

TRAITEMENT NEUROCHIRURGICAL DE LA VESSIE HYPERACTIVE CHEZ LE BLESSÉ MÉDULLAIRE

L. BAUCHET^(1,2), F. SEGNARBIEUX⁽¹⁾, G. MARTINAZZO⁽²⁾, P. FREREBEAU⁽¹⁾, F. OHANNA⁽²⁾

(1) Services de Neurochirurgie A et B, Hôpital Gui-de-Chauliac, CHU, 80, avenue Augustin-Fliche, 34295 Montpellier Cedex 5.

(2) Centre PROPARGA, 263, rue du Caducée, 34195 Montpellier Cedex 5.

SUMMARY : Neurosurgical treatment of hyperactive bladder in spinal cord injury patients

L. BAUCHET, F. SEGNARBIEUX, G. MARTINAZZO, P. FREREBEAU, F. OHANNA (*Neurochirurgie*, 2001, 47, 13-24).

Objectives : *We report long-term results of posterior sacral root rhizotomies in combination with Finetech-Brindley anterior sacral root stimulators implanted intradurally in 20 spinal cord injury patients.*

Material and methods : *The 14 female and 6 male patients included 14 paraplegics and 6 tetraplegics. All of them initially presented hyperactive bladder, detrusor-sphincter dyssynergia, recurrent urinary tract infection and performed (self) intermittent catheterization. Prior to implantation, an intrathecal test using bupivacaine was performed to confirm the compliances of the bladder. The main indication for implantation was persistent urinary incontinence refractory to medical therapy.*

Results : *After implantation the mean follow-up was 4,5 years. In all, 18 patients used the stimulator alone for bladder emptying and 18 patients were completely continent. The mean bladder capacity increased from 190 ml preoperatively to 460 ml after the operation. The mean residual urinary volume was reduced from 90 ml to 25 ml. No changes were noted by renal isotopic scanning in upper urinary tracts of patients. In 1 patient, a second extradural implant was performed.*

Discussion : *This article also include an overview of a) the different available sites where application of electrical stimulation results in a detrusor contraction, b) the benefits and disadvantages of the sacral posterior rhizotomy, c) selective stimulation techniques that allow selective detrusor activation by sacral root stimulation.*

Conclusion : *Sacral anterior root stimulation combined with sacral posterior rhizotomy is a valuable method to restore bladder functions in spinal cord injured patients suffering from hyperactive bladder refractory to medical therapy.*

Key words: *electrical stimulation, sacral anterior root stimulator, sacral rhizotomy, bladder, spinal cord injury.*

RÉSUMÉ

Objectifs : Les auteurs rapportent leur expérience de la stimulation des racines sacrées antérieures couplée à la rhizotomie sacrée postérieure chez 20 patients para- ou tétraplégiques.

Matériel et méthodes : Les 14 femmes et 6 hommes implantés avaient en préopératoire une vessie hyperactive, une dyssynergie vésico-sphinctérienne, des infections urinaires à répétition et pratiquaient l'auto ou l'hétéro-sondage. L'indication était l'incontinence urinaire résistante au traitement médical et rééducatif. Les examens préopératoires comportaient un bilan de la fonction rénale, une étude urodynamique et un test avec injection intrathécale à la bupivacaine. Les 20 patients ont été opérés par voie intradurale selon la technique de Brindley. Un patient a été réimplanté par voie extradurale.

Résultats : Avec un recul moyen de 4,5 ans, 18 patients utilisent exclusivement la stimulation pour uriner et 18 patients sont parfaitement continents. La capacité vésicale moyenne augmente de 190 ml en préopératoire à 460 ml en postopératoire, et le volume résiduel moyen diminue de 90 ml à 25 ml. Le nombre d'infections urinaires diminue significativement. La fonction rénale reste normale.

Discussion : Nous discutons a) nos résultats par rapport aux autres séries publiées sur la stimulation des racines sacrées antérieures combinée à la rhizotomie postérieure, b) les autres sites de stimulation ayant pour objectif de rétablir les fonctions vésicales, c) les avantages et les inconvénients de la rhizotomie postérieure, d) les limites et les perspectives de la stimulation des racines sacrées antérieures.

Conclusion : La stimulation des racines sacrées antérieures couplée à la rhizotomie sacrée postérieure est une méthode fiable pour restaurer la miction chez le blessé médullaire ayant une vessie hyperactive rebelle au traitement médical.

Les patients para- ou tétraplégiques par atteinte médullaire supra-sacrée ont « une vessie neurologique » caractérisée par l'absence de contrôle mictionnel, la présence d'un résidu, une contraction non soutenue ou inefficace du détrusor et une dyssynergie vésico-sphinctérienne. Le déséquilibre entre les forces de rétention et d'évacuation est source de complications sur le bas et le haut appareil urinaire. La neuro-anatomie de la miction est à la base des modalités des traitements médicaux et chirurgicaux de telles vessies, et tout particulièrement de la stimulation des racines sacrées antérieures couplée à la rhizotomie postérieure.

La miction est normalement commandée par des circuits neuronaux principalement situés dans la moelle lombo-sacrée et coordonnée par des structures cortico-sous-corticales [18]. L'innervation motrice du bas appareil urinaire est triple : parasympathique sacré (nerfs pelviens), sympathique thoraco-lombaire (nerfs hypogastriques et chaînes sympathiques) et somatique sacré (nerfs pudendaux). Le parasympathique sacré (corps cellulaires situés dans la région intermedio-ventralis de la moelle, fibres de petit diamètre empruntant les racines antérieures de S2 à S4) permet la contraction du détrusor, muscle lisse de la vessie, et participe ainsi à la vidange vésicale. Les muscles striés du pelvis et notamment du sphincter strié vésical, commandés volontairement, sont innervés par des fibres motrices de gros diamètre provenant aussi des racines antérieures de S2 à S4, mais dont les corps cellulaires sont situés dans la corne antérieure de la moelle sacrée. La contraction tonique du sphincter strié permet la continence et son inhibition participe à la miction. Le sympathique thoraco-lombaire (T11 à L2) a surtout une fonction régulatrice favorisant la distension vésicale et la continence par une action sur le col vésical. Les principales afférences provenant de la vessie sont des fibres myélinisées de petit diamètre A δ et des fibres C non myélinisées, entrant dans la moelle sacrée par les racines postérieures S2 à S4. Quelques afférences suivraient les voies sympathiques entrant dans la moelle dorsale plus haut située. L'action synergique entre le détrusor et le sphincter strié serait sous la dépendance d'un centre situé dans le tronc cérébral (centre pontique de la miction) [18, 19]. En cas de lésion médullaire sévère, interrompant les faisceaux descendants, la miction devient réflexe et très perturbée. Le détrusor et le sphincter strié se contractent simultanément, il apparaît une dyssynergie vésico-sphinctérienne. De plus, cette dyssynergie est renforcée par l'apparition de contractions non inhibées de la vessie, appelées hyperactivité vésicale [3]. Il en résulte, le plus souvent, une vessie hyperactive non contrôlable, de faible capacité, de compliance réduite, avec un

volume résiduel élevé. À cela s'ajoute une augmentation de la pression intravésicale per-mictionnelle. Les infections urinaires, l'incontinence, le reflux vésico-urétéral, l'hydronéphrose et l'insuffisance rénale sont des complications fréquentes chez les patients para- ou tétraplégiques.

