

COMMANDE NERVEUSE PERIPHERIQUE DE L'ERECTION

F. Giuliano⁽¹⁻²⁾, O. Rampin⁽²⁾, G. Benoît⁽¹⁾, A. Jardin⁽¹⁾

(1) Service d'Urologie, CHU de Bicêtre, Laboratoire de Chirurgie Expérimentale, Faculté de Médecine, Université Paris Sud, 78 rue du Général Leclerc, 94270 Bicêtre cedex

(2) Unité de Neurobiologie des Fonctions Végétatives, INRA, 78352 Jouy en Josas cedex.

PERIPHERAL NERVOUS CONTROL OF PENILE ERECTION.

Local mechanisms causing penile erection and detumescence result from variation in tone of vascular and trabecular smooth muscles and in a lesser part of striated muscles around the crura penis. All these events are neurally mediated. We reviewed human and animal data concerning the functional peripheral neuroanatomy of erection. General organization of peripheral nervous system is recalled. Somatic efferents of the pudendal nerve, originating in the sacral spinal cord, innervate the striated musculature of the perineum. Somatic afferents of the penis are conveyed by the dorsal penile nerve, a branch of the pudendal nerve. Afferent terminations project into the spinal cord, their role is discussed. Parasympathetic pathways are involved in the reflexogenic erections. Sympathetic pathways destined to the erectile structures are more complex. They are issued from thoracolumbar spinal cord and travel through the hypogastric nerve or the lumbosacral sympathetic chain. Sympathetic fibers originating in the sacral sympathetic chain are present in both pelvic and pudendal nerves. Inhibitory role on the erection of the sympathetic nervous system is well-known, it could be also responsible for psychogenic erections. Parasympathetic and sympathetic fibers are mixed in the pelvic plexus and the cavernous nerves which are described. Relations between the four sets of peripheral nerves (somatic efferents, penile afferents, thoracolumbar sympathetic sacral parasympathetic and sympathetic) are discussed. **Key words:** neuroanatomy, neurophysiology, autonomic nervous system, penile erection. **Andrologie, 1993, 2 : 123-127.**

INTRODUCTION

Les mécanismes locaux responsables de l'érection sont la vasodilatation des artères à destination pénienne, le relâchement des cloisons circonscrivant les espaces sinusoides, la constriction des veines de drainage des corps caverneux et la contraction des muscles striés ischio-caverneux et peut être bulbospongieux (9).

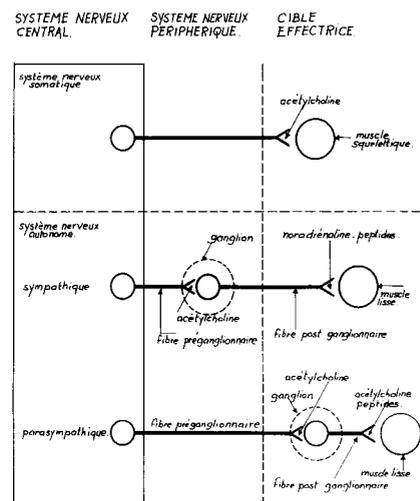
Ces mécanismes reposent tous sur les variations de tonus (contraction ou relaxation) de fibres musculaires lisses et striées. Il s'agit de mécanismes actifs, à l'exception probable de la constriction des veines émissaires due à la compression mécanique contre l'albuginée exercée par les corps caverneux gorgés de sang (48). Les fibres musculaires lisses possèdent une activité autonome indépendante de l'innervation (28). Cependant les variations du tonus musculaire nécessaires à l'érection sont commandées par le système nerveux végétatif pour les fibres lisses et somatique pour les fibres striées. C'est donc le système nerveux qui commande la survenue des événements locaux conduisant à l'érection. Pour comprendre l'érection et sa pathologie, il est dès lors nécessaire de connaître l'origine et le trajet des voies nerveuses afférentes et efférentes du pénis. L'aspect fonctionnel de la neuroanatomie pénienne sera décrit à la lumière des données fournies par la clinique et l'expérimentation animale. Nous décrivons le contrôle nerveux médullaire et périphérique de la fonction érectile. La composante supraspinale ou encéphalique de ce contrôle ne sera pas envisagée. Très complexe, elle est en effet mal connue et ne fait pas encore l'objet d'applications en clinique.

1- RAPPEL SUR L'ORGANISATION DU SYSTEME NERVEUX

Les voies nerveuses périphériques unissant le système nerveux central (cerveau et moelle épinière) aux récepteurs, situés sur les muscles et les glandes peuvent être divisées en afférentes et efférentes.

1 a Voies afférentes du système nerveux périphérique

Les neurones afférents ou sensitifs conduisent l'information des récepteurs sensoriels situés à la périphérie vers le système nerveux central. A partir des récepteurs sensoriels, un long prolongement rejoint le corps cellulaire. A l'exception des nerfs crâniens, les corps cellulaires des neurones afférents sont situés dans les ganglions rachidiens dorsaux à proximité de l'émergence de la racine postérieure du trou de conjugaison. Un second prolongement, dit central, naît du corps cellulaire et gagne la moelle où il émet des terminaisons qui font synapse avec d'autres cellules nerveuses médullaires.



