sono rilassati, entrando in azione alla fine dell'atto. I fasci intermedi contribuiscono all'erezione del corpo cavernoso, comprimendo il tessuto erettile del bulbo, mentre i fasci anteriori vi concorrono comprimendo la vena dorsale profonda del pene.

b) Nella donna il muscolo bulbo cavernoso ricopre le parti superficiali dei bulbi del vestibolo e le ghiandole vestibolari maggiori, e si porta anteriormente, circondando la parete vaginale per terminare sui corpi cavernosi del clitoride. I fasci muscolari si inseriscono posteriormente nel centro tendineo del perineo, ove decussano con quelli dello EAS e del muscolo trasverso controlaterali; contraendosi causano un restringimento dell'orifizio vaginale, fuoriuscita del secreto delle ghiandole vestibolari, e, comprimendo la vena dorsale profonda del clitoride, ne contribuiscono all'erezione.

2.2.2.3) muscolo ischio cavernoso:

muscolo pari e simmetrico, più sviluppato nel maschio. Posteriormente si fissa alla tuberosità ischiatica decorrendo parallelo alla rispettiva branca ischio-pubica, assumendo una forma di una doccia applicata sulla radice dei corpi cavernosi del pene e del clitoride, mentre anteriormente, divenuto tendineo, si fissa al di sotto della sinfisi pubica e sulla tonaca albuginea dei corpi cavernosi. Il muscolo ischio-cavernoso comprime la radice dei corpi cavernosi, concorrendo all'erezione del pene /o clitoride.

3) sfintere dell'ano

3.1) sfintere esterno o striato dell'ano (EAS):

è un tubo di muscolatura striata sito all'esterno della tonaca muscolare esterna del retto che circonda il canale anale (Gray's anatomy, 2005; Rivas and Chancellor, 1995), si estende per una lunghezza di circa 4 cm, (Shafik, 2000) (circa 3 cm e un poco meno nella donna secondo Stoker 2009) formando un manicotto spesso circa 3 mm (Enck 2005), composto da una metà destra ed una sinistra che agiscono come unità funzionale (Vodusek, 2004). Classicamente è descritto come formato da tre parti, che dall'alto verso il basso sono: la profonda, la superficiale e la sottocutanea (Milligan and Morgan, 1934; Ayoub, 1979; Cook and Mortensen, 2002; Gray 2005).

- 3.1.1) Parte profonda:** è una spessa banda anulare che circonda la porzione più craniale dello sfintere liscio; i suoi fasci profondi sono fusi e non isolabili da quelli del muscolo puborettale. Al davanti del canale anale, molti fasci decussando e si continuano con quelli del muscolo trasverso superficiale del perineo, soprattutto nella donna. Posteriormente alcuni fasci possono inserirsi al rafe ano-coccigeo.
- 3.1.2) Parte superficiale:** si trova sopra la parte sottocutanea e circonda la porzione più caudale dello sfintere interno. Vista dall'ano è ellittica, essendo inserita anteriormente nel nucleo fibroso del perineo, e indietro sulla superficie posteriore dell'ultimo segmento coccigeo per mezzo del rafe ano-coccigeo; è l'unica parte dello sfintere ancorata all'osso.
- 3.1.3) Parte sottocutanea:** è una banda piatta, larga circa 15 mm, che si stratifica sul precedente strato a livello dell'orifizio anale, al di sotto della cute. In avanti alcuni suoi fasci si inseriscono al corpo fibroso del perineo (o ai muscoli trasversi superficiali del perineo); posteriormente alcuni fasci si attaccano in genere al legamento ano-coccigeo.
- Tuttavia, studi più recenti, hanno stressato il concetto di struttura sfinterica organizzata in loop, con grande variabilità interindividuale, piuttosto che ad anello completo (Shafik 1987; Johansson et al, 1992; Wexner and Jorge 1998; Bogduk, 1996; Nichols and Randall, 1996).

3.2) Innervazione EAS:

In breve possiamo ritenere che l'innervazione somatica del muscolo sfintere striato dell'ano è rappresentata da fibre motorie dei motoneuroni del nucleo di Onuf che, passando attraverso le radici del nervo pudendo e la sua porzione prossimale, raggiungono il muscolo target tramite il nervo rettale inferiore (Bharucha 2006; Gray's Anatomy 2005; Juenemann et al 1988; Thor and de Groat 2010). Alcune segnalazioni evidenziano varianti anatomiche rispetto a questo schema di fondo comunemente condiviso. E' stato segnalato che le fibre motorie dirette al EAS possono originare direttamente dalle radici S2-S4 (Stoker 2009; Vodusek 2004; Shafik 2000; Aanestad and Flink, 1999; Gagnard et al. 1986), talvolta con contributi anche da S1 (Marani et al 1993) e altre da S4 (Gagnard et al 1986). E' possibile inoltre che il nervo rettale inferiore nasca direttamente dal plesso sacrale (Vodusek 2004; Berry et al 1995).