Le but des traitements est ici de prévenir ces complications en restaurant les fonctions de réservoir et de vidange vésicale. Différents types de stimulation éventuellement couplés à des gestes de rhizotomie postérieure ou de neurotomie ont été proposés (voir [30] pour une revue). Les résultats cliniques ont largement démontré la supériorité de la stimulation des racines sacrées antérieures tout au moins pour les lésions médullaires épargnant le cône terminal et les racines sacrées [30]. La stimulation des racines sacrées antérieures a été développée par Brindley [5-9, 11]. Les premières implantations ne comportaient pas de section des racines postérieures et la vidange vésicale n'était pas complète. En 1979, une patiente conservant une épargne sensitive sacrée, eut une lésion opératoire des racines postérieures. Le résultat sur la vidange vésicale fut total, avec une augmentation de la capacité vésicale jamais obtenue auparavant. Ultérieurement, la rhizotomie postérieure des racines S2, S3 puis S4, S5 permit d'obtenir une aréflexie du détrusor, une compliance vésicale normale et de remédier à l'incontinence [5]. L'association de la stimulation des racines sacrées antérieures à la rhizotomie postérieure permet de restaurer à la demande les fonctions de réservoir et de vidange vésicale. De plus, la stimulation des racines sacrées antérieures favorise la motilité intestinale. En changeant les paramètres de stimulation, le stimulateur Finetech-Brindley peut être utilisé comme aide à la défécation et parfois à l'érection [6, 14, 22]. Nous rapportons notre expérience de la stimulation des racines sacrées antérieures couplée à la rhizotomie sacrée postérieure chez 20 patients avec un recul moyen supérieur à 4 ans. Ce travail a fait l'objet d'une communication orale à la Société de Neurochirurgie de Langue Française (Paris, décembre 1999, O 13).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Nous présentons l'étude rétrospective des résultats obtenus après l'implantation chirurgicale de 21 stimulateurs des racines sacrées antérieures couplée à la rhizotomie postérieure chez 14 femmes et 6 hommes traumatisés médullaires. Tous les patients ont été opérés au Centre PROPARA de Montpellier, entre mai 1990 et mai 1998. Les deux critères principaux de l'évaluation ont été l'étude de la continence et de l'utilisation du stimulateur pour la miction. Les mesures pré- et postopératoires de la capacité vésicale, du volume résiduel, des pressions de contraction vésicale, le

nombre d'infections urinaires, l'appréciation de la fonction rénale, l'existence d'une hyperréflexivité autonome, l'utilisation du stimulateur pour la défécation et pour l'érection ont constitué les critères secondaires de l'évaluation. Quatorze patients présentaient une paraplégie et 6 une tétraplégie ; tous avaient une lésion stable et complète « Frankel A » (sauf pour 2 patients qui conservaient une sensibilité en mosaïque, sans épargne sacrée). Le délai moyen entre l'accident et l'implantation était de 75 mois (extrêmes : 15-286 mois). L'âge moyen à l'implantation était de 34 ans (extrêmes : 17-53 ans). Tous les patients avaient, en préopératoire, une incontinence urinaire au repos, une vessie hyperactive, une dyssynergie vésico-sphinctérienne de grade II ou III, des infections urinaires à répétition, et pratiquaient l'auto-sondage ou l'hétéro-sondage. L'indication principale était l'incontinence urinaire résistant au traitement médical (anticholinergique à forte dose) et rééducatif (20 cas). Les buts étaient de supprimer cette incontinence et de redonner une certaine autonomie, de diminuer les infections urinaires, de préserver la fonction rénale et de traiter, le cas échéant, une hyperréflexivité autonome (3 cas). Les examens préopératoires comportaient une étude urodynamique complète (capacité vésicale, compliance, étude de la dyssynergie vésico-sphinctérienne, mesure des pressions et des débits) avec une imagerie pré-, per- et post-mictionnelle du bas appareil, une exploration rénale (échographie, clairance de la créatinine, ionogramme sanguin, et scintigraphie). Un test intrathécal à la bupivacaïne à 0,5 % a été effectué chez tous les patients pour confirmer la bonne compliance de la vessie (dénervation chimique réversible, mimant l'effet de la rhizotomie postérieure). Les 20 patients ont été opérés par voie intradurale (cf. § Technique chirurgicale) avec rhizotomie sacrée postérieure et implantation d'un stimulateur Finetech-Brindley à 3 canaux (figure 1). Un patient a été réimplanté par voie extradurale, 6 ans après la première implantation.

PRINCIPE DE LA STIMULATION DES RACINES SACRÉES ANTÉRIEURES (figure 2)

Dans la technique de Brindley, la miction est électriquement discontinue [9]. La stimulation des racines sacrées antérieures entraîne une contraction simultanée du détrusor et du sphincter. La miction est possible en utilisant les différences de comportement entre les fibres musculaires du détrusor et celles du sphincter. Les cellules musculaires lisses du détrusor sont grosses, lentement excitables, à relâchement lent. Les cellules musculaires striées du sphincter sont petites, rapidement excitables et à relâchement très rapide. L'arrêt de la stimulation entraîne un relâchement rapide du sphincter, tandis que le détrusor se contracte encore. Un choix judicieux dans la succession des stimulations permet d'obtenir une miction efficace.

TECHNIQUE CHIRURGICALE

La voie intradurale

Une laminectomie de L4 ou L5 à S2 est réalisée. Après ouverture durale, sous microscope opératoire,



FIG. 1. — Le stimulateur (3-canaux) Finetech-Brindley (distribué par Neuro Control 1945 E, 97th Street Cleveland, OH) est composé d'un équipement interne (implanté) et d'un équipement externe. L'implant est constitué des électrodes situées dans le piège à racines (flèches), des 3 câbles (C), du récepteur radio sous-cutané (R) et d'un dispositif d'étanchéité pour la fermeture durable (S). L'équipement externe est constitué de la boîte de contrôle (B), d'un câble (L), de l'émetteur radio (T) et d'un chargeur (G). Un nouveau matériel comportant une boîte de contrôle moins encombrante est maintenant disponible.

FIG. 1. — The (3-channel) Finetech-Brindley bladder controller (distributed by Neuro Control 1945 E, 97th Street Cleveland, OH) is composed of internal and external components. The internal components consist of the electrodes (arrows), the 3 cables (C), the sub-cutaneous radio receiver (R) and the sleeve (S) for preventing leakage of cerebrospinal fluid. The external components consist of the control box (B), a cable (L), the radio transmitter block (T) and the charger (G). A new, smaller control box that is more powerful is now available.

les racines sacrées de S2 à S5 sont identifiées par leur taille et leur position. Le monitoring peropératoire (pression endo-vésicale, pression endo-rectale et contraction des muscles squelettiques des membres inférieurs) permet de contrôler le niveau radicaire et d'identifier les racines motrices et sensibles (figures 3a et 3b). Habituellement, la racine antérieure est de plus petit diamètre, légèrement grisâtre et située en dedans de la racine sensitive plus large et

