

Étude anatomique et immunohistochimique de l'innervation pelvipérinéale de la femme avec reconstruction 3D. Peut-on encore diminuer les séquelles sexuelles et urinaires de la dissection rectale pour cancer ?

Female pelvic-perineal innervation: anatomical and immunohistochemical study with 3D reconstruction. Can we still reduce sexual and urinary dysfunctions after rectal dissection for cancer ?

D Moszkowicz [1], B Alsaïd [1], G Benoit [1], F Peschaud [1,2,3]

1. Laboratoire de chirurgie expérimentale EA 4122 - Faculté de Médecine, Université Bicêtre-Paris 11 - 94270 Le Kremlin-Bicêtre
2. Département de Chirurgie, Hôpital Ambroise Paré (AP-HP), Boulogne-Billancourt, France
3. Université PIFO, Saint-Quentin-en-Yvelines, France

Mots clés

- ◆ Bandelette neuro-vasculaire
- ◆ Cancer du rectum
- ◆ Clitoris
- ◆ Dissection Anatomique Assistée par Ordinateur
- ◆ Dysfonction sexuelle neurogène de la femme
- ◆ Nerf caverneux du clitoris
- ◆ Nerf spongieux
- ◆ Proctectomie

Résumé

Introduction. Le traitement de l'adénocarcinome rectal implique l'exérèse extrafasciale du mésorectum associée à la préservation de l'innervation autonome à destinée génito-urinaire. Les dysfonctions urinaires et sexuelles sont néanmoins fréquentes au décours de cette chirurgie, particulièrement si la tumeur est antérieure, si elle est fixée ou si le pelvis est étroit. Une meilleure connaissance de l'anatomie de l'innervation pelvipérinéale pourrait contribuer à améliorer les résultats des techniques chirurgicales de préservation nerveuse.

Matériel et méthodes. Afin d'identifier la localisation et la fonction (nitroergique, sympathique-adrénergique, parasymphatique-cholinergique et sensitive) des fibres nerveuses destinées au clitoris et au sphincter urétral, des coupes sériées du petit bassin de sept fœtus humains féminins (de 18 à 32 semaines de gestation) ont été traitées par techniques histologiques et immunohistochimiques, numérisées puis reconstruites en 3 dimensions et animées.

Résultats. Les structures nerveuses afférentes au plexus hypogastrique inférieur (PHI) - nerfs splanchniques pelviens (NSP), nerfs splanchniques sacraux (NSS) et nerfs hypogastriques (NH) - sont richement interconnectées et véhiculent de façon mixte l'influx sympathique et parasymphatique pelvien. Ces structures sont facilement identifiables (pour les NH) ou situées à distance du plan de l'exérèse rectale (pour les NSP, NSS) et sont donc peu à risque lors de la dissection rectale postérieure. Les fibres nerveuses issues de la partie distale du PHI et responsables de la fonction sexuelle convergent vers le diaphragme uro-génital. Elles sont regroupées et associées aux pédicules vasculaires vaginaux longs pour former les bandelettes neuro-vasculaires (BNV), situées à 2 et 10 heures sur la face antérolatérale du rectum, véhiculant des fibres sympathiques, parasymphatiques, nitroergiques et sensibles. Ces troncs neurovasculaires regroupant l'ensemble des fibres nerveuses érectiles destinées au périnée (cholinergiques et nNOS +) peuvent être lésés lors de la dissection antérolatérale du rectum. Ces BNV envoient des fibres nerveuses destinées à la paroi postérieure du vagin, qui se situent en avant du septum recto-vaginal (SRV). Trois efférences principales sont issues des BNV à hauteur du bas rectum : le plexus urétral, destiné au sphincter urétral, le nerf caverneux, destiné aux corps caverneux du clitoris et le nerf spongieux, destiné aux bulbes vestibulaires. La dissection antérolatérale du rectum devrait donc, si les conditions carcinologiques le permettent, passer dans un plan situé entre le prolongement latéral postérieur du SRV en arrière et la face postérieure de la BNV en avant. En effet, une lésion tronculaire des BNV au cours de cette dissection, où convergent l'ensemble des fibres destinées à l'innervation des corps érectiles et du sphincter urétral, pourrait conduire à une dysfonction multiple avec trouble de la continence, de la tumescence clitoridienne et de la sécrétion génitale.

Conclusions. Notre « Dissection anatomique assistée par ordinateur » a permis de préciser la distribution et la fonction des fibres nerveuses autonomes destinées aux organes génitaux et à l'urètre. Cela a permis d'approfondir la connaissance des bases anatomiques et physiologiques utiles au développement des techniques chirurgicales de préservation nerveuse, participant ainsi à une meilleure compréhension des dysfonctions sexuelles et urinaires neurogènes postopératoires.