Secondo diversi autori inoltre il nervo rettale inferiore provvederebbe ad innervare la porzione media e posteriore del EAS, mentre le fibre motorie per la porzione anteriore arriverebbero tramite rami "ricorrenti" del ramo perineale del nervo pudendo (Vodusek 2004; Berry et al 1995; Enk et al 2005; Bharucha 2006; Gagnard et al 1986). In uno studio elettrofisiologico è stato dimostrato che l'EAS è innervato unicamente dai nervi pudendo e che questa innervazione sembra essere fortemente lateralizzata (Percy et al, 1981).

Infatti, persiste una certa confusione sulla possibilità che le due metà destra e sinistra dello EAS possano ricevere un contributo da fibre nervose motorie controlaterali. Uno studio sperimentale condotto su scimmie Rhesus ha mostrato segni di denervazione e re-innervazione bilaterali dopo neurectomia unilaterale del nervo pudendo, limitatamente alla porzione anteriore dello sfintere. Tuttavia questi reperti sarebbero attribuiti all'interdigitazione dei fascicoli muscolari sulla linea mediana dello sfintere (Wunderlich and Swash, 1983) piuttosto che ad un cross-over delle fibre motorie. Questa segnalazione viene tuttavia riportata (Roberts 2008) come testimonianza di innervazione bilaterale delle due metà dello sfintere, nonostante vi siano evidenze

cliniche (Wunderlich and Swash, 1983; Vodusek 2004) e neurofisiologiche a sostegno che le due metà siano innervate indipendentemente, come la presenza di una chiara attività di denervazione unilaterale in seguito a lesioni unilaterali del nervo pudendo (Vodusek 2004).

Una prevalenza di lato dell'innervazione sfinterica è stata evidenziata in soggetti sani, e considerata una condizione fisiologica (Hamdy et al, 1999). L'evidenza di un'asimmetria dell'innervazione emerge da tre tipi di indagine: studi sulla rappresentazione corticale sensori-motoria del pavimento pelvico mediante stimolazione magnetica transcranica (Turnbull et al 1999; Witscher et al 1998) e MRI funzionale (Stottrop et al 1998), studi elettroencefalografici in volontari sani (Hamdy et al 1999; Middeldorf et al 1998), monitoraggio intra-operatorio durante interventi di rizotomia sacrale (Huang et al 1997) e impianto di pacemaker sacrale in pazienti continenti con vescica ipotonica (Matzel et al 1999). In particolare, Matzel e colleghi evidenziano un'asimmetria dell'innervazione dello EAS nel 20% dei casi.

Tale aspetto viene sottolineato in relazione alla maggiore possibilità di complicanze (ad esempio incontinenza) nei casi di lesioni nervose che coinvolgano il lato dominante (Enck et al 2004a; Wietek et al 2007).

Negli ultimi anni inoltre è stato introdotto lo studio EMG di superficie mediante sonda multi-canale intra-ale ad alta risoluzione (Merletti et al, 2004). Tale metodica consentirebbe, mediante lo studio della propagazione dei potenziali di azione lungo le fibre muscolari, l'identificazione delle 'innervation zones' (IZ) (Enck et al 2004b, 2005). Lo sviluppo di un metodo automatico per la 'mappatura' delle IZ (Mesin et al 2009) potrebbe offrire uno strumento per caratterizzare differenze anatomiche tra sessi e la possibilità di una più precisa caratterizzazione di dominanza di un lato.

3.3) *Sfintere interno o liscio dell'ano (IAS):*

E' un ispessimento anulare (5-8 mm) dello strato circolare interno della tonaca muscolare del retto. Avvolge i tre quarti superiori (30 mm) del canale anale, estendendosi dalla giunzione anorettale fino alla linea alba, che divide la porzione sottocutanea dello sfintere esterno e il margine inferiore dello sfintere interno (Gray's anatomy, 2005). A livello della linea intersfinterica, lo sfintere interno termina con un margine inferiore arrotondato, nettamente demarcato e facilmente apprezzabile alla palpazione, costituendo così un importante punto di repere chirurgico. Lo strato longitudinale esterno dell'intestino retto si continua verso il basso e, in corrispondenza passaggio attraverso il diaframma pelvico, si unisce ad espansioni fibromuscolari del muscolo elevatore dell'ano e fibre della fascia pelvica sovrastante, costituendo il muscolo longitudinale congiunto. Questa struttura fibromuscolare si estende inferiormente interponendosi tra sfintere liscio dell'ano e sfintere esterno. Durante il suo decorso verso il basso, il muscolo congiunto emette una serie di fasci fibro-elastici e muscolari che penetrano il muscolo sfintere interno fino alla muscolaris mucosae del canale anale costituendo il muscolo della sottomucosa dell'ano e, inferiormente, attraverso la porzione sottocutanea dello EAS, per congiungersi alla cute perianale; in questa sede gli elementi muscolari di questi setti formano il muscolo corrugatore della cute dell'ano.