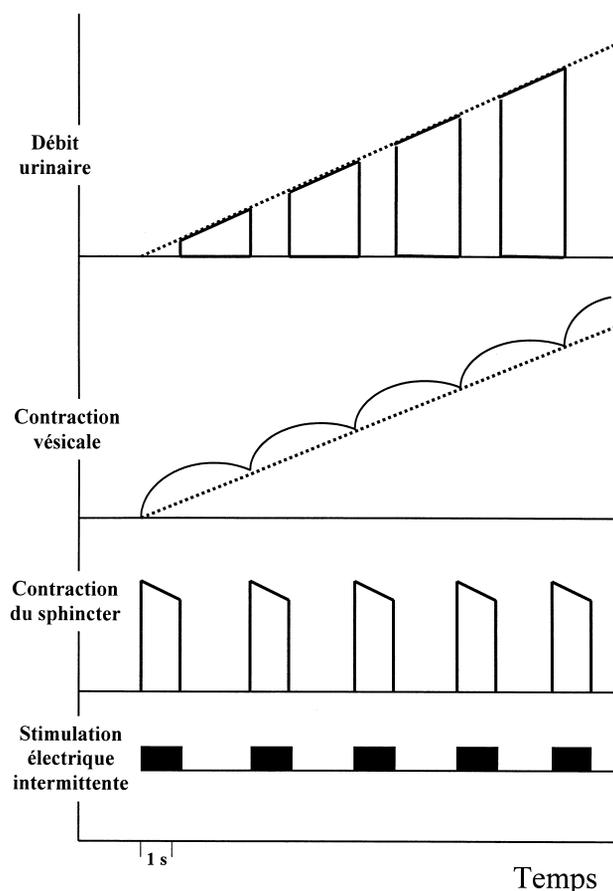


FIG. 2. — Représentation schématique illustrant la vidange vésicale par stimulation électrique intermittente. La miction survient pendant l'intervalle entre 2 impulsions (période off). Le nombre d'impulsions délivrées (approximativement entre 4 et 10 pour vider la vessie) varie en fonction du volume urinaire, du degré de la dyssynergie vésico-sphinctérienne induite par la stimulation et de la contractibilité du détrusor.

FIG. 2. — *The micturition by intermittent electrical stimulation is illustrated in this schematic representation. Micturition occurs during the gap at the end of each burst of impulses. The number of bursts delivered (approximately 4 to 10 to empty the bladder) varies according to the urinary volume, the degree of electrically induced detrusor-sphincter dyssynergia and the contracting ability of the detrusor.*

plus nacrée. Une fois le contingent moteur identifié, les racines postérieures S2 et S3 sont sectionnées et les racines postérieures S4-S5 sont écrasées. Le piège à racines (3 voies) reçoit latéralement les racines antérieures S2, et médialement les racines antérieures S3 dans le bloc supérieur. Le bloc inférieur reçoit les racines antérieures S4-S5 (figure 4). Après fermeture étanche par un capuchon siliconé et suture durale, les 3 câbles sont tunnelisés jusqu'au flanc. La fermeture est effectuée. Le patient est ensuite installé en décubitus latéral. Une poche sous-cutanée, thoracique basse ou abdominale, est faite pour recevoir le récepteur après complément de tunnelisation et connexion des câbles. La durée moyenne de l'intervention est de 5 heures.

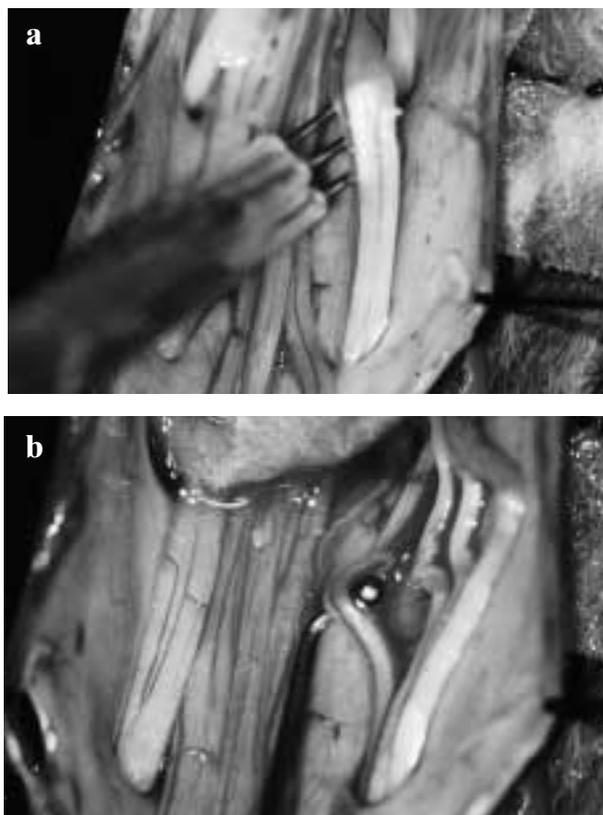


FIG. 3. — Microphotographies peropératoires. a) Les racines sacrées de S2 à S5 sont initialement repérées par leur taille et leur situation. L'identification est confirmée par la stimulation peropératoire de chaque racine. Nous voyons sur cette photographie la stimulation de la racine S2 droite.

b) Les racines antérieures et postérieures sont séparées avec précaution, en évitant au maximum de blesser le contingent moteur. Pour la racine S2 droite exposée sur cette photographie, la racine motrice est un peu plus grise et située antéro-médialement par rapport à la racine postérieure. La racine postérieure de S2 est constituée par 2 radiculles ou plus (3 sur cette photographie).

FIG. 3. — *Microphotographs.*

a) *Using the operating microscope, the sacral roots S2 to S5 are initially identified by their size and situation. The identification was confirmed by intra-operative stimulation of each root. The stimulation of the right S2 root is shown on this picture.*

b) *The roots are carefully separated into anterior and posterior divisions, causing the minimum possible trauma to the motor component. For the S2 root shown on this picture, the anterior root is a little darker in colour, and lies anteromedial to the posterior root at the exit. The posterior root of S2 is made up of 2 or more (3 on this example) distinguishable strands.*

Soins et réglages postopératoires

Le patient est maintenu en décubitus strict pendant 5 à 7 jours pour réduire le risque de fuite de LCR. Un premier contrôle de la stimulation se fait habituellement à la fin de la première semaine, mais le réglage définitif est effectué vers le 21^e jour. Une radiographie de contrôle est faite systématiquement en postopératoire (figure 5).



FIG. 4. — Microphotographie peropératoire des racines antérieures mises en place dans le piège à racines. Le piège à racines de l'implant (3 canaux) est composé de 2 blocs. Le bloc supérieur contient 3 fentes parallèles pour latéralement chaque racine antérieure (droite ou gauche) de S2 et médialement pour les 2 racines antérieures (droite et gauche) de S3. Le bloc inférieur contient une fente pour les racines antérieures (droite et gauche) de S4 ou de S4-S5. Il y a 3 électrodes dans chaque fente (1 cathode au centre et 2 anodes aux extrémités) pour éviter la stimulation des tissus voisins. Racines antérieures de S2 (flèches larges) ; racines antérieures de S3 (flèches fines) ; racines antérieures de S4-S5 (tête de flèche), racine postérieure droite coupée de S2 (étoile) ; racine postérieure droite coupée de S3 (astérisque).

FIG. 4. — *Microphotograph of anterior roots placed into the 3-channel implant slots. The 3-channel implant is composed of 2 electrode books. The upper book contains 3 parallel slots laterally for each (right or left) anterior S2 root and medially for both (right and left) anterior S3 roots. The lower book contains 1 slot for anterior S4 or S4-S5 roots. There are 3 electrodes in each slot (1 cathode in the center and 2 anodes at the 2 ends) to avoid stimulation of unwanted structures. Anterior roots of S2 (thick arrows) ; anterior roots of S3 (thin arrows) ; anterior roots of S4-S5 (arrowhead) ; right cut posterior root of S2 (star) ; right cut posterior root of S3 (asterisk).*

La voie extradurale

La laminectomie est basse de S1 à S3 et élargie pour repérer les ganglions spinaux. Les électrodes sont ici placées sur la portion extradurale de chacune