Correspondance :

Dr Frédérique Peschaud (MCU-PH)

Service de Chirurgie Oncologique et digestive, Hôpital Ambroise Paré, 9 Avenue Charles de Gaulle, 92100 Boulogne, France. E-mail: frederique.peschaud@apr.aphp.fr

Keywords

- ◆ Cavernous nerve of clitoris
- ◆ Clitoris
- ◆ Computer-Assisted Anatomic Dissection
- ◆ Female neurogenic sexual dysfunction
- ◆ Neurovascular bundle
- ◆ Proctectomy
- ◆ Rectal cancer
- ◆ Spongious Nerve

Abstract

Introduction. Optimal treatment of rectal adenocarcinoma involves total mesorectal excision with nerve-preserving dissection. Urinary and sexual dysfunction is still frequent following these procedures, particularly when the tumour is located anterolaterally, when it is fixed and when the pelvis is narrow. Improved knowledge of pelvic nerve anatomy may help to optimize surgical nerve preservation.

Methods. To identify the location and function (nitroergic, sympathetic-adrenergic, parasympathetic-cholinergic and sensitive) of genitals and urethral sphincter neural supply, serial transverse sections were obtained from seven human female fetuses (18-32 weeks of gestation) and subjected to histological and immunohistochemical investigations; digitized serial sections were used to construct a 3D animated representation of the pelvis.

Results. Inferior hypogastric plexus (IHP) afferences - pelvic splanchnic nerves (PSN), sacral splanchnic nerves (SSN) and hypogastric nerves (HN) - are widely interconnected and support a mixed sympathetic and parasympathetic neural impulse. These nerve structures are easily recognized (as HN) or are located from afar the dissection plane (PSN, SSN) and are at low risk of injury during posterior rectal dissection. Nerve efferences originating from the IHP distal part convey the sexual erectile impulse and converge to the pelvic floor. They are grouped with the vaginal pedicles, forming a neurovascular bundle (NVB), located at 2 and 10 o'clock at the rectum anterolateral wall, conveying sympathetic, parasympathetic, nitroergic (cholinergic-nNOS+) and sensitive fibers. These neurovascular trunks can be injured during rectal anterolateral dissection. These NVBs send nerve branches to the vagina posterior wall, that course at the anterior side of the rectovaginal septum (RVS). Three main efferences originate from the NVB at the low rectum level: the urethral plexus, for the urethral sphincter, the cavernous nerve, for the corpora cavernosa of clitoris, and the spongious nerve, for the vestibular bulbs. The NVBs are situated anteriorly to the posterior extension of rectovaginal septum and, if oncologically reasonable, a careful dissection to the anterior mesorectum to develop a dissection behind the posterior extension of rectovaginal septum would be preferable. In fact, multiple dysfunctions affecting urinary continence, clitoral tumescence and genital secretion could result from a NVB injury.

Conclusions. "Computer-assisted anatomic dissection" allowed the identification of the precise function and distribution of the autonomic neural supply to the female genitals and urethra, providing an anatomical basis for nerve-sparing surgical techniques, and participating to the understanding of postoperative neurogenic sexual and urinary dysfunctions.

La proctectomie avec exérèse totale du mésorectum (ETM) et préservation nerveuse est la chirurgie de référence du cancer du rectum (1). Cette chirurgie est associée à des séquelles urinaires et sexuelles dans 10 à 70 % des cas liées, notamment, à des lésions iatrogènes des nerfs pelvi-périnéaux (2). Ces nerfs peuvent être lésés en plusieurs endroits - plexus hypogastrique supérieur (PHS), nerfs hypogastriques (NH), plexus hypogastriques inférieurs (PHI) et branches efférentes - car leur identification précise peut être difficile en raison de leur taille et de leur proximité avec les organes pelviens (3). La connaissance approfondie de cette innervation pelvienne est donc nécessaire pour la prise en charge des cancers du rectum.

La réponse sexuelle est régulée par les systèmes nerveux somatique et autonome, périphérique et central. Au niveau périphérique, la réponse sexuelle dépend de l'activation, par le système autonome, de mécanismes de contrôle neuromusculaires et vasoactifs impliqués dans la congestion des corps érectiles et de la muqueuse vaginale et dans la lubrification vaginale (4). De plus, un arc réflexe d'afférences génitales passant par les nerfs somatiques pudendaux contrôle la contraction orgasmique des muscles striés du périnée. L'oxyde nitrique (NO) est le principal médiateur physiologique de la fonction érectile, et son enzyme de synthèse, la NO synthétase (NOS), est exprimée dans le tissu caverneux du clitoris et du vagin humains, dans les nerfs du système nerveux autonome et dans les endothéliums vasculaires et sinusoidaux (5, 6). La rupture de l'intégrité des commandes nerveuses mais aussi hormonales et vasculaires de la réponse sexuelle sont donc susceptibles d'interférer avec la fonction sexuelle, bien que des facteurs psychologiques et relationnels puissent y jouer des rôles importants (7).