4) *Sfintere uretrale*

4.1) *sfintere interno o liscio dell'uretra (IUS):*

La tonaca muscolare dell'uretra è composta da muscolatura liscia disposta in due strati: longitudinale interno e circolare esterno (Gray's anatomy, 2005). Il primo si continua prossimalmente con la muscolatura longitudinale della vescica e, nel maschio, raggiunge il massimo spessore a livello dell'uretra prostatica, per poi, procedendo distalmente, assottigliarsi e terminare all'inizio dell'uretra cavernosa. Lo strato circolare è particolarmente sviluppato nella porzione iniziale dell'uretra senza tuttavia che si possa identificare una struttura sfinterica anatomicamente definita, soprattutto nella donna, anche se studi radiografici e di fisiologia indicano l'esistenza di un fisiologico sfintere interno che mantiene la continenza urinaria mediante la chiusura del collo vescicale e dell'uretra prossimale (Bors and Comarr 1971; Lapidus 1958). Lo sfintere liscio è innervato dall'ortosimpatico e, nel maschio, contribuisce a prevenire l'eiaculazione retrograda (Campbell's urology, 2002; Gray's anatomy 2005; Dixon and Gosling 1987).

4.2) *sfintere striato o esterno dell'uretra (EUS):*

è costituito da uno strato più esterno di muscolatura striata disposta circolarmente attorno allo strato muscolare liscio. Questo si estende dalla base della vescica fino alla membrana perineale e corrisponde alla zona di massima chiusura uretrale (Campbell's urology, 2002). Nel passaggio attraverso il pavimento pelvico, lo sfintere esterno è circondato da fibre del muscolo elevatore dell'ano formando il cosiddetto sfintere peri-uretrale (Dixon and Gosling 1987; Gosling et al 1981). Sebbene alcuni studi abbiano descritto una diretta continuità tra raddomiosfintere uretrale e i fasci peri-uretrali dell'elevatore dell'ano, altri sostengono che i due muscoli siano separati da una banda continua di tessuto connettivo (Gosling et al 1981; Dorschner et al 1999). Nel maschio si riconoscono tre porzioni:

- porzione prostatica: ha forma di doccia aperta posteriormente, formata da fibre dirette trasversalmente che abbracciano la superficie anteriore della prostata e si esauriscono sulle sue facce laterali;

- porzione trigonale: costituisce un anello muscolare che circonda completamente l'uretra membranosa nel suo passaggio attraverso la membrana perineale;

- porzione bulbouretrale: è rappresentata da una lamina muscolare che origina in avanti dal triangolo urogenitale, circonda l'uretra e termina posteriormente nel centro tendineo del perineo, avvolgendo le ghiandole bulbo uretrali.

Nella femmina lo sfintere esterno è composto da fibre muscolari striate ad andamento circolare.

Anche in questo caso è possibile distinguere tre parti:

- la porzione più prossimale dello sfintere è composta da un anello muscolare completo che circonda la muscolatura liscia della parete uretrale

- una porzione intermedia a maggior sviluppo rappresentante una zona di massima pressione di chiusura uretrale.

- Sfintere urogenitale: più distalmente, a livello del diaframma urogenitale, alcune fibre circondano sia l'uretra che la vagina, costituendo lo sfintere uretro-vaginale, mentre altre si portano lateralmente e si vanno ad inserire sulle branche pubiche, formando un anello aperto posteriormente e costituendo il muscolo compressore dell'uretra, (Gray's anatomy 2005; DeLancey 1986; Oelrich 1983).

4.3) Innervazione:

Lo sfintere esterno è innervato da fibre somatiche, ad origine dalle radici S2-S4, che si portano al target attraverso la branca perineale del nervo pudendo (Gray's anatomy 2005; Thor 2003). Tuttavia, secondo alcuni autori, alcune fibre efferenti somatiche dirette allo sfintere striato dell'uretra assumono un decorso intrapelvico lungo il pavimento al di sotto della fascia endopelvica (Campbell's urology 2002; Borirakchanyavat et al 1997). E' opinione comune che lo sfintere peri-uretrale è innervato dalla branca perineale del nervo pudendo (Benson 1989; Dixon and Gosling 1987; Rosse and Gaddum-Rosse 1997; Snooks et al 1984).

5) cenni di istologia EAS e EUS

Dal punto di vista immunocitochimico le fibre muscolari striate possono essere classificate in tre tipi:

- tipo I: fibre a metabolismo prevalentemente ossidativo, a contrazione lenta e resistenti all'affaticamento.
- tipo II A: fibre a metabolismo intermedio (aerobico e glicolitico), a contrazione veloce e resistenti all'affaticamento.
- tipo II B: Il metabolismo è anaerobico ad alta velocità di contrazione e con minor resistenza all'affaticamento.

Nello sfintere esterno dell'ano e nel raddomiosfintere uretrale sono presenti fibre di tipo I e di tipo II, con prevalenza delle fibre di I tipo (Schroder and Reske-Nielsen 1983; Beersiek et al 1979; Sumino et al 2006).

Inoltre in entrambi i muscoli il diametro delle fibre è ridotto rispetto a quello delle fibre degli altri muscoli scheletrici (Schroder and Reske-Nielsen 1983; Beersiek et al 1979; Gosling et al 1981): fibre muscolari di minori dimensioni tendono ad essere più resistenti alla fatica rispetto a fibre di dimensioni maggiori, in quanto presentano una minore distanza di diffusione per i substrati metabolici (Punkt et al 1998).