1 b Voies efférentes (fig. 1)

On distingue le système nerveux somatique qui innerve les muscles squelettiques striés (le myocarde excepté) et le système nerveux autonome ou végétatif qui innerve les muscles lisses, le myocarde et les glandes. Le système nerveux autonome assure le contrôle des fonctions végétatives dont fait partie la reproduction.

1 b 1 Système nerveux somatique périphérique

Ses fibres nerveuses, issues du système nerveux central, gagnent directement les cellules musculaires striées. Les corps cellulaires de ces neurones efférents ou motoneurones, sont groupés en amas dans l'encéphale (noyaux des nerfs crâniens) ou dans les cornes antérieures de la moelle.

1 b 2 Système nerveux autonome périphérique

La voie végétative efférente comprend, entre le système nerveux central et la périphérie, deux neurones placés bout à bout (neurones pré et postganglionnaires) articulés entre eux par une synapse siégeant dans un ganglion (groupe de neurones bien individualisé), un plexus ou au sein des nerfs eux-mêmes. Le médiateur chimique de cette synapse est l'acétylcholine. On distingue les systèmes nerveux sympathique (orthosympathique) et parasympathique. Parmi les différences anatomiques et physiologiques expliquant cette dichotomie, citons la nature du médiateur chimique ou neuromédiateur libéré à la synapse entre fibre postganglionnaire et organe cible ou effecteur. Il s'agit de l'acétylcholine (fibres postganglionnaires cholinergiques) pour le système parasympathique et de la noradrénaline

ne (fibres post ganglionnaires adrénérgiques) pour le système sympathique. De nombreuses autres substances chimiques, en particulier des peptides, ont été mises en évidence à la terminaison des fibres nerveuses autonomes et assurent, à côté des neuromédiateurs classiques que sont la noradrénaline et l'acétylcholine, la transmission de l'influx nerveux (14).

2- INNERVATION SOMATIQUE DU PENIS

Elle est assurée par le nerf honteux interne, issu du plexus honteux, réunissant les branches antérieures des 3^e et 4^e nerfs sacrés et une partie de la branche antérieure du 2^e. Le nerf honteux quitte le pelvis par la grande échancrure sciatique, contourne l'épine sciatique et pénètre dans le périnée par la petite échancrure sciatique. Il chemine dans le canal d'Alcock, expansion du ligament sacro tubéral (grand ligament sacro sciatique), au bord inférieur du muscle obturateur interne. Le nerf honteux interne pénètre dans la fosse ischio rectale, situé en dedans de l'artère honteuse interne. Le nerf honteux donne le nerf rectal inférieur encore appelé nerf anal ou nerf hémorroïdal. Le nerf rectal inférieur peut également naître par des racines propres du plexus honteux. Le nerf honteux interne se divise ensuite en nerfs périnéaux superficiel et profond et nerf dorsal du pénis (5).

Les corps cellulaires à l'origine des fibres somatiques efférentes, ou motoneurons du nerf honteux, sont situés dans le noyau d'Onuf dans la corne ventrale de la substance grise de la moelle sacrée aux niveaux S2, S3, S4. Ces motoneurons assurent l'innervation efférente motrice du sphincter strié de l'urètre, du sphincter anal externe et des muscles ischio-caverneux et bulbospongieux (36). Ces derniers muscles, en se contractant, augmentent la pression intra caverneuse lors de l'érection (45).

Bien que le nerf honteux soit responsable de la "super rigidité" pendant l'érection (9), sa section n'abolit pas l'érection chez l'animal (33, 50).

3- INNERVATION AFFERENTE DU PENIS

Il s'agit essentiellement des fibres sensibles afférentes du nerf dorsal du pénis qui rejoint le nerf honteux interne. Leurs terminaisons sont situées au niveau de la peau pénienne, du prépuce, de l'urètre et du gland. Les corps cellulaires de ces neurones sensitifs en T sont situés dans les ganglions rachidiens dorsaux S2, S3, S4 et émettent des prolongements intra médullaires, mis en évidence chez l'animal, dans la commissure dorsale et la corne dorsale médiane de la substance blanche au niveau sacré (10, 50). Chez le rat il existerait également des projections sensibles dans la zone intermédiolatérale lombaire au voisinage des corps cellulaires pré-ganglionnaires

sympathiques destinés aux viscères pelviens (31, 50).

La densité des terminaisons sensibles est particulièrement importante dans le gland. Chez l'animal, plusieurs auteurs ont décrit des récepteurs sensitifs à type de mécanorécepteurs dans le gland (16, 19, 39) Ces mécanorécepteurs pourraient être activés lors de la pénétration et durant les rapports sexuels par la contraction du vagin (19). Par ailleurs, la présence de récepteurs sensitifs dans les corps caverneux n'a pas été démontrée. Cependant l'injection intra-caverneuse de sérum salé chez le rat provoque une activité réflexe efférente dans le nerf caverneux (54). Ainsi, lors de l'augmentation de volume des corps caverneux, des informations sensibles issues de ceux-ci pourraient moduler le courant végétatif efférent empruntant le nerf caverneux responsable de la commande de la fonction érectile.