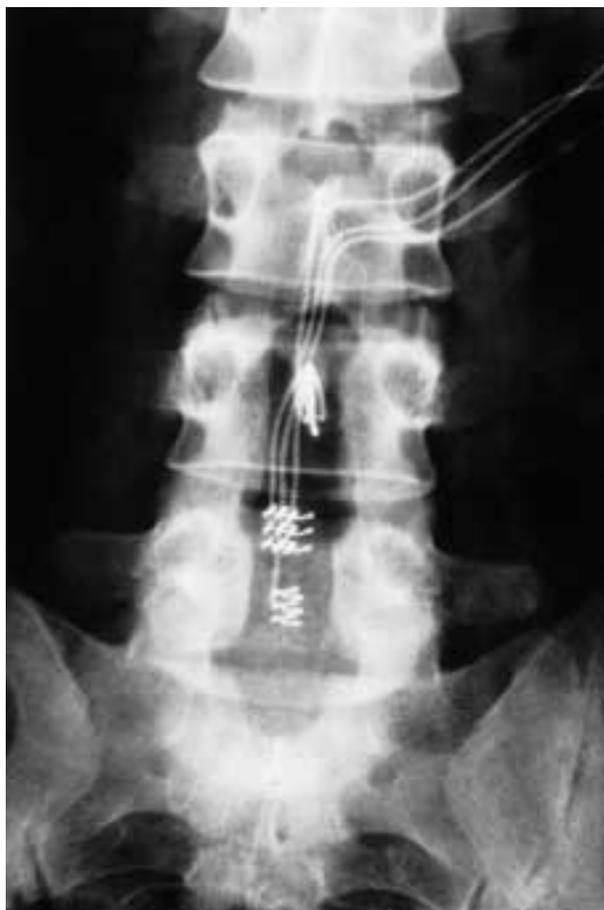


FIG. 5. — Radiographie simple de face postopératoire.
FIG. 5. — *Postoperative anteroposterior plain Xray film.*

des racines, puis connectées par tunnellation jusqu'au récepteur sous cutané. Cette voie est généralement faite en complément d'une rhizotomie sacrée (soit lors d'un précédent abord intradural classique [8], soit par rhizotomie postérieure au niveau du cône médullaire [31]).

RÉSULTATS

RÉSULTATS GÉNÉRAUX

Chez nos 20 patients opérés par stimulation des racines sacrées antérieures combinée à une rhizotomie postérieure, le recul moyen est de 4 ans et demi (1 an à 8 ans et demi). La première patiente est décédée par suicide, un an après l'implantation (recul 1 an), la stimulation était parfaitement fonctionnelle et la continence bonne.

Les principaux résultats cliniques sont résumés dans le *tableau I*.

UTILISATION DE LA STIMULATION POUR LA MICTION

Dix-sept des 19 patients survivants utilisent à ce jour la stimulation 4 à 6 fois par jour pour vider

TABLEAU I. — Principaux résultats, au dernier recul, chez 20 patients, après implantation d'un stimulateur des racines sacrées antérieures combinée à une rhizotomie sacrée postérieure.

TABLE I. — *Main latest results, in 20 patients, after implantation of sacral anterior root stimulator combined with sacral posterior rhizotomy.*

	Valeurs préopératoires	Résultats
Recul moyen (valeurs extrêmes)	—	4,5 ans (1-8,5)
Utilisation exclusive de la stimulation pour la miction	—	18 patients
Continence	0	18 patients
Capacité vésicale moyenne (valeurs extrêmes)	190 ml (40-600)	460 ml (350-800)
Volume résiduel moyen (valeurs extrêmes)	90 ml (0-500)	25 ml (0-90)*
Pression vésicale maximale per-mictionnelle moyenne sous stimulation (valeurs extrêmes)	—	65 cm H ₂ O (25-120)
Aide à la défécation par stimulation	—	8 patients
Hyperréflexivité autonome	3 patients	0 patient
Fonction rénale (biologique, scintigraphique)	normale	normale

* Un seul patient présente un volume résiduel supérieur à 50 ml.

leur vessie, sans avoir recours à d'autres méthodes. Une patiente utilise la stimulation de manière intermittente, en général le matin, et préfère pour des raisons de difficultés d'accès aux toilettes sur les lieux de son travail, avoir recours à l'autosondage dans la journée. Une jeune patiente paraplégique à l'âge de 5 ans ne fut implantée que 12 ans plus tard ; dans ce cas, le test de compliancé à la bupivacaïne hyperbare préopératoire avait montré une élévation de la pression en fin de remplissage ; un an après l'implantation, la miction était de mauvaise qualité, la vessie qui était peu compliant évolua vers la fibrose ; la stimulation fut arrêtée ; depuis, la patiente s'autosonde et garde une continence parfaite.

CONTINENCE

Dix-sept des 19 patients survivants sont continents à ce jour, sans autre thérapeutique chirurgicale. Deux patients (un homme et une femme) ont eu une incontinence d'effort qui a nécessité la pose d'un sphincter artificiel.

VALEURS URODYNAMIQUES

La capacité vésicale, le volume résiduel, les pressions de contractions et leurs valeurs préopé-

ratoires sont exposés dans le *tableau I*. Globalement, par rapport aux valeurs préopératoires, la capacité vésicale moyenne augmente de 190 ml (extrêmes : 40-600 ml) à 460 ml (extrêmes : 350-800 ml), le volume résiduel moyen diminue de 90 ml (extrêmes : 0-500 ml) à 25 ml (extrêmes : 0-90 ml) ; enfin, la pression vésicale maximale per-mictionnelle moyenne sous stimulation est de 65 cmH₂O (extrêmes : 25-120 cmH₂O) et reste au-dessous de 90 cmH₂O dans 90 % des cas.

INFECTION URINAIRE

Tous les patients avaient, en préopératoire, des infections urinaires récidivantes. Le nombre d'infections urinaires après l'implantation est difficile à comptabiliser. Cependant, on note une diminution notable des épisodes fébriles d'origine urinaire. De plus, les contrôles bactériologiques urinaires ne sont que rarement positifs.

FONCTION RÉNALE

Tous les patients ont eu, en postopératoire et dans le suivi, des contrôles biologiques de la fonction rénale (clairance de la créatinine, ionogramme sanguin). Chaque patient a bénéficié d'une scintigraphie rénale au DMSA (acide dimercaptosuccinique) et au DTPA (acide diéthylènetriaminopentaacétique) en postopératoire, à 1 an, puis tous les 2 ans. Ces examens sont toujours restés dans la limite de la normale.

HYPERRÉFLECTIVITÉ AUTONOME (HRA)

L'HRA, complication présente chez certains paraplégiques hauts ou tétraplégiques, est contemporaine du passage des urines au niveau du trigone vésical (phase expulsive) ou lors du remplissage vésical important. L'HRA déclenche une montée de la tension artérielle, des céphalées, une bradycardie et, parfois, une pâleur et des sueurs. On attribuerait le phénomène d'HRA à une déconnexion supra-spinale des centres orthosympathiques. Les 3 patients qui avaient en préopératoire une HRA importante sont tous guéris.

TRANSIT ET DÉFÉCATION

Tous les patients utilisant leur stimulation à visée mictionnelle ont une amélioration de leur motilité colique (test aux granules positif). Huit patients utilisent une stimulation à fréquence longue comme aide à la défécation. Cette stimulation particulière amène le bol fécal dans l'ampoule rectale et les selles sont facilement évacuées par étirement anal.

ÉRECTION

L'érection par stimulation intense et prolongée des racines antérieures S2 est habituellement pos-

sible chez nos patients masculins. Cependant, cette stimulation est rarement utilisée par les patients en raison de ses effets secondaires : contractures importantes des membres inférieurs et, parfois, fuites urinaires ou fécales. Les patients utilisent habituellement les autres méthodes actuellement disponibles.

SPASTICITÉ

Excepté en période postopératoire, aucun patient n'a majoré sa spasticité. Nous n'avons pas, dans notre série, de patient porteur de pompe à baclofène.