5.1) EAS:

Dal punto di vista istologico lo sfintere anale esterno è composto prevalentemente da fibre di I tipo (a contrazione lenta); a differenza degli altri muscoli scheletrici, la proporzione dei diversi tipi di fibre nello EAS non è stabilita dall'inizio, ma si modifica progressivamente nel corso dello sviluppo. Nell'età fetale sono prevalenti le fibre di II tipo, a contrazione rapida e finalizzate a sostenere lo stato di continenza riflessa; con l'aumento dell'età gestazionale si riduce progressivamente il numero delle fibre di II tipo ed aumentano quelle di I tipo, che diventano il tipo prevalente nell'infanzia e nell'età adulta (Lierse et al 1993).

5.2) *EUS:*

Nello sfintere esterno dell'uretra sono presenti fibre muscolari di I e II tipo, con prevalenza delle fibre di I tipo (Schroder and Reske-Nielsen 1983; Sumino et al 2006), sebbene alcuni autori in precedenza abbiano riportato la presenza esclusiva di fibre a contrazione lenta (Gosling et al 1981).

Inoltre, è noto che, nell'ambito delle fibre a contrazione rapida, quelle resistenti all'affaticamento (tipo II A) siano due volte più rappresentate di quelle suscettibili alla fatica (tipo II B); questo implica che il raddomiosfintere uretrale contribuisce alla continenza urinaria attraverso una contrazione lenta e sostenuta (Sumino et al 2006).

La presenza di entrambi questi tipi di fibre nello sfintere uretrale, sebbene con prevalenza delle fibre di I tipo, ne ha suggerito una duplice funzione: le fibre di tipo I sono coinvolte nel mantenimento della continenza a riposo, mentre quelle di II tipo sono attivate nelle condizioni di stress. Inoltre, dal momento che la riduzione del diametro delle fibre di I tipo dello sfintere uretrale è maggiore di quella delle fibre di II tipo, il volume delle fibre di II tipo costituisce il 50% del volume totale delle fibre muscolari nello EUS; questo starebbe ad indicare che lo sfintere uretrale assolve in ugual misura entrambe le funzioni.

6) *innervazione somatica del pavimento pelvico*

Le fibre nervose deputate all'innervazione dei muscoli perineali originano dai neuroni del nucleo di Onuf, mentre quelle dirette al diaframma pelvico da corpi cellulari siti nelle corna anteriori dei segmenti sacrali (Gray anatomy 2005). Tuttavia non c'è uniformità nell'identificare esattamente i muscoli bersaglio dei neuroni siti nel nucleo di Onuf, essendo talvolta indicati i soli muscoli rabdosfinterici e altre volte tutta la muscolatura del diaframma pelvico (Vodusek 2004; Gray anatomy 2005; Thor 2003; Bharucha 2006; Kuzuhara et al., 1980; Roppolo et al., 1985; Schroder 1980; Schroder 1981; Yamamoto et al., 1978). Dalla loro sede di origine gli assoni giungono alla loro destinazione tramite strade differenti.

6.1) *Nervo pudendo*

Nasce dal II° e III° nervo sacrale con possibili contingenti anche dal I° e dal IV° (Gray's anatomy, 2005). Esce dalla pelvi per la parte inferiore del grande foro ischiatico, tra piriforme e ischio-coccigeo, ed entra nella regione glutea incrociando il legamento sacro spinoso presso la sua inserzione alla spina ischiatica, passa attraverso il piccolo foro ischiatico alla parete laterale della fossa ischio-rettale dove viene avvolto da una fascia tesa tra la porzione inferiore della fascia otturatoria e il legamento sacro-tuberoso, formando il canale del pudendo (canale di Alcock) dove, nel suo tratto posteriore, emette il nervo rettale inferiore (detto anche emorroidario). Procedendo anteriormente si divide poi nel nervo del perineo e nel nervo dorsale del pene (o del clitoride).

6.1.1) *Il nervo rettale (o emorroidale) inferiore:* perfora la parete mediale del canale pudendo, attraversa la fossa ischio-rettale con i vasi emorroidali inferiori e si distribuisce allo sfintere esterno dell'ano, alla restante parete del tratto inferiore del canale anale e della cute peri-anale. I suoi rami si anastomizzano con il ramo perineale del nervo cutaneo posteriore della coscia e con i nervi scrotali (o labiali) del nervo del perineo. Questo ramo può nascere direttamente dal plesso sacrale (Vodusek, 2004).

6.1.2) Il nervo del perineo, ramo terminale inferiore e più grosso del nervo pudendo, si dirige in avanti sotto l'arteria pudenda interna. Accompagna l'arteria perineale e si divide in rami scrotali (o labiali) posteriori e rami muscolari:

- Rami scrotali o labiali posteriori: sono due, mediale e laterale. Perforano la faccia inferiore del diaframma urogenitale o decorrono accostati alla sua superficie inferiore, per portarsi in avanti attraverso la parete laterale del trigono urogenitale con i rami scrotali o labiali dell'arteria perineale. Si distribuiscono alla cute dello scroto o del grande labbro, anastomizzandosi con il ramo perineale del cutaneo posteriore della coscia e con il nervo rettale inferiore.
- I rami muscolari: innervano il trasverso superficiale del perineo, il bulbo cavernoso, l'ischio-cavernoso, il trasverso profondo del perineo, lo sfintere dell'uretra e la parte anteriore dello sfintere esterno e dell'elevatore dell'ano. Un ramo detto nervo del bulbo dell'uretra, si stacca dal nervo per il bulbo cavernoso, attraversa questo muscolo ed innerva il corpo spugnoso dell'uretra, terminando nella mucosa uretrale.