Chez l'animal plusieurs études comportementales ont mis en évidence l'effet négatif sur l'érection entraîné par la désafférentation pénienne produite par section du nerf dorsal du pénis (2, 33, 47). L'existence d'un réflexe médié à l'étage médullaire sacré entre le nerf dorsal du pénis et les nerfs pelviens et caverneux a été démontrée (cf infra). Cependant la stimulation électrique du nerf dorsal du pénis est incapable de provoquer une érection chez le rat (54).

Chez l'homme, l'atteinte du nerf dorsal de la verge entraînerait des troubles de l'érection (3, 32). Chez des patients paraplégiques, par lésion spinale supra-sacrée une lésion bilatérale des nerfs honteux s'accompagne dans la majorité des cas d'une impuissance (11) due à la disparition du réflexe érectile médullaire sacré.

Le nerf dorsal du pénis joue donc très probablement un rôle qui reste à préciser dans la survenue ou le déroulement de l'érection chez l'homme.

4- INNERVATION VÉGÉTATIVE DE LA FONCTION ERECTILE

4 a Voie parasympathique.

Les neurones pré-ganglionnaires parasympathiques destinés au pénis sont issus du noyau parasympathique sacré situé dans la zone intermédiolatérale de la substance grise de la moelle sacrée aux niveaux S2, S3, S4 (24). Les axones parasympathiques cheminent dans les 2^e, 3^e, et 4^e racines sacrées antérieures puis émettent 3 à 6 filets: les nerfs pelviens, qui entrent dans la constitution du plexus pelvien ou hypogastrique inférieur (4). Les nerfs pelviens ou nerfs érecteurs (nervi erigentes) ont été stimulés électriquement par Eckhard dès 1863 chez le chien provoquant une érection (27). Les synapses entre neurones parasympathiques pré et postganglion-

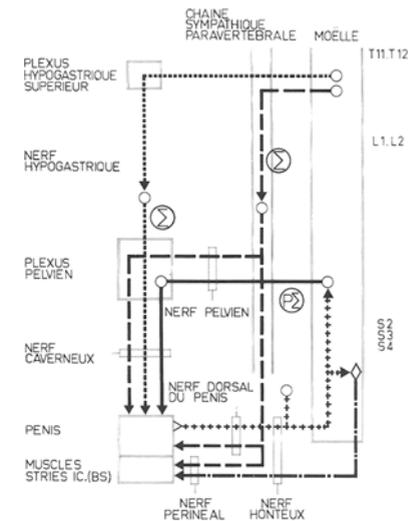
naires sont situées dans le plexus pelvien ou en aval de celui-ci au sein du nerf caverneux, qualifié de nerf plexique, comme cela a été démontré histologiquement chez le rat (22). A la sortie du plexus pelvien, les fibres parasympathiques pré ou postganglionnaires à destinée pénienne, empruntent les nerfs caverneux.

La voie parasympathique est considérée classiquement (27, 43), comme l'unique voie nerveuse proérectile tant chez l'animal que chez l'homme. Une lésion de la moelle sacrée, donc des corps cellulaires pré-ganglionnaires parasympathiques, ou la section bilatérale des nerfs pelviens entraîne la disparition des érections réflexes en réponse à des stimulations péniennes mais n'abolit pas les érections psychogènes en réponse à des stimuli olfactifs, visuels ou auditifs (11, 21, 52).

La voie parasympathique est donc motrice pour les seules érections réflexes mais ne semble pas impliquée dans la survenue des érections psychogènes.

4b Voies sympathiques

Les fibres sympathiques destinées aux structures érectiles naissent des niveaux médullaires T11, T12, L1, L2. Les fibres sympathiques efférentes empruntent 2 trajets principaux (fig. 2).



4 b 1 Le nerf hypogastrique ou présacré

Un contingent sympathique rejoint les ganglions sympathiques paravertébraux lombaires dont sont issus les nerfs splanchniques lombaires. Ces derniers se terminent dans le plexus inter-mésentérique prolongé vers le bas par le plexus hypogastrique supérieur situé en avant de la bifurcation aortique. Les fibres sympathiques cheminent dans les nerfs hypogastriques droit et gauche qui font suite au plexus hypogastrique supérieur et courent en avant du promontoire pour rejoindre le plexus pelvien. Le contingent

sympathique hypogastrique à destinée pénienne emprunte ensuite les nerfs caverneux.

Alors que le rôle du nerf hypogastrique dans l'éjaculation est bien établi (7), son rôle dans l'érection n'est pas connu chez l'homme et varie selon les espèces animales chez lesquelles il a été étudié. Chez le chien et le singe, la stimulation électrique du nerf hypogastrique n'entraîne pas d'érection, cette stimulation inhibe l'érection provoquée par la stimulation du nerf caverneux (37). La stimulation du nerf hypogastrique combinée à la stimulation du nerf pelvien (proérectile) ne modifie pas la réponse érectile mais allonge la phase de détumescence chez le chien (17). Chez le lapin la stimulation du nerf hypogastrique provoque la tumescence (53). Chez le rat, la stimulation du nerf hypogastrique est sans effet, qu'elle soit réalisée seule ou combinée avec la stimulation du nerf pelvien. Cependant la section bilatérale chronique des nerfs pelviens chez le rat fait apparaître une augmentation de la pression intracaverneuse en réponse à la stimulation hypogastrique, conduisant à l'hypothèse d'une plasticité de l'innervation autonome pénienne (22). Chez le chat dont les voies parasympathiques sont interrompues, l'érection psychogène qui persiste est abolie après destruction du plexus hypogastrique supérieur ou de la chaîne sympathique lombaire (52). Chez le chat est ainsi démontrée l'implication du contingent sympathique hypogastrique dans la survenue des érections psychogènes. Chez l'homme la lésion bilatérale des nerfs hypogastriques lors des curages ganglionnaires étendus pour cancer du testicule, est responsable d'une anéjaculation mais ne modifie pas l'érection (38, 40). Brindley en stimulant électriquement le plexus hypogastrique supérieur chez des patients paraplégiques a observé des érections (13).