COMPLICATIONS

En postopératoire immédiat, 2 patients ont eu un épanchement de liquide céphalo-rachidien en sous-cutané. Cet épanchement a disparu après maintien du décubitus, application de pansements compressifs et prescription d'acétazolamide. Le récepteur sous-cutané a dû être changé de place chez 2 patients : l'un pour des raisons ergonomiques, l'autre pour un déplacement secondaire déclenchant des douleurs au niveau lésionnel. Une patiente atteinte de diverticules vésicaux préexistants a majoré nettement le volume de l'un de ses diverticules 7 ans après la pose du stimulateur ; ceci entraîna un volume résiduel important et de nouvelles infections urinaires à répétition ; une résection par voie transvésicale a guéri cette patiente, et elle a repris sa stimulation 2 mois plus tard. Une autre patiente a eu une pyélonéphrite, un an après l'implantation : la cystographie rétrograde a révélé l'existence d'un reflux vésico-urétéral, qui a été traité par endoscopie ; le contrôle urologique ultérieur a été normalisé et la patiente a repris sa stimulation.

PANNES DE MATÉRIEL

Sur les 20 patients implantés, nous avons changé un récepteur sous-cutané, à cause de la rupture d'un câble distal, 8 ans après l'implantation. Nous avons réopéré un autre patient par voie extradurale, 6 ans après la 1^{re} implantation en raison d'un défaut de fonctionnement au niveau d'une électrode intradurale. Actuellement, ces deux patients se stimulent normalement. Par ailleurs, quelques problèmes mineurs étant survenus sur le contrôleur externe (4 déconnexions de câble, 3 pannes de chargeur, 1 immersion accidentelle de l'appareil, 1 choc violent sur le boîtier), les patients ont dû pratiquer l'auto- ou l'hétérosondage, le temps de la réparation ou du changement du dispositif externe.

DISCUSSION

Après un bref rappel de nos résultats comparés à ceux de la littérature, nous exposons les particularités de notre série et les principales indications de la stimulation des racines sacrées antérieures couplée à la rhizotomie postérieure. Ensuite, nous discutons les autres techniques neurochirurgicales ayant pour but de restaurer les fonctions vésicales (stimulations vésicale, des nerfs pelviens et les médullaires). Il est précisé les avantages et les inconvénients de la rhizotomie sacrée postérieure et les résultats de la DREZtomie microchirurgicale des métamères sacrées. Enfin, un paragraphe est consacré aux limites, perspectives et rapport coût-efficacité de la technique de stimulation des racines sacrées antérieures couplée à la rhizotomie postérieure.

RÉSULTATS ET ANALYSE DE LA LITTÉRATURE

Dans notre série de 20 patients, le recul moyen est de 4 ans et demi. Nous obtenons 80 % d'excellents résultats, validés par l'utilisation exclusive de la stimulation pour la miction (90 % des cas) et par la continence complète (90 % des cas) (*tableau I*). Ceci est comparable aux principales séries publiées [1, 2, 6, 12, 14, 22]. Il en est de même pour le faible taux de complications observées [1, 7].

Quelques particularités sont à rapporter dans notre série

La population féminine est prédominante (14 femmes sur 20 patients), alors que Egon *et al.* [14] ont implanté 28 femmes sur 96 patients et van Kerrebroeck *et al.* [22] 11 femmes sur 52 patients. Nous avons privilégié, dans nos indications, l'incontinence résistant au traitement médical, qui, chez les femmes paraplégiques ne pouvant pas s'appareiller efficacement, pose un véritable problème physique, psychologique et social. L'autonomie et la réinsertion sociale des patientes sont ici très satisfaisantes.

Tous les patients ont eu un test préopératoire avec injection intrathécale de bupivacaïne à 0,5 % pour estimer la bonne compliance vésicale après déafférentation. L'intérêt de ce test est de simuler une déconnexion par section radiculaire postérieure poly-étagée et d'apprécier la qualité du tissu vésical [27]. Ceci nous permet d'éliminer les patients ayant une vessie hypertonique et scléreuse, qui justifieraient, à notre sens, un geste d'agrandissement vésical par entérocystoplastie.

Les 20 patients ont eu une scintigraphie rénale au DMSA et au DTPA en postopératoire, à 1 an et tous les 2 ans. Ces résultats normaux confirment l'innocuité de la technique sur le haut appareil urinaire. À notre connaissance, ce point n'a

jamais été étudié de manière systématique dans les études déjà publiées.

Quels types de patients doivent ou peuvent être implantés ?

Les techniques de stimulation, utilisées comme élément substitutif à la commande volontaire, nécessitent l'intégrité de l'unité motrice depuis le corps cellulaire du motoneurone jusqu'à l'effecteur terminal (muscle lisse ou strié). La stimulation des racines sacrées antérieures nécessite donc l'intégrité du système efférent parasympathique sacré.

Les blessés médullaires ayant une lésion cliniquement complète, située au-dessus du cône terminal et une hyperactivité vésicale, sont potentiellement candidats, un an après le traumatisme, à une stimulation des racines sacrées antérieures [12]. En fait, les indications actuelles se posent plus en terme de troubles urologiques, à titre curatif et/ou préventif. Pour le moment, la technique de Brindley n'est pas une alternative à l'auto ou l'hétéro-sondage. L'électrostimulation s'adresse aux patients dont les mictions ne sont pas contrôlées par les méthodes médicales et rééducatives habituelles, ou aux patients présentant des troubles vésicaux menaçant le haut appareil urinaire (par exemple : compli-ance vésicale réduite en raison d'une vessie hyperactive mais non scléreuse, infection haute récidivante) [11].

Chez la femme, la principale indication de stimulation des racines sacrées antérieures associée à la rhizotomie sacrée postérieure est l'incontinence [22]. Nous avons donc particulièrement développé cette indication chez les femmes qui présentaient une incontinence rebelle et handicapante. La continence a été obtenue (grâce à la rhizotomie sacrée postérieure) chez 13 de nos 14 patientes implantées. En plus, la technique de Brindley paraît particulièrement adaptée aux femmes paraplégiques, car elle leur redonne une « autonomie sphinctérienne » et leur permet une réinsertion sociale.

Chez l'homme, l'indication opératoire est portée principalement sur la présence de difficulté d'appareillage et d'un résidu post-mictionnel important en association, le plus souvent, avec une dyssynergie vésico-sphinctérienne de grade élevé [22]. L'existence d'une incontinence, d'une hyperréflexivité autonome et/ou d'un reflux vésico-rénal sont des arguments supplémentaires pour proposer l'intervention [14, 22].

La rhizotomie sacrée postérieure, et particulièrement la section de la racine S2, fait disparaître l'érection réflexe. L'électrostimulation continue, à forte intensité, peut redonner une érection [11], cependant, elle est peu utilisée par les patients. Par conséquent, nous avons exclu de nos indica-

tions les hommes ayant une érection préservée et efficace. Par contre, chez l'homme tétraplégique, l'intervention de Brindley peut favoriser la prise en charge sphinctérienne par une tierce personne sans avoir recours au sondage.

Les lésions médullaires incomplètes ne sont pas une contre-indication, mais les bénéfices de la rhizotomie sacrée postérieure doivent être comparés aux inconvénients de la perte de la sensibilité sacrée [14]. La présence d'une épargne sensitive sacrée, chez l'homme ou la femme, nous paraît être une contre-indication relative à ce type d'intervention.

Selon les séries, les patients implantés avec un stimulateur Finetech-Brindley ont une lésion médullaire d'origine traumatique dans 94 % à 100 % des cas. Les processus tumoraux notamment dorsaux, la sclérose en plaques, les myélites transverses, le myéloméningocèle représentent quelques rares indications pour les causes non traumatiques [6].