6.1.3) Il nervo dorsale del pene (o clitoride). Si dirige in avanti lungo il margine dell'ischio sopra l'arteria pudenda, prosegue lungo il margine del ramo inferiore del pube sulla superficie superiore della faccia inferiore del diaframma urogenitale. Invia un ramo al corpo cavernoso del pene, giunto all'apice della fascia passa per la parte laterale dell'interstizio tra questa e il legamento arcuato del pube. Si porta quindi in avanti, con l'arteria dorsale del pene, tra i fasci del legamento sospensore, e decorre sul dorso del pene fino al glande. Nella donna il corrispondente nervo è il nervo dorsale del clitoride, ramo assai esile che si distribuisce al clitoride.

I dati clinici indicano che il nervo pudendo fornisce fibre sensitive alla porzione inferiore della vagina; esse probabilmente decorrono nel nervo rettale inferiore e nei rami labiali posteriori del nervo del perineo (Gray's anatomy, 2005).

6.2) Nervo ileo-ipogastrico

Nasce dalla I radice lombare e si porta lateralmente passando attraverso il capo superiore del grande psoas e anteriormente al quadrato dei lombi. Sopra alla cresta iliaca attraversa il muscolo trasverso dell'addome e tra questo e l'obliquo interno si divide in un ramo laterale e uno anteriore.

Il ramo cutaneo laterale: al di sopra della cresta iliaca attraversa i muscoli obliquo interno ed esterno, e va ad innervare la cute della porzione laterale della regione glutea.

Il ramo cutaneo anteriore decorre tra il muscolo obliquo interno e trasverso, cedendo rami ad entrambi; attraversa quindi l'obliquo interno distribuendosi alla cute della parete addominale anteriore al di sopra del pube.

6.3) *Nervo ileo-inguinale*

Origina dalla I radice lombare, analogamente al nervo ileo-ipogastrico che accompagna per buona parte del decorso lungo la faccia interna dell'addome. Perfora il trasverso dell'addome anastomizzandosi talora con l'ileo-ipogastrico. Attraversa poi l'obliquo interno e decorre nel canale inguinale, sotto il cordone spermatico, con il quale passa per l'anello inguinale sottocutaneo, e si distribuisce alla superficie supero-mediale della coscia, della radice del pene e della parte alta dello scroto nel maschio, del monte del pube e della porzione contigua del grande labbro nella donna.

Il nervo ileo-inguinale è più esile dell'ileo-ipogastrico; a volte termina unendosi a quest'ultimo, mentre altre volte viene sostituito da un ramo dell'ileo-ipogastrico.

6.4) *Nervo genito-femorale*

Origina dalla I e II radice lombare, si porta obliquamente in avanti e in basso decorrendo sul muscolo grande psoas, che attraversa uscendone dal margine mediale a livello della III e IV vertebra lombare; al di sopra del legamento inguinale si divide nei rami genitale e femorale. Talvolta la divisione nei due rami terminali può essere più prossimale. Il ramo genitale entra nel canale inguinale passando per l'anello inguinale addominale; innerva il cremastere e la cute dello scroto. Nella donna accompagna il legamento rotondo dell'utero per terminare nella cute del monte del pube e del grande labbro.

Il ramo femorale scende costeggiando lateralmente l'arteria iliaca esterna e, passando dietro al legamento inguinale, penetra nella guaina femorale, lateralmente all'arteria, perfora la fascia lata, e si distribuisce alla cute della parte alta del trigono femorale.

6.5) *Nervo cutaneo posteriore della coscia*

Origina da rami delle I, II e III radice sacrale. Abbandona la cavità pelvica attraverso il grande foro ischiatico, sotto il piriforme, e si dirige in basso con i vasi glutei inferiori, coperto dal grande gluteo, dietro o medialmente all'ischiatico.

Scende nella regione posteriore della coscia, superficialmente al capo lungo del bicipite femorale, coperto dalla fascia lata; nella regione poplitea perfora la fascia e accompagna la vena piccola safena fino a metà del polpaccio, anastomizzandosi tramite i suoi ramuscoli terminali con il nervo surale.

I suoi rami sono tutti cutanei e si distribuiscono alla regione glutea, al perineo e alla faccia posteriore della coscia e della gamba.

I rami glutei, in numero di tre o quattro, piegano in alto intorno al margine inferiore del grande gluteo e innervano la cute che riveste la parte inferiore e laterale di questo muscolo.

Il ramo perineale cede rami alla cute della parte alta della faccia mediale della coscia e poi piega in avanti, sotto la tuberosità ischiatica, incrociando il tratto iniziale dei tendini degli estensori della coscia; perfora la fascia lata e decorre nel sottocutaneo del perineo, distribuendosi alla cute dello scroto, nel maschio, e del grande labbro nella donna, e anastomizzandosi con il nervo rettale inferiore e con i rami scrotali (o labiali) posteriori del nervo del perineo.