4 b 2 Chaîne sympathique lombo-sacrée.

Le second contingent de fibres sympathiques à destinée pénienne emprunte la chaîne sympathique paravertébrale lombaire puis sacrée. Des ganglions sympathiques paravertébraux sacrés naissent de fins filets nerveux qui rejoignent les nerfs pelviens et le nerf honteux. La stimulation électrique de la chaîne sympathique lombaire, au dessous de la naissance des nerfs splanchniques lombaires diminue l'érection provoquée par la stimulation électrique des nerfs caverneux ou pelviens ou par l'injection intracaverneuse de substances vasoactives chez le chat et le chien (26, 42). Il existe donc un contingent de fibres sympathiques cheminant dans la chaîne sympathique paravertébrale, inhibiteur de l'érection chez ces espèces.

4 b 2 a Contingent sympathique du nerf pelvien

Dès 1933, des anatomistes français ont décrit des filets nerveux issus des ganglions sympa-

thiques paravertébraux sacrés, rejoignant les nerfs pelviens et le plexus pelvien (20). Ces rameaux naissent presque constamment des ganglions sympathiques paravertébraux S3, S4, rarement des ganglions S1, S2 (fig.3). Ces fibres gagnent ensuite le pénis via les nerfs caverneux.

Chez le chat et le rat, au sein des nerfs pelviens un contingent de fibres sympathiques, issues de la chaîne paravertébrale sacrée, a été mis en évidence par transport axonal rétrograde (29, 41). Ces fibres sont postganglionnaires et leurs corps cellulaires sont situés dans la chaîne sympathique lombaire.

Chez l'homme, dans les nerfs pelviens des fibres adrénérgiques (sympathiques postganglionnaires) et cholinérgiques (parasympathiques préganglionnaires), ont été mises en évidence, confirmant la nature mixte sympathique et parasympathique des nerfs pelviens (4).

Le rôle spécifique dans le contrôle des mécanismes locaux responsables de l'érection de ces fibres sympathiques du nerf pelvien est inconnu. On peut seulement remarquer que chez l'animal, la stimulation électrique du nerf pelvien, qui provoque une érection, recrute non seulement les fibres parasympathiques mais également les fibres sympathiques.

4 b 2 b Contingent sympathique honteux

Le nerf honteux renferme des fibres nerveuses somatiques efférentes, des fibres nerveuses sensitives ainsi que des fibres sympathiques comme l'ont montré des études histologiques chez le rat (15, 34, 49). Les fibres sympathiques sont retrouvées à la fois dans les branches sensitive et motrice à destinée pénienne du nerf honteux chez le rat. Les corps cellulaires postganglionnaires de ces fibres sont situés dans la chaîne paravertébrale lombo-sacrée (28).

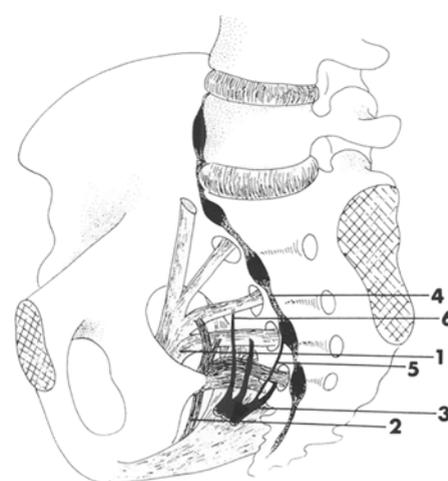
Les travaux de Langley et Anderson (42), ont montré que la stimulation du contingent sympathique du nerf honteux entraînait une détumescence chez le chat. Ainsi chez l'animal, le nerf honteux contient des fibres sympathiques inhibitrices de l'érection.

Il existe donc trois contingents sympathiques à destinée pénienne distincts dans leur trajet: hypogastrique, pelvien, honteux. Parmi ces contingents, certain(s) est (sont) inhibiteur(s) de l'érection comme en témoigne, in fine, l'érection provoquée par l'injection intra caverneuse d'alpha-bloquants (44), antagonisant l'action de la noradrénaline, neuro médiateur classique du système sympathique, libérée par les terminaisons nerveuses sympathiques au voisinage des fibres musculaires du corps caverneux. Cependant ce rôle inhibiteur du système sympathique n'est pas univoque. Les érections psychogènes sont en effet conservées chez l'animal et

chez les patients dont les voies parasympathiques sacrées ont été détruites. Il est donc nécessaire de faire l'hypothèse d'un ou plusieurs contingents sympathiques proérectiles responsables des érections psychogènes. Ce rôle proérectile de l'innervation sympathique pourrait être "démasqué" lors de la destruction de la voie parasympathique. Il faut rappeler ici les érections provoquées par électrostimulation du plexus hypogastrique supérieur chez des patients traumatisés médullaires (13). Il pourrait ainsi exister une plasticité post lésionnelle du système nerveux autonome.