La majorité des travaux s'intéressant aux séquelles sexuelles après proctectomie sont réalisés chez l'homme et très peu de travaux concernent exclusivement les femmes chez qui l'anatomie de l'innervation pelvipérinéale est mal connue (8). La réduction de ces séquelles fonctionnelles postopératoires nécessite une meilleure compréhension de l'anatomie nerveuse pelvi-périnéale, qui peut être éclaircie par de nouvelles techniques d'étude. En effet, l'anatomie topographique de l'innervation pelvienne est classiquement étudiée par dissection macroscopique des nerfs sur sujet frais ou formolés et la dissection de l'environnement adipeux et osseux des structu-

res nerveuses présentent le risque de détruire les nerfs ou de perturber leur organisation spatiale. L'utilisation combinée d'un prélèvement macroscopique en bloc et de méthodes immunohistochimiques permet de respecter l'intégrité des nerfs et de détecter les neurotransmetteurs au sein des tissus nerveux. Ces techniques permettent d'obtenir des renseignements précis sur le trajet, le type de fibres et leurs rapports anatomiques. De plus à partir de ces coupes histologiques immunomarquées et des techniques de traitement d'images en 3D par ordinateur, il est possible de reconstruire, de visualiser dans l'espace, et d'animer les structures anatomiques afin de réaliser une Dissection Anatomique Assistée par Ordinateur (DAAO) (9, 10).

Pour contribuer à améliorer les résultats fonctionnels sexuels de la chirurgie d'exérèse rectale pour cancer chez la femme, les objectifs de ce travail étaient d'étudier l'anatomie topographique et structurelle de l'innervation pelvi-périnéale chez le fœtus féminin en utilisant la technique de Dissection Anatomique Assistée par Ordinateur (DAAO) et de compléter cette étude par une étude du septum recto-vaginal sur sujet anatomique adulte afin d'améliorer la compréhension des déterminants anatomiques et physiologiques des dysfonctions sexuelles et urinaires survenant après proctectomie.

Matériel et méthode

Des coupes sériées de 5 µm d'épaisseur ont été effectuées tous les 50 à 150 µm sur le bassin de sept fœtus humains de sexe féminin entre 18 et 32 semaines de gestation. Les coupes ont été traitées manuellement par l'Hématoxyline-Eosine et le trichrome de Masson puis immunomarquées pour détecter les fibres nerveuses (anticorps anti-protéine S-100), les fibres somatiques (anticorps anti-PMP22), les fibres autonomes adrénergiques (anticorps anti-TH, *tyrosin hydroxylase*) et cholinergiques (anticorps anti-VAcHT, *vesicular acetylcholine transporter*), les fibres sensibles (anticorps anti-CGRP, *calcitonin gene related peptid*) et les fibres érectiles (anticorps anti-nNOS, *neural nitric oxide synthase*) ainsi que l'actine lisse des sphincters. Les lames ont ensuite été numérisées par un scanner de haute résolution optique et les images bidimensionnelles ont été reconstruites manuellement en trois dimensions par contourage des structures anatomiques (logiciel Surfdriver

pour Windows, Winsurf) puis traitées par un logiciel d'animation.

Les organes pelviens de six sujets adultes de sexe féminin (77-89 ans) ont été prélevés en bloc puis sectionnés dans le sens sagittal et les coupes histologiques ont été traitées par le trichrome de Masson pour identifier les fibres conjonctives des fascias, l'anticorps anti-protéine S100 pour identifier les fibres nerveuses et l'anticorps anti-actine lisse pour identifier les fibres musculaires lisses des fascias.

Résultats

Branches afférentes du plexus hypogastrique inférieur

Les structures nerveuses afférentes du plexus hypogastrique inférieur (PHI) - nerfs splanchniques pelviens (NSP), nerfs splanchniques sacraux (NSS) et nerfs hypogastriques (NH) - sont richement interconnectées et véhiculent de façon mixte l'influx sympathique-adrénergique (TH positif) et parasympathique-cholinergique (VAcHT positif) pelvien (tableau 1).

Branches efférentes du plexus hypogastrique inférieur - Rapports avec le septum recto-vaginal

Les fibres nerveuses issues de la partie distale du PHI et responsables de la continence urinaire et de la fonction sexuelle convergent vers le diaphragme pelvien. Elles sont regroupées et associées au pédicule vasculaire vaginal long pour former la bandelette neurovasculaire (BNV) constituée de fibres nerveuses adrénergiques (TH+), cholinergiques (VAcHT+), sensibles (CGRP+) et nitrergiques (nNOS+) et située à 2 et 10 heures sur la face antérolatérale du rectum. Ce tronc neurovasculaire regroupe l'ensemble des fibres nerveuses érectiles destinées au périnée.

Trois efférences principales sont issues de cette BNV à hauteur du bas rectum : le plexus urétral, destiné au sphincter urétral, le nerf caverneux, destiné aux corps caverneux du clitoris et le « nerf spongieux », destiné aux bulbes vestibulaires du clitoris (vidéo 1). Ces plexus nerveux sont riches en fibres nitrergiques-cholinergiques (nNOS+) (tableau 1).