I rami per la faccia posteriore della coscia e della gamba sono numerosi ramuscoli che si staccano dal nervo sia medialmente che lateralmente, e

innervano la cute della faccia posteriore e di quella mediale della coscia, della fossa poplitea e della parte alta della faccia posteriore della gamba.

7) Innervazione autonoma

6.6) *Parasimpatico*

I corpi cellulari dei neuroni pre-gangliari del parasimpatico sacrale si trovano nella parte intermediolaterale dei segmenti S2-S4 del midollo spinale. Gli assoni dei neuroni pre-gangliari lasciano il midollo attraverso le radici anteriori, decorrono nei nervi pelvici e raggiungono i gangli del plesso pelvico i cui neuroni sono situati in vicinanza e all'interno della parete degli organi bersaglio (Kandel et al., 1994). A livello del canale anale le fibre pregangliari parasimpatiche sinapsano con neuroni mioenterici colinergici che innervano la muscolatura longitudinale e neuroni non-colinergici non-adrenergici che innervano la muscolatura circolare dello sfintere interno dell'ano (Bouvier and Gonella, 1984).

Il parasimpatico svolge un'azione eccitatoria sulla muscolatura del retto, colon e vescica; inibente sullo sfintere liscio dell'uretra e dell'ano, vasodilatatrice al tessuto erettile del pene e clitoride (De Groat, 1992).

6.7) *Ortosimpatico*

Le cellule pregangliari della sezione simpatica formano una colonna che si estende dal primo segmento toracico ai primi segmenti lombari (Kandel et al., 1994). I corpi cellulari sono disposti principalmente a livello della sostanza grigia intermedio-laterale. Gli assoni dei neuroni pregangliari fuoriescono dal midollo spinale con le radici ventrali ed entrano a far parte del nervo spinale quindi abbandonano le fibre somatiche formando i rami comunicanti bianchi che si portano ai gangli della catena paravertebrale. Le fibre post-gangliari che originano da neuroni dei gangli del tronco del simpatico, sottili e mieliniche, si distribuiscono agli organi effettori seguendo direttamente un ramo periferico del ganglio per raggiungere un viscere o qualche altro territorio, oppure possono passare tramite un ramo comunicante grigio al nervo spinale (Gray's anatomy, 2005). Possono così andare ad innervare lungo i rami anteriore e posteriore del nervo spinale e i loro collaterali, i vasi sanguigni, le ghiandole sudoripare, i muscoli erettori dei peli e altre formazioni nel territorio di distribuzione del nervo stesso. I rami comunicanti grigi possono raggiungere il proprio nervo spinale o direttamente dai corrispondenti gangli o ascendendo o discendendo nel tronco del simpatico per raggiungere i nervi spinali dei segmenti craniali e sacrali. La distribuzione cutanea delle fibre simpatiche assume pertanto la distribuzione dermatomera del nervo periferico attraverso il quale queste fibre viaggiano.

Bibliografia:

- Aanestad O, Flink R. Urinary stress incontinence. A urodynamic and quantitative electromyographic study of the perineal muscles. *Acta Obstet Gynecol Scand.* 1999 Mar;78(3):245-53.
- Ayoub SF. Anatomy of the external anal sphincter in man. *Acta Anat* 1979; 105: 25-36.
- Beersiek F, Parks AG, Swash M. Pathogenesis of ano-rectal incontinence. A histometric study of the anal sphincter musculature. *J Neurol Sci.* 1979 Jun;42(1):111-27.
- Benson JT. Neurophysiologic control of lower urinary tract. *Obstet Gynecol Clin North Am.* 1989 Dec;16(4):733-52.
- Berry MM, Standring SM, Bannister LH. Nervous system. In: Williams PL, editor. *Gray's anatomy. The anatomical basis of medicine and surgery*, 38th ed. New York: Churchill Livingstone; 1995. pp 1287-1288.
- Bharucha AE. Pelvic floor: anatomy and function. *Neurogastroenterol Motil.* 2006 Jul;18(7):507-19. Review.
- Bogduk N. Issues in anatomy: the external anal sphincter revisited. *Aust N Z J Surg.* 1996 Sep;66(9):626-9.
- Borirakchanyavat S, Aboseif SR, Carroll PR, Tanagho EA, Lue TF. Continence mechanism of the isolated female urethra: an anatomical study of the intrapelvic somatic nerves. *J Urol.* 1997 Sep;158(3 Pt 1):822-6
- Bors E., and Comarr, A. E. *Neurological Urology: Physiology of micturition, in neurological disorders and sequelae.* Baltimore, University Park Press, 1971.
- Bouvier M. and Gonella, J. Nervous control of the internal anal sphincter of the cat. *J Physiol* 1984, 310: 457.
- Campbell's urology. Philadelphia: Saunders; 2002.
- Cook TA, Mortensen N. Colon, rectum, anus, anal sphincters and the pelvic floor. In: Pemberton JH, Swash M, Henry MM, eds. *The Pelvic Floor. Its functions and disorders.* London: Saunders, 2002:61-76.
- De Groat WC 1992. Neural control of urinary bladder and sexual organs. In: Bannister R, Marthias CJ. *Autonomic failure: a textbook of clinical disorders of the autonomic nervous system.* Oxford Medical Publishers: Oxford: 129-159.
- DeLancey JO. Correlative study of paraurethral anatomy. *Obstet Gynecol.* 1986 Jul;68(1):91-7.