4 c Plexus pelvien (plexus hypogastrique inférieur).

C'est un carrefour pour l'ensemble des fibres nerveuses autonomes issues des nerfs hypogastrique et pelviens destinées aux viscères pelviens et au périnée (fig.3).



Le plexus pelvien reçoit également des fibres sensitives afférentes de la périphérie, il constitue donc un centre d'intégration périphérique pour les informations nerveuses efférentes et afférentes à l'ensemble des viscères pelviens mais son organisation précise demeure mal connue.

Sa dénomination varie selon les auteurs. Pour Latarjet (44) il s'agit du plexus hypogastrique inférieur, pour J. Delmas et Laux il s'agit du centre ganglionné pelvi périnéal (25). Nous préférons utiliser le terme de plexus pelvien, comme les auteurs anglo-saxons (51), car cette terminologie permet de mieux comprendre sa situation pelvienne, dans l'espace pelvi rectal supérieur, en dehors du rectum et des vésicules séminales. Le plexus pelvien repose sur le plancher pelvien, son bord supérieur correspond au péritoine. Il est perforé par des artères viscérales pelviennes, hémorroïdales moyennes en particulier et par l'uretère. Le plexus pelvien se situe dans la lame conjonctive latéroviscérale ou lame sacro-recto-génito-pubienne constituée en avant par les éléments vasculaires et lymphatiques. Il est d'abord chirurgical particulièrement difficile.

On peut rapporter à la lésion de ce plexus, l'impuissance observée dans 20 % des cas après amputation rectale au contact du rectum pour rectocolite hémorragique et dans près de 100 % des cas après amputation abdominale élargie pour cancer du rectum (8).

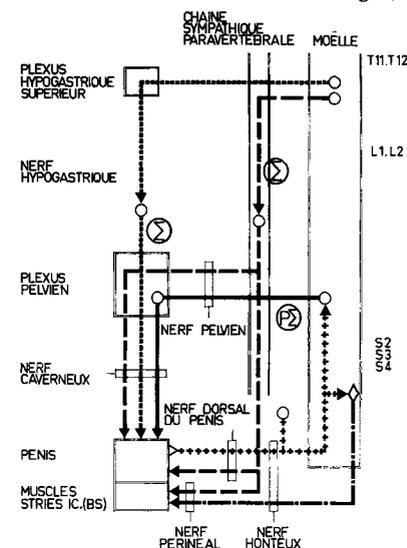
4 d Les nerfs caverneux

Ils naissent du plexus pelvien et regroupent la majorité des fibres nerveuses végétatives efférentes au pénis. Les nerfs caverneux sont mixtes, à la fois sympathiques et parasympathiques, comme cela a été démontré chez le rat par transport axonal rétrograde (22).

Chez l'homme les fins faisceaux de fibres nerveuses formant les nerfs caverneux, mêlés à de nombreuses structures ganglionnaires (46), cheminent dans le fascia endo pelvien constitué par la partie antérieure des lames sacro-recto-génito-pubiennes et sont recouverts par une expansion de l'aponévrose pelvienne (aponévrose périnéale profonde). Les nerfs caverneux sont situés 1 à 3 mm en dehors et en arrière de la capsule prostatique, en arrière et en dehors des pédicules vasculaires: volumineuses veines latéro-vésico-prostatiques et artères péniennes accessoires. Ces vaisseaux fournissent le repère macroscopique permettant de rechercher les filets nerveux caverneux qui sont le plus souvent microscopiques. Lors d'une urétroscopie, où midi se situe au zénith chez un malade en décubitus dorsal, les nerfs caverneux sont situés à 5h et 7h au niveau de l'apex prostatique, à 3h et 9h au niveau du sphincter strié urétral et pénètrent les corps caverneux à 1h et 4h. Ils s'enroulent ainsi progressivement autour du bec de la prostate, du sphincter strié et de l'urètre membraneux, rejoignant progressivement sa face antérieure, ce qui explique leur vulnérabilité lors de la section de l'urètre au contact du sphincter strié lors des prostatectomies radicales. Les nerfs caverneux traversent ensuite le plancher périnéal en passant en dedans ou à travers les fibres internes du muscle releveur de l'anus (levator ani) pour rejoindre les corps érectiles (12) au niveau du hile pénien. La stimulation électrique des nerfs caverneux provoque, quelque soit l'espèce animale étudiée, une augmentation importante de la pression intracaverneuse (30, 37). Les nerfs caverneux sont considérés comme les nerfs moteurs de l'érection.

Parmi les malades chez lesquels une prostatectomie radicale pour cancer était réalisée, seulement 16 % conservaient une fonction érectile normale. Cela rendait nécessaire la mise au point d'une technique de préservation des nerfs caverneux par leur dissection au contact de la prostate au cours des prostatectomies radicales (48).