Le septum rectovaginal (SRV, équivalent masculin du fascia de Denonvilliers) est une structure mixte contenant des fibres conjonctives et des fibres musculaires lisses issues de l'utérus et du vagin. Latéralement, il émet deux extensions, antérieure qui fusionne avec le fascia vaginal et postérieure qui fusionne avec le fascia viscéral rectal, en forme de « Y allongé ». La BNV envoie des fibres nerveuses destinées à la paroi postérieure du vagin qui se situent en avant du SRV sur la ligne médiane. Latéralement, le tronc de la BNV se situe en avant de l'extension postérieure du SRV.

Discussion

Anatomie appliquée à la technique chirurgicale de résection rectale et aux résultats fonctionnels sexuels et urinaires postopératoires

Notre étude a permis de discuter la conception classique de l'innervation intra-pelvienne de la femme et des zones à risque de blessure nerveuse (11). Les structures classiquement considérées comme purement sympathiques ou parasympathiques ne véhiculent pas qu'un seul type d'influx et sont, par ailleurs, richement interconnectées. De plus, certaines struc-

	Sympathique	Parasympathique	Sensitif	
	TH	VAcHT	nNOS	CGRP
NH	+++	+	+	+
TS	+++	++	++	+
NSP	mixte	mixte	?	+
BNV	mixte	mixte	Dense Regroupement péri-artériel	+
NC	++	+++	100 %	0
NS	mixte	mixte	++	+

Tableau 1. Résumé de la répartition des neurotransmetteurs pelvipérinéaux.

NH : nerf hypogastrique ; TS : tronc sympathique ; NSP : nerf splanchnique pelvien ; BNV : bandelette neurovasculaire, NC : nerf caverneux ; NS : « nerf spongieux » ; NDC : nerf dorsal du clitoris ; TH : anti-tyrosine hydroxylase ; VAcHT : anti-transporteur vésiculaire de l'acétylcholine ; nNOS : neural Nitric Oxide Synthase ; CGRP : Calcitonin Gene Related Peptid.

tures sont apparues comme situées à distance du plan de l'exérèse rectale et d'autres comme beaucoup plus exposées lors de la dissection du rectum.

Ligature de l'artère mésentérique inférieure et dissection rectale postérieure

La préservation du plexus mésentérique inférieur lors de la ligature de l'artère mésentérique inférieure et la préservation des nerfs hypogastriques par clivage rétrorectal en avant du fascia préhypogastrique (12) sont bien connues des chirurgiens. Notre étude immunohistochimique a permis de mettre en évidence, au sein du plexus hypogastrique supérieur (PHS) et du nerf hypogastrique (NH), la coexistence de fibres cholinergiques (VAcHT+) et adrénergiques (TH+). Classiquement, ces nerfs sont considérés comme purement sympathiques (adrénergiques) (9, 13). La présence des fibres cholinergiques au sein des NH peut avoir plusieurs explications. Dans un travail récent de notre équipe, l'origine des fibres cholinergiques cheminant dans le NH était attribuée à trois sources possibles : des fibres du nerf vague (X) parasympathiques qui seraient transmises aux NH par les plexus coélique, mésentérique et hypogastrique supérieur ; des fibres ascendantes issues des nerfs splanchniques pelviens *via* le plexus hypogastrique inférieur (PHI) ; des fibres pré-ganglionnaires sympathiques issues des nerfs splanchniques lombaires ou thoraciques traversant les ganglions mésentériques pour rejoindre les plexus hypogastriques supérieur et inférieur (9). Ainsi, les fibres cholinergiques du NH sont soit des fibres sympathiques pré-ganglionnaires soit des fibres parasympathiques. Nos résultats sont en faveur de cette dernière hypothèse, puisque ces mêmes fibres sont simultanément cholinergiques et nNOS positives et ont donc un effet de relaxation musculaire lisse, phénomène attribué au système nerveux autonome parasympathique. Au vu de nos résultats immunohistochimiques, le traumatisme chirurgical des NH, structures classiquement considérées comme purement sympathiques responsables de l'éjaculation, pourrait être responsable d'insuffisance érectile, ce qui est corroboré par les résultats d'études cliniques (14). Nous avons montré la coexistence, dans le tronc sympathique paravertébrale (TS), d'un contingent mixte de fibres adrénergiques (anticorps anti-TH) sympathiques, mais aussi de fibres cholinergiques (anticorps anti-VAcHT) et nNOS positives (anticorps anti-nNOS) parasympathiques. De même, les nerfs splanchniques pelviens véhiculent une innervation mixte adrénergique et cholinergique. Cependant, la topographie de ces structures nerveuses, en dehors de curages ganglionnaires latéraux extensifs, les rend peu vulnérables au traumatisme chirurgical lors de l'exérèse totale du mésorectum.