Quelle que soit l'étiologie de la lésion médullaire, les patients à opérer doivent avoir une lésion médullaire stable (pour les lésions traumatiques, délai minimum de 9 mois entre l'accident et l'implantation) [22]. Il n'y a pas de délai maximum fixe pour réaliser cette intervention. Nous avons opéré un patient 23 ans après son accident : il présente, à ce jour, un bon résultat. Cette notion est retrouvée dans la littérature [22]. Par contre, l'intervention doit être effectuée chez des patients dont l'hyperactivité vésicale n'a pas encore entraîné des conséquences irréversibles telle qu'une vessie fibreuse, rétractée et non distensible. La surveillance clinique des patients à la moelle épinière lésée est impérative, mais parfois non suffisante. Nous proposons une surveillance régulière par échographie vésicale pré- et post-mictionnelle, ce qui permet d'apprécier le volume urinaire résiduel et la paroi vésicale. Les examens urodynamiques, plus invasifs, sont effectués ensuite, si besoin.

Les détails concernant les indications et contre-indications urologiques, ainsi que l'analyse des examens préopératoires sont détaillés par ailleurs [14, 22, 27]. En accord avec les récentes publications, l'IRM médullaire permet d'éliminer une syringomyélie, une arachnoïdite sacrée ou une malformation méningo-radulaire qui pourrait être une contre-indication à cette technique.

AUTRES SITES DE STIMULATION AYANT POUR OBJECTIF DE RÉTABLIR LES FONCTIONS VÉSICALES

La contraction du détroisor peut aussi être obtenue par stimulation du détroisor lui-même, des nerfs pelviens ou de la moelle épinière sacrée.

Stimulation vésicale

La première stimulation vésicale a été réalisée en 1954 [4]. Deux électrodes bipolaires furent placées près des deux jonctions vésico-urétérales. Un seul patient sur 3 a eu un résultat satisfaisant. Depuis, quelques groupes (voir [30] pour une revue) ont rapporté leur expérience, en général avec des succès limités (mauvaise vidange vésicale). L'interface entre les électrodes et le muscle du détrusor demeure un problème majeur. De nouveaux types d'électrodes sont à l'étude chez l'animal [38]. Actuellement, cette méthode pourrait se discuter seulement dans les cas de patients présentant des lésions nerveuses périphériques.

Stimulation des nerfs pelviens

La stimulation des nerfs pelviens, contenant les fibres parasympathiques innervant le détrusor et ne renfermant pas de fibre à destinée du sphincter urétéral, semble une solution logique pour éviter la co-contraction détrusor-sphincter. Cependant, la miction obtenue chez le chien par stimulation des nerfs pelviens est gênée par l'activation du sphincter (voir [30] pour une revue). Cette activation serait de nature réflexe et véhiculée par les fibres sensibles contenues dans les nerfs pelviens. Les nerfs pudendaux ont dû être sectionnés pour obtenir une vidange vésicale complète. Burghel [10] et Kaeckenbeck [21] rapportent l'utilisation de la stimulation des nerfs pelviens chez l'homme. La stimulation des deux électrodes (une pour chaque nerf) entraîne une contraction conjointe du détrusor et du sphincter strié. L'évacuation vésicale complète est possible par deux ou trois stimulations interrompues par des pauses de 3 à 5 minutes. Kaeckenbeck [21] publie d'excellents résultats chez 11 de ces 16 patients implantés. Cependant, les publications sur ce sujet sont rares et la faisabilité chirurgicale est limitée par la fragilité et l'accessibilité difficile des nerfs pelviens.

Stimulation médullaire

Les fibres parasympathiques pré-ganglionnaires qui innervent le détrusor prennent leur origine dans la région intermedio-ventrale de la moelle sacrée. Tandis que les fibres somatiques efférentes qui innervent le sphincter urétéral proviennent du noyau d'Onuf situé dans la corne antérieure du 3^e et 4^e segment médullaire sacré [18]. La localisation différente de ces deux groupes de motoneurons devrait permettre une stimulation sélective de la vessie. Mais leur localisation intramédullaire ne permet pas une stimulation sélective par une électrode de surface. Friedman *et al.* [15] démontrent expérimentalement chez l'animal la possibilité d'obtenir une stimulation sélective de la vessie par implantation intramédullaire

d'électrodes bipolaires. Grimes *et al.* [17] opèrent les 5 premiers patients avec 2 électrodes bipolaires implantées au niveau de S2 avec une extrémité située à 2,5 mm de profondeur. Quatre de ces 5 patients peuvent vider leur vessie par la stimulation. Mais 2 patients ont nécessité une sphinctérotomie pour réduire la résistance urétrale. Grimes et Nashold [16] présentent leurs 10 premiers cas : les résultats varient selon les patients. La stimulation entraîne chez certains malades une contraction du détrusor et une relaxation du sphincter, tandis que chez d'autres la contraction du détrusor est contemporaine d'une contraction du sphincter. Ceci indique que la position des électrodes dans la moelle sacrée a une large influence sur les résultats. Sedan *et al.* [33, 34] rapportent des résultats chez 6, puis 9 patients avec la méthode décrite par Nashold : avec un recul variant de 19 à 45 mois, 3 patients ont un excellent résultat (stimulation efficace, miction normale, absence de résidu) ; dans 6 cas, après une longue période d'efficacité, la miction devient de mauvaise qualité et apparaît un résidu, bien que cette stimulation médullaire entraîne une contraction suffisante du détrusor ; chez 4 patients, la perte d'efficacité est en rapport avec une maladie du sphincter non ou mal traitée. Les résultats semblent meilleurs chez la femme (2 succès sur 3) que chez l'homme (1 succès sur 6). De plus, les auteurs décrivent un meilleur résultat lorsqu'à l'implantation du cône médullaire a été associé un geste neurochirurgical destiné à combattre la spasticité. De 1982 à 1993, Creasey [12] rapporte l'absence d'autres séries publiées à ce sujet. Plus récemment, chez le chat, Woodford *et al.* [40] démontrent la possibilité d'activation sélective de la vessie par stimulation de la moelle épinière, avec des électrodes 1 000 fois plus petites que celles utilisées par Nashold. En conclusion, la stimulation intramédullaire reste peut-être une voie d'avenir possible, mais n'a pas d'application courante actuellement.

RHIZOTOMIE SACRÉE POSTÉRIEURE : AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

La stimulation des racines sacrées antérieures est actuellement la technique neurochirurgicale la plus fiable, surtout si elle est associée à une rhizotomie postérieure. La rhizotomie postérieure est réalisée pour abolir l'hyperréflexie vésicale [6] et demeure le geste le plus important pour redonner la continence urinaire. En effet, Dahms et Tanagho [13] rappellent que le principe de déafférentation sacrée a été introduit, il y a environ un siècle, pour diminuer le phénomène de spasticité. MacDonagh *et al.* [25] exposent les intérêts de la rhizotomie sacrée postérieure comme traitement de l'incontinence chez le blessé médullaire. De

plus, lors de la stimulation des racines sacrées antérieures, les résultats obtenus sur la continence, la compliance et la vidange vésicale sont meilleurs si la rhizotomie sacrée postérieure est complète [14, 22]. Par ailleurs, la rhizotomie sacrée postérieure réduit considérablement, et de manière durable, les phénomènes d'hyperréflexivité autonome [23].

De même, la DREZtomie (DREZ : dorsal root entry zone) microchirurgicale réalisée au niveau des métamères sacrés (S2, S3, parfois S4) entraîne une déafférentation vésicale, ce qui augmente significativement la compliance vésicale (92 % des cas) et améliore la continence (85 % des cas) chez 38 patients ayant une vessie hyperactive [26].