5 - RELATIONS ENTRE LES DIFFÉRENTES VOIES NERVEUSES PÉRIPHÉRIQUES IMPLIQUÉES DANS LE CONTRÔLE DE L'ÉRECTION. (fig. 4)



5 a Érections réflexes

Chez l'homme la stimulation des terminaisons nerveuses sensibles du pénis provoque une érection qui est abolie lorsque le nerf honteux, la moëlle sacrée, ou les nerfs pelviens sont détruits (8, 11, 18), et conservée en cas de lésion médullaire supra-sacrée. L'érection est ici provoquée par la mise en œuvre d'une très probable voie réflexe dont le premier maillon est constitué par les fibres sensibles du nerf dorsal du pénis, en connexion dans la moëlle sacrée avec les corps cellulaires pré-ganglionnaires parasympathiques du nerf pelvien (24). Ce réflexe a été mis en évidence chez le rat: la stimulation du nerf dorsal du pénis provoquant une réponse bio-électrique dans le nerf caverneux, qui disparaissait lors de la section du nerf pelvien (54). Les afférences sensibles péniennes sont donc susceptibles d'activer la voie parasympathique contrôlant l'érection.

Par ailleurs nous avons montré chez le rat l'existence d'un réflexe, également médié au niveau médullaire entre le nerf dorsal du pénis et la chaîne sympathique paravertébrale lombaire (31). La stimulation électrique du nerf dorsal du pénis provoque une réponse sur la chaîne sympathique lombaire qui contient des fibres destinées au pénis mais également à l'ensemble des viscères pelviens. Ainsi peut-on émettre l'hypothèse d'une modulation de l'innervation sympathique pénienne et/ou des viscères pelviens lors d'une stimulation sensitive pénienne.

Enfin la réponse des mécanorécepteurs du gland à la stimulation peut être modifiée par une stimulation des voies végétatives ou somatiques efférentes impliquées dans le contrôle de l'érection chez le rat (35). Ce résultat suggère la possibilité d'une modulation du message sensitif délivré à la moëlle en provenance du pénis par

des informations issues des centres supérieurs.

5 b Réflexe somatique honteux (réflexe bulbo-caverneux)

Dans la moëlle sacrée, les protections des afférences sensibles péniennes se distribuent au voisinage des motoneurons du nerf honteux chez le rat (49, 50). Ces travaux fournissent un support morphologique à l'hypothèse de l'existence d'un réflexe somatique améliorant l'érection par augmentation de la rigidité. Lors du coït, la stimulation du gland entraînerait une contraction réflexe des muscles striés situés à la racine de la verge responsable d'une augmentation de la pression intracaverneuse (9).

5 c Interaction entre les voies parasympathiques et sympathiques.

La flaccidité est sans doute liée au maintien d'un tonus alpha adrénergique, donc sympathique, contractile permanent sur les fibres musculaires lisses caverneuses (1). Lors de l'érection, il faut donc postuler la simultanéité d'une diminution de l'activité sympathique inhibitrice et d'une activité parasympathique proérectile. Il doit donc nécessairement exister une coordination entre ces deux événements végétatifs opposés pour que l'érection ait lieu. Nous ne disposons pas encore d'informations sur l'organisation morphofonctionnelle de cette synergie.

Remerciements

Les travaux personnels, auxquels référence est faite, ont été réalisés, grâce à l'attribution de bourses par l'Association Française d'Urologie et la Fondation de France pour la Recherche Médicale Appliquée.

REFERENCES

- 1 - Adaikan P.G., Lau S.C., Ny S.C., Ratnam S.S.: Physio-pharmacology of human penile erection. Autonomic neurotransmissions and receptors of the human corpus cavernosum. Asia Pacific J. Pharmacol. 1991, 6: 213-227.
- 2 - Aronson L.R., Cooper M.L.: Desensitization of the glans penis and sexual behavior in cats. In: Diamond M. eds. Reproduction and Sexual Behavior. Bloomington: Indiana University Press, 1968, 51-82.
- 3 - Bemelmans B.L.H., Meuleman E.J.H., Arten B.W.M., Doesburg W.H., Van Kerrebroeck P.E.V., Debryne F.M.J.: Penile sensory disorders in erectile dysfunction: results of a comprehensive neuro-uropathological diagnostic evaluation in 123 patients, J. Urol. 1991, 146: 777-782.
- 4 - Benoit G., Delmas V., Gillot C., Jardin A.: The anatomy of erection. Surg. Radiol. Anat., 1987, 9: 263-272.
- 5 - Benoit G., Giuliano F.: Anatomie de la verge et des organes érectiles. Encycl. Med. Chir. (Paris, France), à paraître.
- 6 - Benoit G., Quillard J., Monod P., Giuliano F., Moukarzel M., Baron J.C., Jardin A.: Identification histologique des afférences du plexus pelvien. Progres en Urol., 1991, 1: 132138.
- 7 - Benson G.S.: Male sexual function: Erection, Emission and Ejaculation In: E. Knobil, J. Neill, eds. The Physiology of Reproduction. New-York, Raven Press 1988: 1121-1139.