Dissection rectale antérolatérale

Nous devons à Walsh la description originelle aujourd'hui précisée, notamment par notre équipe, de la bandelette neurovasculaire latéro-prostatique (10, 15, 16). À l'occasion de nos travaux, destinés à comprendre les déterminants anatomiques de séquelles sexuelles de la chirurgie rectale pour cancer chez la femme, nous avons pu mettre en évidence une concentration de fibres nerveuses à la face antérolatérale du rectum et postérolatérale du vagin à l'origine de l'innervation des corps érectiles et du sphincter urétral de la femme. L'existence de cette bandelette nerveuse, appelée parfois « plexus vaginal » (17), a déjà été évoquée mais sans systématisation morphologique ni fonctionnelle. Elle est souvent assimilée au seul nerf caverneux. Au cours de cette étude, nous avons pu décrire précisément cette BNV qui se distribue en fait dans trois directions principales, formant le plexus urétral (PU), le nerf caverneux (NC) et le « nerf spongieux » (NS) (18). La majorité des fibres de la BNV, après le départ du NC, convergent vers les bulbes vestibulaires (BV, ou bulbes du clitoris), équivalent du corps spongieux de l'homme. Ainsi nous avons proposé de regrouper sous le terme de « nerf spongieux » l'ensemble des fibres nerveuses destinées à ces BV. D'autre part, l'existence de communications entre le nerf dorsal du clitoris (NDC) et le nerf caverneux (NC) a été mise en évidence dans nos travaux et a déjà été évoquée et discutée dans la littérature, chez la femme comme chez l'homme (17, 19, 20). Ces communications pourraient expliquer la conservation de la fonction érectile après prostatectomie radicale sans préservation nerveuse (21) et être impliquées dans les phénomènes de plasticité nerveuse observés après lésion nerveuse (19). L'innervation des corps érectiles de la femme, corps caverneux (CC) et bulbes vestibulaires (BV) qui composent tous deux le clitoris (22), dépend donc d'une double commande : commande autonome, par le nerf caverneux (NC) pour les corps caverneux (CC) et par le nerf spongieux (NS) pour les bulbes vestibulaires (BV), tous deux riches en fibres érectiles nNOS positives ; commande somatique, par le nerf dorsal du clitoris (NDC), branche du nerf pudendal, qui prend le relai de l'activité érectile du clitoris distal par l'intermédiaire de branches communicantes issues du NDC. L'influx cholinergique/parasympathique et nitreurgique contenu dans la BNV et dans le NC devrait être responsable du phénomène de tumescence clitoridienne par vasodilatation et augmentation de la pression intra-caverneuse. Nous avons par ailleurs constaté que le NC ne contient pas de fibre sensitive, comme cela avait été remarqué chez l'homme (10). La fonction sensitive du clitoris pourrait donc être supportée par le système nerveux somatique sensitif véhiculé par les branches terminales du nerf pudendal (NDC, nerf périnéal). Les fibres sensibles contenues dans la BNV et dans le NS, qui coexistent avec des fibres cholinergiques et adrénérgiques, pourraient être des fibres sensibles autonomes dirigées vers les bulbes vestibulaires et/ou jouant un rôle dans la sensibilité à la distension des glandes périnéales.

Ainsi, notre étude chez le fœtus a permis de mettre en évidence des zones semblant particulièrement exposées lors de la dissection du rectum sous péritonéal. Lors de l'ouverture du fond du cul de sac rectovaginal (Douglas) sur la ligne médiane, la partie proximale du septum rectovaginal (SRV) n'apparaît pas comme une structure indépendante individualisable, car il s'agit plutôt de fines couches de tissu conjonctif et musculaire lisse. Le clivage entre la face postérieure du vagin et la face antérieure du rectum devrait se faire en arrière du SRV à condition d'obtenir une marge de résection circonférentielle antérieure suffisante. En effet, cette dissection respecterait les fibres nerveuses destinées à la paroi vaginale postérieure et situées en avant de ce septum. Parmi ces fibres, certaines sont nNOS positives, intervenant probablement dans la vasomotricité de la paroi vaginale et jouant ainsi un rôle dans la lubrification vaginale (5).