La rhizotomie sacrée postérieure présente, cependant, quelques inconvénients. C'est une chirurgie destructive. Chez l'homme, l'érection réflexe est abolie. Les patients conservant cette fonction réflexe doivent en être avertis, même si parfois la stimulation associée permet de rétablir une érection. Une éventuelle épargne sacrée est supprimée.

LIMITES, PERSPECTIVES ET RAPPORT COÛT-EFFICACITÉ DE LA STIMULATION DES RACINES SACRÉES ANTÉRIEURES COUPLÉE À LA RHIZOTOMIE POSTÉRIEURE

Actuellement, avec le matériel Finetech-Brindley, l'utilisation d'électrodes tripolaires (1 cathode entre 2 anodes) offre l'avantage, par rapport à une électrode mono- ou bipolaire, de diminuer la stimulation antidromique et la diffusion au tissu voisin. Mais les racines sacrées antérieures contiennent les fibres de petit diamètre pré-ganglionnaires parasympathiques à destinée du détrusor et les fibres somatiques motrices de gros diamètre innervant le sphincter strié. La miction est rendue possible grâce aux différences biomécaniques des fibres musculaires lisses du détrusor et des fibres musculaires striées du sphincter, c'est le principe du « poststimulus voiding » (*figure 2*). Cette méthode de stimulation est non physiologique. De plus, quand les paramètres ne sont pas convenablement réglés, la pression intravésicale augmente par co-contraction du détrusor et du sphincter. La miction est alors de mauvaise qualité, avec un résidu, et il existe un risque théorique de lésion du haut appareil urinaire. Les recherches actuelles s'orientent vers des moyens supplémentaires pour diminuer la contraction du sphincter et des méthodes réalisant une stimulation sélective du contingent parasympathique des racines sacrées antérieures.

Différentes méthodes sont à l'étude pour diminuer la contraction du sphincter. Il a été proposé l'interruption chirurgicale des fibres somatiques à

destinée du sphincter par neurotomie du nerf pudendal. Chez l'homme, Tanagho *et al.* [37] ont présenté les premiers, les résultats d'une stimulation selon leur procédé extradural, couplée le plus souvent, à une neurotomie du nerf pudendal. Actuellement, l'équipe de Tanagho [13] étudie expérimentalement les possibilités d'interruption sélective des fibres à destinée du sphincter par radicellotomie motrice.

Pour éviter la section nerveuse, la transmission électrique des nerfs pudendaux peut être bloquée réversiblement par une stimulation antidromique [36]. L'utilisation d'une haute fréquence de stimulation permet, chez le chien, de bloquer sélectivement les fibres nerveuses à destinée du sphincter [35].

Pour diminuer la co-contraction du sphincter lors de la stimulation des racines sacrées antérieures, d'autres auteurs proposent de réaliser une fatigue préalable du sphincter soit par stimulation directe [20], soit par stimulation des nerfs pudendaux [24], soit par stimulation sélective des fibres somatiques, de gros diamètre, au niveau de la racine sacrée antérieure [28].

Parmi les méthodes d'activation sélective des fibres parasympathiques, de petit diamètre, Rijkhoff *et al.* [29] testent un programme de stimulation utilisant une électrode tripolaire avec un bloc anodal. Ces auteurs concluent à la faisabilité de la méthode avec un résultat positif chez 8 patients sur 12, lors de l'implantation classique d'un stimulateur de Brindley chez des patients traumatisés médullaires.

Récemment, Schumacher *et al.* [32] ont expérimenté chez le chien un procédé sélectif et réversible de blocage par le froid (cryotechnique) des fibres myélinisées à destination du sphincter, pendant que les fibres non myélinisées innervant le détrusor sont activées par la stimulation des racines sacrées antérieures.

Le rapport coût-efficacité de la stimulation des racines sacrées antérieures couplée à la rhizotomie postérieure a été évalué par Wielink *et al.* [39]. À ce jour, plus de 1 000 patients ont été implantés dans le monde. Les bénéfices en terme d'autonomie, de continence, de diminution des complications urinaires chez le patient para ou tétraplégique sont importants. Le bénéfice économique global (amortissement du matériel et prise en charge spécifique, comparés à la prise en charge urinaire classique d'un patient présentant une lésion médullaire complète) est estimé positif 8 ans après l'implantation [39]. De plus, cette durée est à rapporter au jeune âge des patients blessés médullaires (plus de la moitié des blessés médullaires sont âgés de moins de 30 ans au moment du traumatisme – Source IRME - Institut pour la Recherche sur la Moelle Épinière).

CONCLUSION

La stimulation des racines sacrées antérieures couplée à la rhizotomie sacrée postérieure est une méthode fiable chez le patient para ou tétraplégique. Cette technique neurochirurgicale permet de restaurer la miction chez le blessé médullaire ayant une vessie hyperactive et rebelle au traitement médicale, dans 80 à 90 % des cas. Les bénéfices en terme d'autonomie, de continence, de diminution des complications urinaires et d'économie sont importants. Les perspectives de stimulation plus sélective permettront probablement une optimisation de la méthode.

REMERCIEMENTS : Nous remercions tout particulièrement, au Centre PROPARGA, M^{mes} A. PIRON et C. LIEGEY, infirmières de bloc opératoire, N. BEZINA, infirmière anesthésiste, C. GILBERT, documentaliste, A. BRICMAN, secrétaire, et MM. P. BENOÎT, kinésithérapeute chef, et H. HATON, technicien, pour leur collaboration efficace à ce travail.