Dixon J, Gosling J. Structure and innervation in the human. In: Torrens M, Morrison JFB, editors. The physiology of the lower urinary tract. London: Springer; 1987. p 3-22.

Dorschner W, Biesold M, Schmidt F, Stolzenburg JU. The dispute about the external sphincter and the urogenital diaphragm. J Urol. 1999 Dec;162(6):1942-5.

Enck P, Hinninghofen H, Wietek B, Becker HD. Functional asymmetry of pelvic floor innervation and its role in the pathogenesis of fecal incontinence. Digestion. 2004;69(2):102-11. Epub 2004a Apr 14. Review.

Enck P, Franz H, Azpiroz F, Fernandez-Fraga X, Hinninghofen H, Kaske-Bretag K, Bottin A, Martina S, Merletti R. Innervation zones of the external anal sphincter in healthy male and female subjects. Preliminary results. Digestion. 2004;69(2):123-30. Epub 2004b Apr 14

Enck P, Hinninghofen H, Merletti R, Azpiroz F. The external anal sphincter and the role of surface electromyography. Neurogastroenterol Motil. 2005 Jun;17 Suppl 1:60-7.

Fritsch H, Brenner E, Lienemann A, Ludwikowski B. Anal sphincter complex: reinterpreted morphology and its clinical relevance. Dis Colon Rectum. 2002 Feb;45(2):188-94.

Gagnard C, Godlewski G, Prat D, Lan O, Cousineau J, Maklouf Y. The nerve branches to the external anal sphincter: the macroscopic supply and microscopic structure. Surg Radiol Anat. 1986;8(2):115-9.

Gray's anatomy. Edinburgh: Elsevier; 2005.

Gosling JA, Dixon JS, Critchley HO, Thompson SA. A comparative study of the human external sphincter and periurethral levator ani muscles. Br J Urol. 1981 Feb;53(1):35-41.

Juenemann KP, Lue TF, Schmidt RA, Tanagho EA. Clinical significance of sacral and pudendal nerve anatomy. J Urol. 1988 Jan;139(1):74-80. Review.

Johansson C, Nilsson BY, Mellgren A, Dolk A, Holmström B. Paradoxical sphincter reaction and associated colorectal disorders. Int J Colorectal Dis. 1992 Jun;7(2):89-94.

Hamdy S, Enck P, Aziz Q, Uengoergil S, Hobson A, Thompson DG. Laterality effects of human pudendal nerve stimulation on corticoanal pathways: evidence for functional asymmetry. Gut. 1999 Jul;45(1):58-63.

Huang JC, Deletis V, Vodusek DB, Abbott R. Preservation of pudendal afferents in sacral rhizotomies. Neurosurgery. 1997 Aug;41(2):411-5.

Kandel E.R., Schwartz J.H., Jessell T.M. Principi di Neuroscienze. 1994.

Kuzuhara S, Kanazawa I, Nakanishi T. Topographical localization of the Onuf's nuclear neurons innervating the rectal and vesical striated sphincter muscles: a retrograde fluorescent double labeling in cat and dog. Neurosci Lett. 1980 Feb;16(2):125-30.

Yamamoto T, Satomi H, Ise H, Takatama H, Takahashi K. Sacral spinal innervations of the rectal and vesical smooth muscles and the sphincteric striated muscles as demonstrated by the horseradish peroxidase method. Neurosci Lett. 1978 Jan;7(1):41-7.