En poursuivant cette dissection latéralement et vers le bas, à

hauteur du moyen rectum puis du bas rectum, les bandelettes neurovasculaires (BNV) sont plus exposées, car situées à 2 et 10 heures à la face antérieure du rectum. Il semble exister un plan de dissection permettant de préserver la BNV, entre le prolongement latéral du septum rectovaginal (SRV) fusionné au fascia viscéral rectal et le bord postérieur de la BNV. Il conviendrait donc, lors de la dissection antérolatérale du rectum, de rejoindre aussi directement que possible la face antérieure du rectum, dans un plan situé entre le prolongement latéral du SRV en arrière et la face postérieure de la BNV en avant, afin de ne pas étendre la dissection vers le tronc de la BNV. En effet, une lésion tronculaire de la BNV au cours de cette dissection, où convergent l'ensemble des fibres destinées à l'innervation des corps érectiles et du sphincter urétral, pourrait conduire à une dysfonction multiple avec trouble de la continence, de la tumescence clitoridienne et de la lubrification vulvaire car, à ce niveau, les efférences sympathiques et parasympathiques coexistent. De plus, cette innervation est terminale, à la différence des afférences du PHI qui sont richement interconnectées. En effet, le NC, dernière collatérale de la BNV, est érectile pur à dominance parasympathique et sa blessure à son origine occasionnera inévitablement une « dysfonction érectile » postopératoire.

Intérêts pédagogiques de la technique de Dissection Anatomique Assistée par Ordinateur (DAAO)

La reconstruction en trois dimensions de coupes histologiques immunomarquées permet de déterminer, au sein de fibres nerveuses de très petit calibre (25 µm de diamètre), la localisation et la nature des neurotransmetteurs et des récepteurs. Ainsi, cette méthode de DAAO développée dans le laboratoire et utilisée ici est une méthode fiable de recherche en anatomie. Le potentiel pédagogique de cette technique semble très étendu (23) :

- enseignement de l'anatomie en 3D, à l'aide de films d'animations représentant les structures anatomiques, que l'on peut virtuellement visualiser sous toutes leurs faces, « disséquer » ou rendre transparentes. Le corollaire direct de cet enseignement est la réalisation en temps réel de schémas anatomiques sur tablette graphique qui pourraient remplacer le dessin à la craie sur tableau noir ;
- enseignement de la technique chirurgicale, qui pourrait aussi être complété en simulant la résection d'organe et en insistant sur les rapports anatomiques importants (illustrations des techniques de préservation nerveuse) ;
- stockage des données obtenues permettant leur réutilisation de façon illimitée et leur compilation pour la création d'atlas électroniques interactifs et de sites internet consacrés.

Conclusion

Notre étude a permis de développer un premier modèle anatomo-physiologique et pédagogique d'innervation du pelvis et du périnée du fœtus féminin. Ce modèle est techniquement accessible et les données anatomiques obtenues sont fiables grâce à une maturité nerveuse acquise précocement au cours de la gestation. Le concept de bandelette neurovasculaire de la femme a ainsi été précisé avec systématisation morphologique et fonctionnelle. Cela a permis d'approfondir la connaissance des bases anatomiques et physiologiques, utiles au développement des techniques chirurgicales de préservation nerveuse et participant ainsi à une meilleure compréhension des dysfonctions sexuelles et urinaires neurogènes postopératoires.

Questions

Questions du Docteur Frédéric Bary

Question 1

Quelle est l'origine des fœtus utilisés dans l'étude et leurs termes respectifs ?

Réponse

Cette étude a été réalisée sur des pièces anatomiques issues de fœtus de sexe féminin issus du service de foetopathologie de l'hôpital Trousseau, après validation par l'Agence de Bio-médecine. Un formulaire de consentement pour autopsie de fœtus était systématiquement signé par les parents, autorisant de pratiquer des examens à visée scientifique comportant des prélèvements qui seraient conservés dans un but de recherche.

Tous les fœtus avaient entre 18 et 32 semaines de gestation et leur anatomie était ainsi comparable à l'anatomie définitive de l'adulte.

Question 2

Avez-vous observé les lames pelviennes et quels rapports avez-vous retrouvé avec les plexus hypogastriques inférieurs ?

Réponse

Les coupes colorées avec le trichrome de Masson (identifiant les fibres conjonctives des fascias) sur les fœtus les plus âgés ne nous ont pas permis d'identifier les classiques lames sagittales du pelvis. Les plexus hypogastriques inférieurs ne semblent pas posséder des réelles tuniques conjonctives et sont appliqués au contact direct des fascias viscéraux pelviens.

Question 3

Quelles structures conjonctives avez-vous mis en évidence sur le trajet du nerf pudendal ?

Réponse

L'autopsie fœtale implique la parfaite restauration de l'intégrité tégumentaire. Ainsi, nos prélèvements n'ont pas emporté le nerf pudendal au cours de son trajet dans la fosse ischio-rectale. Néanmoins, nous avons pu étudier sa portion terminale (le nerf dorsal du clitoris).

Question 4

Avez-vous retrouvé des fibres végétatives destinées vers les muscles ischio-caverneux et bulbo spongieux ?

Réponse

Nous avons pu mettre en évidence des fibres autonomes issues du plexus hypogastrique inférieur au sein du muscle élévateur de l'anus et semblant se diriger vers le périnée urogénital (publication en cours). Leur rôle exact n'est pas encore connu.