- 8 - Bergman B., Nilsson S., Petersen I.: The effect on erection and orgasm of cystectomy, prostatectomy and vesiculectomy for cancer of the bladder: a clinical and electromyographic study. *Brit. J. Urol.* 1979, 51: 114-118.
- 9 - Bondil P., Wespes E.: Rapport du 86ème Congrès de l'Association Française d'Urologie. 1992, Progrès en Urologie, 1992, 2: 719-857.
- 10 - Booth A.M., Roppolo J.A., De Groat W.C.: Distribution of cells and fibers projecting to the penis of the cat. *Soc. Neurosc. Abs.* 1986, 12: 1056.
- 11 - Bors E., Cornar A.E.: Neurological disturbances in sexual function with special reference to 529 patients with spinal cord injury. *Urol. Surv.* 1960, 10: 191-222.
- 12 - Breza J., Aahoseif S.R., Orvis B.R., Lue T.F., Tanagho E.A.: Detailed anatomy of penile neurovascular structures surgical significance. *J. Urol.* 1989, 141: 437-443.
- 13 - Brindley G.S., Savcrwein D., Hendry W.F.: Hypogastric plexus stimulators for obtaining semen from paraplegic men. *Br. J. Urol.* 1989, 64: 72-77.
- 14 - Burnstock G.: The changing face of autonomic neurotransmission. *Acta. Physiol. Scand.* 1986, 126: 67-91.
- 15 - Buvat J., Lemaire A., Buvat-Herbaut M.: Safety of intracavernous injection using an alphablocking agent. *J. Urol.* 1989, 141: 1364-1367.
- 16 - Calaresu F.R., Mitchell R.: Cutaneous mechanoreceptors in the glans penis of the rat. *Brain Res.* 1969, 15: 295-297.
- 17 - Carati C.J., Creed K.E., Keogh E.J.: Autonomic control of penile erection in the dog. *J. Physiol. London* 1987, 384: 525-538.
- 18 - Chapelle P.A., Durand J., Lacert P.: Penile erection following complete spinal cord injury in man. *Br. J. Urol.* 1980, 52: 216-219.
- 19 - Cooper K.K.: Cutaneous mechanoreceptors of the glans penis of the cat. *Physiol. Behav.* 1972, 8: 793-796.
- 20 - Cordier, Coulouma: Les nerfs érecteurs. *Bull. Assoc. Anat.* 1933: 143-199.
- 21 - Courtois F., Leriche A.: L'examen sexologique du blessé médullaire. *Progrès en Urol.* 1991, 1: 1056-1063.
- 22 - Dail W.G., Trujillo D., DeLaRosa D., Walton G.: Autonomic innervation of reproductive organs: analysis of the neurons whose axons project in the main penile nerve in the pelvic plexus of the rat. *Anat. Rec.* 1989, 224: 94-101.
- 23 - Dail W.G., Walton G., Olmsted M.P.: Penile erection in the rat: stimulation of the hypogastric nerve elicits increase in penile pressure after chronic interruption or the sacral parasympathetic inflow. *J. Auton. Nerv. Syst.* 1989, 28: 251-258.
- 24 - De Groat W.C., Steers W.D.: Neuroanatomy and neurophysiology of penile erection. In Tanagho EA, Lue TF, McClure RD eds. *Contemporary management of impotence and infertility.* Baltimore, Williams & Wilkins, 1988: 3-27.
- 25 - Delmas J., Laux G.: Anatomie médico-chirurgicale du système nerveux végétatif. Masson et Cie, Paris.
- 26 - Diederichs W., Stief C.C., Lue T.F., Tanagho E.A.: Sympathetic inhibition papaverine induced erection. *J. Urol.* 1991, 146: 19S-198.
- 27 - Eckardt C.: Untersuchungen über die erection des penis beim hunde. *Beitr. Anat. Z. Physiol.* 1863, 3: 123-150.
- 28 - Fay F.S., Cook P.H., Canaday P.G.: Contractile properties of isolated smooth muscle cells. In: E. Bulbring and M.F. Shuba eds. *Physiology of smooth muscle.* Raven. Press. New York 1976: 249-264.
- 29 - Giuliano F.: Caractérisation anatomique et fonctionnelle de l'innervation sympathique du pénis chez le rat. *DEA Sciences chirurgicales Paris.* 1991.
- 30 - Giuliano F., Bernahé J., Benoit G., Jardin A.: Etude de l'érection chez le rat: un nouveau modèle physiologique. *Andrologie* 1992, 2: 25-27.
- 31 - Giuliano F., Rampin O., Benoit G., Rousseau J.P., Jardin A.: A possible modulation of sympathetic efferents to the penis by dorsal penile nerve afferents in the rat. *Int. J. Impotence Res.* 1992, 4 (suppl.2): A.32.
- 32 - Goldstein I.: Evaluation of penile nerves. In: E.A. Tanagho, T.F. Lue, R.C. McClure eds. *Contemporary management of impotence and infertility.* Williams & Wilkins, Baltimore. 1988.: 70.
- 33 - Herbert J.: The role of the dorsal nerves of the penis in the sexual behaviour of the male rhesus monkey. *Physiol. Behav.* 1973, 10: 293-300.
- 34 - Hulseboch C.E., Cogeshall R.E.: An analysis of the axon populations in the nerves of the pelvic viscera in the rat. *J. Comp. Neurol.* 1982, 211: 1-10.
- 35 - Johnson R.D.: Efferent modulation of penile mechanoreceptor activity. *Progress in Brain Res.* 1988, 74: 319-324.