- Lapides, J. Structure and function of the internal vesical sphincter. *J Urol*. 1958 Nov;80(5):341-53.
- Lierse W, Holschneider AM, Steinfeld J. The relative proportions of type I and type II muscle fibers in the external sphincter ani muscle at different ages and stages of development--observations on the development of continence. *Eur J Pediatr Surg*. 1993 Feb;3(1):28-32
- Marani E, Pijl ME, Kraan MC, Lycklama à Nijeholt GA, Videleer AC. Interconnections of the upper ventral rami of the human sacral plexus: a reappraisal for dorsal rhizotomy in neurostimulation operations. *Neurourol Urodyn*. 1993;12(6):585-98.
- Matzel KE, Stadelmaier U, Hohenfellner M, et al. Asymmetry of the pudendal motor function assessed during intraoperative monitoring. *Gastroenterology*. 1999, 116:A1937.
- Merletti R, Bottin A, Cescon C, Farina D, Gazzoni M, Martina S, Mesin L, Pozzo M, Rainoldi A, Enck P. Multichannel surface EMG for the non-invasive assessment of the anal sphincter muscle. *Digestion*. 2004;69(2):112-22. Epub 2004 Apr 14
- Mesin L, Gazzoni M, Merletti R. Automatic localisation of innervation zones: a simulation study of the external anal sphincter. *J Electromyogr Kinesiol*. 2009 Dec;19(6):e413-21. Epub 2009 Mar 9.
- Middelsdorf P, Von Giesen HJ, Schneider J, et al. Extend of functional asymmetry of the external anal sphincter muscle in healthy volunteers. *Neurogastroenterology*. 1998, 10:439.
- Milligan ETC, Morgan CN. Surgical anatomy of the anal canal, with special reference to anorectal fistulae. *Lancet* 1934; 2: 1150-1156.
- Nichols DH, Randall CL. Anatomical considerations in vaginal surgery, 4th ed. Nichols DH, Randall CLR (editors). Baltimore: William & Wilkins; 1996. pp 20-21.
- Oelrich TM. The striated urogenital sphincter muscle in the female. *Anat Rec*. 1983 Feb;205(2):223-32.
- Percy JP, Neill ME, Swash M, Parks AG. Electrophysiological study of motor nerve supply of pelvic floor. *Lancet*. 1981 Jan 3;1(8210):16-7.
- Punkt K, Mehlhorn H, Hilbig H. Region- and age-dependent variations of muscle fibre properties. *Acta Histochem*. 1998 Feb;100(1):37-58.
- Rivas DA, Chancellor MB. Neurogenic vesical dysfunction. *Urol Clin North Am* 1995; 22: 579-591.
- Roberts MM. Neurophysiology in neurourology. *Muscle Nerve*. 2008 Jul;38(1):815-36. Review.
- Roppolo JR, Nadelhaft I, de Groat WC. The organization of pudendal motoneurons and primary afferent projections in the spinal cord of the rhesus monkey revealed by horseradish peroxidase. *J Comp Neurol*. 1985 Apr 22;234(4):475-88.
- Rosse C, Gaddum-Rosse P. Hollinshead's textbook of anatomy. Philadelphia: Lippincott-Raven; 1997.

Schröder HD. Organization of the motoneurons innervating the pelvic muscles of the male rat. *J Comp Neurol*. 1980 Aug 1;192(3):567-87.

Schröder HD. Onuf's nucleus X: a morphological study of a human spinal nucleus. *Anat Embryol (Berl)*. 1981;162(4):443-53.

Schröder HD, Reske-Nielsen E. Fiber types in the striated urethral and anal sphincters. *Acta Neuropathol*. 1983;60(3-4):278-82.

Shafik A. A concept of the anatomy of the anal sphincter mechanism and the physiology of defecation. *Dis Colon Rectum*. 1987 Dec;30(12):970-82.

Shafik A. Neuronal innervation of urethral and anal sphincters: surgical anatomy and clinical implications. *Curr Opin Obstet Gynecol*. 2000 Oct;12(5):387-98.

Snooks SJ, Barnes PR, Swash M. Damage to the innervation of the voluntary anal and periurethral sphincter musculature in incontinence: an electrophysiological study. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1984 Dec;47(12):1269-73

Stoker J, Halligan S, Bartram CI. Pelvic floor imaging. *Radiology*. 2001 Mar;218(3):621-41. Review.

Stoker J. Anorectal and pelvic floor anatomy. *Best Pract Res Clin Gastroenterol*. 2009;23(4):463-75. Review.

Stottrop K, Schnitzler A, Witte OW, et al. Cortical representation of the anal canal. *Gastroenterology*. 1998; 114:A167.

Sumino Y, Sato F, Kumamoto T, Mimata H. Striated muscle fiber compositions of human male urethral rhabdosphincter and levator ani. *J Urol*. 2006 Apr;175(4):1417-21.

Thor KB. Serotonin and norepinephrine involvement in efferent pathways to the urethral rhabdosphincter: implications for treating stress urinary incontinence. *Urology*. 2003 Oct;62(4 Suppl 1):3-9. Review.

Thor KB, de Groat WC. Neural control of the female urethral and anal rhabdosphincters and pelvic floor muscles. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2010 Aug; 299(2): 416-38. Epub 2010 May 19. Review.

Turnbull GK, Hamdy S, Aziz Q, Singh KD, Thompson DG. The cortical topography of human anorectal musculature. *Gastroenterology*. 1999 Jul;117(1):32-9.

Vodusek DB. Anatomy and neurocontrol of the pelvic floor. *Digestion*. 2004;69(2):87-92. Epub 2004 Apr 14. Review.

Wexner SD, Jorge JMN. Anatomy and embryology of the anus, rectum and colon. In *Colon and rectal surgery*, 4th ed. Corman ML (editor). Philadelphia: Lippincott-Raven; 1998. pp. 1-26.

Wietek BM, Hinninghofen H, Jehle EC, Enck P, Franz HB. Asymmetric sphincter innervation is associated with fecal incontinence after anal sphincter trauma during childbirth. *Neurourol Urodyn*. 2007;26(1):134-9

Witscher K, Greving I, Liepert J, et al. A bihemispheric representation of the anal sphincter on the human motor cortex. *Gastroenterology*. 1998 114: A1130.

Wunderlich M, Swash M. The overlapping innervation of the two sides of the external anal sphincter by the pudendal nerves. *J Neurol Sci*. 1983 Apr;59(1):97-109.