Question du Docteur Yves Laburthe-Tolra

La reconstitution du chevelu plexique périspécial suppose des contourages très fins, non superposés, très difficiles à réaliser, comme je l'ai expérimenté manuellement avec les logiciels qui existaient il y a 3 ans. Nous avons, avec le Pr Patrick Barbet, eu l'occasion de présenter à l'Académie, en 2008, les résultats de nos travaux sur les 100 cas d'embryons jeunes examinés par une technique voisine, à l'Hôpital Saint Vincent de Paul, à Paris, au niveau des membres supérieurs. Les résultats présentés ce jour résultent-ils d'une meilleure performance, de l'opérateur et du matériel ?

Réponse

Nous avons utilisé la dernière génération de tablette graphique avec écran intégré et un matériel informatique optimal (écran large, mémoire vive importante) permettant d'obtenir un contourage précis. Grâce à la dernière version du logiciel de contourage (*Surfdriver*), il a été possible de faire des contourages pour 16 structures différentes sur le même objet, le nombre d'objets disponibles étant illimité. Néanmoins, les plus récents logiciels de contourage automatique permettraient théoriquement d'optimiser cette étape de contourage mais leur utilisation est encore difficile.

Commentaires du Professeur Michel Malafosse

J'exprime toutes mes félicitations à l'auteur de ce travail d'anatomie magnifique : vit-on jamais aussi parfaitement

« chevelu » des nerfs du bas pelvis ? Mais il est juste que le chirurgien donne son point de vue : il ne lui est guère possible qu'il puisse imaginer de les voir au cours de l'acte opératoire aussi parfaitement, quoique le souci de les préserver reste sa préoccupation permanente.

Dans l'exérèse rectale pour maladie inflammatoire, cette préservation est essentielle compte-tenu de la bénignité histologique de la maladie à traiter et du jeune âge fréquent des patients concernés ; on y parvient très habituellement car, après avoir repéré ces nerfs sous le promontoire, on les suit, et dès qu'ils deviennent de repérage incertain il ne faut plus vouloir les disséquer, d'autant que le tissu cellulaire périrectal est souvent modifié par l'inflammation : l'exérèse doit alors être poursuivie en « mordant » sur la paroi rectale musculuse (je rappelle que la recto-colite et la maladie de Crohn sont des maladies de la seule muqueuse) autant que de besoin et aussi bas dans le pelvis qu'il est nécessaire. À cette condition on peut dire que les séquelles fonctionnelles génito-urinaires sont quasi-inexistantes.

Le problème est évidemment tout différent dans la chirurgie du cancer du rectum, car le but à atteindre est ici de faire une exérèse « carcinologique », c'est-à-dire en passant au large de la zone tumorale et sans l'ouvrir : du respect de ce principe dépend le pronostic tant local que vital. C'est dire qu'on ne saurait faire l'ablation d'un cancer rectal invasif qu'en réalisant l'exérèse totale du mésorectum sans l'ouvrir à aucun endroit, selon la technique décrite par HEALD ; cette technique nécessite une dissection aussi patiente que possible des nerfs, fondée sur une connaissance parfaite de leur anatomie : c'est dire tout l'intérêt pour le chirurgien du travail que vient de nous présenter D. Moszkowicz, l'anatomiste ! Mais le chirurgien doit malheureusement le rappeler : la marge de « sécurité » de l'exérèse en largeur prime ; donc, en regard de la zone tumorale qu'on peut à présent bien repérer par les moyens d'imagerie du rectum, ce serait une faute de ne pas sacrifier les nerfs pelviens, si cela est nécessaire à la préservation du pronostic vital qui passe d'abord par le souci d'éviter au maximum les récurrences locales. Le travail de D. Moszkowicz, par la minutie de sa description, contribue à atteindre ce but.

Références

1. MacFarlane JK, Ryall RD, Heald RJ. Mesorectal excision for rectal cancer. *Lancet* 1993 ; 341 : 457-60.
2. Lange MM, Maas CP, Marijnen CA, Wiggers T, Rutten HJ, et al; Cooperative Clinical Investigators of the Dutch Total Mesorectal Excision Trial. Urinary dysfunction after rectal cancer treatment is mainly caused by surgery. *Br J Surg* 2008 ; 95 : 1020-8.
3. Bissett IP, Hill GL. Extrafascial excision of the rectum for cancer: a technique for the avoidance of the complications of rectal mobilization. *Semin Surg Oncol* 2000 ; 18 : 207-15.
4. Salonia A, Giraldo A, Chivers ML, Georgiadis JR, Levin R, et al. Physiology of Women's Sexual Function: Basic Knowledge and New Findings. *J Sex Med* 2010 May 11.
5. Hoyle CH, Stones RW, Robson T, Whitley K, Burnstock G. Innervation of vasculature and microvasculature of the human vagina by NOS and neuropeptide-containing nerves. *J Anat* 1996 ; 188 (Pt 3) : 633-44.
6. Martin-Alguacil N, Pfaff DW, Shelley DN, Schober JM. Clitoral sexual arousal: an immunocytochemical and innervation study of the clitoris. *BJU Int* 2008 ; 101 : 1407-13.
7. Nappi R, Salonia A, Traish AM, van Lunsen RH, Vardi Y, et al. Clinical biologic pathophysiology of women's sexual dysfunction. *J Sex Med* 2005 ; 2 : 4-25.
8. Lindsey I, Mortensen NJ. Iatrogenic impotence and rectal dissection. *Br J Surg* 2002 ; 89 : 1493-4.
9. Alsaïd B, Bessedé T, Karam I, Abd-alsamad I, Uhl JF, et al. Coexistence of adrenergic and cholinergic nerves in the inferior hypogastric plexus: anatomical and immunohistochemical study with 3D reconstruction in human male fetus. *J Anat* 2009 ; 214 : 645-54.
10. Alsaïd B, Karam I, Bessedé T, Abdalsamad I, Uhl JF, et al. Tridimensional Computer-Assisted Anatomic Dissection of Posterolateral