RÉFÉRENCES

- [1] VAN DER AA HE, ALLEMAN E, NENE A, SNOEK G. Sacral anterior root stimulation for bladder control : clinical results. *Arch Physiol Biochem* 1999 ; 107 : 248-256.
- [2] BARAT M, EGON G, DAVERAT P, COLOMBEL P, GUERIN J, RITZ M *et al.* L'électrostimulation des racines sacrées antérieures dans le traitement des neuro-vessies centrales. Technique de GS Brindley. Résultats des 40 premiers cas français. *J Urol (Paris)* 1993 ; 99 : 3-7.
- [3] BENETON C, MERTENS P, with the collaboration of LERICHE A, SINDOU M. The spastic bladder and its treatment. *In* : Sindou M, Abbott R, Keravel Y, eds. *Neurosurgery for spasticity*. Wien, New York : Springer, 1991 : 193-199.
- [4] BOYCE WH, LATHAM JE, HUNDT LD. Research related to the development of an artificial electrical stimulator for the paralyzed human bladder : a review. *J Urol* 1964 ; 91 : 41-51.
- [5] BRINDLEY GS. History of the sacral anterior root stimulator, 1969-1982. *Neurourol Urodyn* 1993 ; 12 : 481-483.
- [6] BRINDLEY GS. The first 500 patients with sacral anterior root stimulator implants : general description. *Paraplegia* 1994 ; 32 : 795-805.
- [7] BRINDLEY GS. The first 500 sacral anterior root stimulators : implant failures and their repair. *Paraplegia* 1995 ; 33 : 5-9.
- [8] BRINDLEY GS. The Finetech-Brindley bladder controller : notes for surgeons and physicians. Cleveland, USA : Neuro Control Corporation, 1997 : 1-40.
- [9] BRINDLEY GS, POLKEY CE, RUSHTON DN. Sacral anterior root stimulators for bladder control in paraplegia. *Paraplegia* 1982 ; 20 : 365-381.
- [10] BURGHELE T. Electrostimulation of the neurogenic urinary bladder. *In* : Lutzeyer W, Melchior H, eds. *Urodynamics : upper and lower urinary tract*. Berlin : Springer, 1973 : 318-322.
- [11] COLOMBEL P, EGON G, ISAMBERT JL. La technique de Brindley. *In* : Actes des 9^{es} entretiens de l'Institut Garches. Paris : Arnette-Blackwell, 1996 ; 21-35.
- [12] CREASEY GH. Electrical stimulation of sacral roots for micturition after spinal cord injury. *Urol Clin North Am* 1993 ; 20 : 505-515.
- [13] DAHMS SE, TANAGHO EA. The impact of sacral root anatomy on selective electrical stimulation for bladder evacuation. *World J Urol* 1998 ; 16 : 322-328.
- [14] EGON G, BARAT M, COLOMBEL P, VISENTIN C, ISAMBERT JL, GUERIN J. Implantation of anterior sacral root stimulators combined with posterior sacral rhizotomy in spinal injury patients. *World J Urol* 1998 ; 16 : 342-349.
- [15] FRIEDMAN H, NASHOLD BS, SENECHAL P. Spinal cord stimulation and bladder function in normal and paraplegic animals. *J Neurosurg* 1972 ; 36 : 430-437.
- [16] GRIMES JH, NASHOLD BS. Clinical application of electronic bladder stimulation in paraplegics. *Br J Urol* 1974 ; 46 : 653-657.
- [17] GRIMES JH, NASHOLD BS, CURRIE DP. Chronic electrical stimulation of the paraplegic bladder. *J Urol* 1973 ; 109 : 242-245.
- [18] DE GROAT WC. Anatomy and physiology of the lower urinary tract. *Urol Clin North Am* 1993 ; 20 : 383-401.
- [19] DE GROAT WC. Anatomy of the central neural pathways controlling the lower urinary tract. *Eur Urol* 1998 ; 34 (suppl 1) : 2-5.
- [20] HALD T, FREED PS, AGRAWAL G, KANTROWITZ A. Urethral resistance during electrical stimulation. *Invest Urol* 1966 ; 4 : 247-256.
- [21] KAECKENBEECK B. Électrostimulation de la vessie des paraplégiques. Technique de Burghele-Ichim-Demetrescu. *Act Urol Belg* 1979 ; 47 : 139-140.
- [22] VAN KERREBROECK PEV, VAN DER AA HE, BOSCH JLHR, KOLDEWIJN EL, VORSTEVEL JHC, DEBRUYNE FMJ, DUTCH STUDY GROUP ON SACRAL ANTERIOR ROOT STIMULATION. Sacral rhizotomies and electrical bladder stimulation in spinal cord injury. Part I: clinical and urodynamic analysis. *Eur Urol* 1997 ; 31 : 263-271.
- [23] LE CHAPELAIN L, PUJOL S, WIART L, JOSEPH PA, BARAT M. Evaluation de la dysréflexie autonome après radicotomie sacrée chez le blessé médullaire. *Ann Réadapt Méd Phys* 1995 ; 38 : 197-199.
- [24] LI JS, HASSOUNA M, SAWAN M, DUVAL F, ELHILALI MM. Long-term effect of sphincter fatigue during bladder neurostimulation. *J Urol* 1995 ; 153 : 238-242.
- [25] MACDONAGH RP, FORSTER DMC, THOMAS DG. Urinary continence in spinal injury patients following complete sacral posterior rhizotomy. *Br J Urol* 1990 ; 66 : 618-622.
- [26] MERTENS P, SINDOU M. La drézotomie microchirurgicale dans le traitement de la spasticité invalidante des membres inférieurs. *Neurochirurgie* 1998 ; 44 : 209-218.
- [27] OHANNA F, COSTA P, SEGARNBIEUX F, FREREBEAU P, GROS C. Stimulation des racines antérieures sacrées et paraplégie. Evolution des techniques et critères de sélection. *In* : Pelissier J, Costa P, Lopez S, Mares P, eds. *Rééducation vésico-sphinctérienne et ano-rectale*. Paris : Masson 1992 ; 216-225.
- [28] RIJKHOFF NJM, KOLDEWIJN EL, VAN KERREBROECK PEV, DEBRUYNE FMJ, WIJKSTRA H. Acute animal studies on the use of an anodal block to reduce urethral resistance in sacral root stimulation. *IEEE Trans Rehab Eng* 1994 ; 2 : 92-99.
- [29] RIJKHOFF NJM, WIJKSTRA H, VAN KERREBROECK PEV, DEBRUYNE FMJ. Selective detrusor activation by elec-

- trical sacral nerve root stimulation in spinal cord injury. *J Urol* 1997 ; 157 : 1504-1508.
- [30] RIJKHOFF NJM, WIJSTRA H, VAN KERREBROECK PEV, DEBRUYNE FMJ. Urinary bladder control by electrical stimulation: review of electrical stimulation techniques in spinal cord injury. *Neurol Urodyn* 1997 ; 16 : 39-53.
- [31] SARRIAS M, SARRIAS F, BORAU A. The « Barcelona » technique. *Neurol Urodyn* 1993 ; 12 : 495-496.
- [32] SCHUMACHER S, BROSS S, SCHEEPE JR, SEIF C, JUNEMANN KP, ALKEN P. Extradural cold block for selective neurostimulation of the bladder : development of a new technique. *J Urol* 1999 ; 161 : 950-954.
- [33] SEDAN R, BOURHIS A, REGIS H, SARRAZIN L, BUFFET J, LAZORTHES Y *et al.* La stimulation électrique du cône médullaire dans les vessies neurologiques. *Neuro-Chirurgie* 1974 ; 20 : 93-116.
- [34] SEDAN R, BOURHIS A, SARRAZIN C, BARRE E, LAZORTHES Y, SARRAMON JP *et al.* Résultats éloignés de la stimulation électrique du cône médullaire, en cas de vessies neurologiques. *Neuro-Chirurgie* 1977 ; 23 : 47-54.
- [35] SHAKER HS, TU LM, ROBIN S, ARABI K, HASSOUNA M, SAWAN M *et al.* Reduction of bladder outlet resistance by selective sacral root stimulation using high-frequency blockade in dogs : an acute study. *J Urol* 1998 ; 160 : 901-907.
- [36] SWEENEY JD, MORTIMER JT, BODNER DR. Acute animal studies on electrically induced collision block of pudendal nerve motor activity. *Neurol Urodyn* 1989 ; 8 : 521-536.
- [37] TANAGHO EA, SCHMIDT RA, ORVIS BR. Neural stimulation for control of voiding dysfunction: a preliminary report in 22 patients with serious neuropathic voiding disorders. *J Urol* 1989 ; 142 : 340-345.
- [38] WALTER JS, WHEELER JS, CAI W, KING WW, WURSTER RD. Evaluation of a suture electrode for direct bladder stimulation in a lower motor neuron lesioned animal model. *IEEE Trans Rehabil Eng* 1999 ; 7 : 159-166.
- [39] WIELINK G, ESSINK-BOT ML, VAN KERREBROECK PEV, RUTTEN FFH, DUTCH STUDY GROUP ON SACRAL ANTERIOR ROOT STIMULATION. Sacral rhizotomies and electrical bladder stimulation in spinal cord injury. II - Cost-effectiveness and quality of life analysis. *Eur Urol* 1997 ; 31 : 441-446.
- [40] WOODFORD BJ, CARTER RR, MCCREERY D, BULLARA LA, AGNEW WF. Histopathologic and physiologic effects of chronic implantation of microelectrodes in sacral spinal cord of the cat. *J Neuropathol Exp Neurol* 1996 ; 55 : 982-991.
-