- 36 - Junemann K.P., Lue T.F., Schmidt R.A., Tanagho E.A.: Clinical significance of sacral and pudendal nerve anatomy. *J. Urol.* 1988, 139: 74-80.
- 37 - Junemann K.P., Persson-Junemann C., Tanagho E.A., Alken P.: Neurophysiology of penile erection. *Urol. Res.* 1989, A: 213-217.
- 38 - Kedia K.R., Markland C., Fraley E.E.: Sexual function following high retroperitoneal lymphadenectomy. *J. Urol.* 1975, 114: 237-239.
- 39 - Kitchell R.L., Gilanpour H., Johnson R.D.: Penile mechanoreceptors in the rat. *Exp. Neurol.* 1982, 75: 229-244.
- 40 - Kom C., Mulholland S.G., Edson M.: Etiology of fertility after retroperitoneal lymphadenectomy. *J. Urol.* 1971, 105: 528-530.
- 41 - Kuo D.C., Hisamitsu T., De Groat W.C.: A sympathetic projection from sacral paravertebral ganglia to the pelvic nerve and to postganglionic nerves on the surface of the urinary bladder and large intestine of the cat. *J. Comp. Neurol.* 1984, 226: 76-86.
- 42 - Langley J.N., Anderson H.: The innervation of the pelvic and adjoining viscera. *J. Physiol. London* 1895, 19: 71-130.
- 43 - Langley Y.N., Anderson H.: The innervation of the pelvic and adjoining viscera. Part 11: the bladder. *J. Physiol. London* 1985, 19: 17-84.
- 44 - Latarjet A., Bonnet P.: Le plexus hypogastrique chez l'homme. *Lyon Chir.* 1913, 9: 221.
- 45 - Lavoisier P., Courtois F., Barres o. Blanchard M.: Correlations between intracavernous pressure and contraction of the ischiocavernous muscle in man. *J. Urol.* 1986, 136: 936
- 46 - Lepor H., Gregerman M., Crosby R., Mostofi F.K., Walsh P.C.: Precise localization of the autonomic nerves from the pelvic plexus to the corpora cavernosa: a detailed anatomical study of the adult male pelvis. *J. Urol.* 1985, 133: 207.
- 47 - Lodder J., Zeilmaker G.H.: Effects of pelvic nerve and pudendal nerve transection on mating behavior in the male rat. *Physiol. Behav.* 1976, 16: 745-751.
- 48 - Lue T.F., Tanagho E.A.: Hemodynamics of erection. In Tanagho E.A., Lue T.F., McClure RD eds. *Contemporary management of impotence and infertility.* Baltimore, Williams & Wilkins, 1988.: 28-38.
- 49 - Mc Kenna K. E., Nadelhaft I.: The organization of the pudendal nerve in the male and female rat. *J. Comp. Neurol.* 1986, 248: 532-549.
- 50 - Nunez R., Gross G.H., Sachs B.D.: Origin and central projections of rat dorsal penile nerve: possible direct projections to autonomic and somatic neurons by primary afferents of non muscle origin. *J. Comp. Neurol.* 1986, 247: 417-429.
- 51 - Purinton P.T., Fletcher T.F., Bradley W.E.: Gross and light microscopic features of the pelvic plexus in the rat. *Anat. Rec.* 1973, 175: 697-706.
- 52 - Root W.S., Bard P.: The mediation of feline erection through sympathetic pathways with some remarks on sexual behaviour after deafferentation of the genitalia. *Am. J. Physiol.* 1947, 151: 80-90.
- 53 - Sjostrand N.O., Klinge E.: Principal mechanisms controlling penile retraction and protrusion in rabbits. *Acta Physiol. Scand.* 1979, 106: 199-214.
- 54 - Steers W.D., MaHory B., De Groat W.C.: Electrophysiological study of neural activity in penile nerve of the rat. *Am. J. Physiol.* 1988, 254: R989-R1000.
- 55 - Walsh P.C., Lepor H., Egglston J.C.: Radical prostatectomy with preservation of sexual function: anatomical and pathological considerations. *Prostate* 1983, 4: 473.

RESUME : Les mécanismes locaux responsables de l'érection dépendent de l'activité musculaire lisse caverneuse et vasculaire et pour une moindre part des muscles striés ischiocaverneux. Le système nerveux autonome et somatique commande l'érection en contrôlant respectivement le tonus musculaire lisse et strié. Le nerf honteux contient des fibres somatiques efférentes et les afférences sensitives issues du pénis via le nerf dorsal du pénis. L'innervation parasympathique issue de la moëlle sacrée, emprunte les nerfs pelviens puis caverneux. L'organisation du système nerveux sympathique impliqué dans l'érection est plus complexe. Les fibres nerveuses sympathiques gagnent les structures érectiles par les nerfs hypogastriques ou la chaîne sympathique lombosacrée qu'elles quittent pour rejoindre les nerfs honteux ou pelvien. Le rôle de ces différents contingents nerveux est discuté à la lumière des données cliniques et de l'expérimentation animale. **Mots clefs :** neuroanatomie, neurophysiologie, système nerveux autonome, érection. **Andrologie** , 1992, 2, 123-127.