- ral Prostatic Neurovascular Bundles. *Eur Urol* 2010 ; 58 : 281-7.
11. Moszkowicz D, Alsaïd B, Bessede T, Penna C, Nordlinger B, et al. Where does pelvic nerve injury occur during rectal surgery for cancer? *Colorectal Dis* 2010 Aug 16.
 12. Kinugasa Y, Murakami G, Suzuki D, Sugihara K. Histological identification of fascial structures posterolateral to the rectum. *Br J Surg* 2007 ; 94 : 620-6.
 13. Butler-Manuel SA, BATTERY LD, A'Hern RP, Polak JM, Barton DP. Pelvic nerve plexus trauma at radical and simple hysterectomy: a quantitative study of nerve types in the uterine supporting ligaments. *J Soc Gynecol Investig* 2002 ; 9 : 47-56.
 14. Hojo K, Vernava AM, 3rd, Sugihara K, Katumata K. Preservation of urine voiding and sexual function after rectal cancer surgery. *Dis Colon Rectum* 1991 ; 34 : 532-9.
 15. Walsh PC, Lepor H, Eggleston JC. Radical prostatectomy with preservation of sexual function: anatomical and pathological considerations. *Prostate* 1983 ; 4 : 473-85.
 16. Alsaïd B, Bessede T, Diallo D, Moszkowicz D, Karam I, et al. Division of Autonomic Nerves Within the Neurovascular Bundles Distally into Corpora Caverosa and Corpus Spongiosum Components: Immunohistochemical Confirmation with Three-Dimensional Reconstruction. *Eur Urol* 2011 ; 59 : 902-9.
 17. Yuçel S, De Souza A Jr, Baskin LS. Neuroanatomy of the human female lower urogenital tract. *J Urol* 2004 ; 172 : 191-5.
 18. Moszkowicz D, Alsaïd B, Bessede T, Zaitouna M, Penna C, et al. Neural supply to the clitoris: immunohistochemical study with three-dimensional reconstruction of cavernous nerve, spongiosus nerve, and dorsal clitoris nerve in human fetus. *J Sex Med* 2011 ; 8 : 1112-22.
 19. Colombel M, Droupy S, Paradis V, Lassau JP, Benoit G. Cavernopudendal nervous communicating branches in the penile hilum. *Surg Radiol Anat* 1999 ; 21 : 273-6.
 20. Yuçel S, Baskin LS. Identification of communicating branches among the dorsal, perineal and cavernous nerves of the penis. *J Urol* 2003 ; 170 : 153-8.
 21. Pontes JE, Huben R, Wolf R. Sexual function after radical prostatectomy. *Prostate* 1986 ; 8 : 123-6.
 22. O'Connell HE, Sanjeevan KV, Hutson JM. Anatomy of the clitoris. *J Urol* 2005 ; 174 : 1189-95.
 23. Moszkowicz D, Alsaïd B, Bessede T, Penna C, Benoit G, Peschaud F. Female pelvic autonomic neuroanatomy based on conventional macroscopic and computer-assisted anatomic dissections. *Surg Radiol Anat* 2011 Janv 12.

Video 1. Séquence animée présentant la reconstruction 3D du pelvis et du périnée d'un fœtus féminin de 19 semaines de gestation avec immunomarquage neuronal par l'anticorps anti-protéine S100 et l'anticorps anti-nNOS. Les branches terminales du plexus hypogastrique inférieur (innervation autonome, nerf spongieux et nerf caverneux) et du nerf pudendal (innervation somatique, nerf dorsal du clitoris) destinées notamment aux corps érectiles (corps caverneux du clitoris, bulbes vestibulaires) véhiculent une innervation érectile nitrergique (nNOS positive, fibres en magenta). Tableau 1. Résumé de la répartition des neurotransmetteurs pelvipérinéaux.

Voir la vidéo à http://www2.biusante.parisdescartes.fr/acad-chir/?ti_xxx=2011x10x2