

## 神経モニタリング

徹底分析  
シリーズ非中枢神経外科手術と  
術中神経モニタリング骨盤底手術における  
排尿機能保護への挑戦

林 浩伸 15a 新BM

「癌は取りきれたが導尿カテーテルが抜けない」  
手術室を離れた後、そんな報告を耳にしたことはないだろうか。術後の排尿機能障害は生命予後には直結しないものの、患者の生活の質（QOL）を著しく損なう“生活麻痺”である。従来は不可能とされてきたが、近年は骨盤底手術における機能温存を目的に、脳や脊髄以外の「非中枢神経領域」での術中神経モニタリングが注目されている。

本稿では、直腸切除術や前立腺切除術などに伴う陰部神経損傷による排尿機能障害を取り上げ、麻酔科医が知っておくべき基礎と術中神経モニタリングのための麻酔管理の要点を概説する。

11a ロダンDB (以下同)

11a ロダンDB (以下同)  
14H (以下同)

10a ヲラギ/明部 (w3) 12H  
HAYASHI, Hironobu  
奈良県立医科大学 麻酔科学教室  
0.5 ヲラギ・色ベタ・矢野 14a

13a ヲラギ/明部 (w2) 17w 誌  
22H

16a ロダンDB (以下同)  
17H (以下同)

骨盤底手術で重要となるのは、仙髄 S2～S4 から分枝する陰部神経である。陰部神経は骨盤底を走行し、外尿道括約筋や外肛門括約筋といった随意筋を支配する。これらの筋が正常に機能することで、われわれは排尿や排便を意識的にコントロールできる (図1)。例えば、側方リンパ節郭清を伴う直腸切除術では、坐骨棘周囲や閉鎖孔付近での郭清操作、特に内腸骨動脈・静脈周囲の剥離やリンパ節摘出時に陰部神

経本幹や分枝が手術野に近接し、直接損傷や牽引・圧迫による陰部神経の損傷リスクが高まる。また、骨盤底筋群の剥離や深部への電気メス・エネルギーデバイスの使用も陰部神経損傷の原因となる。ロボット支援腹腔鏡下前立腺切除術や恥骨後式前立腺切除術では、外尿道括約筋近傍への尿道吻合縫合操作、前立腺尖部の過度な剥離・牽引、電気メス・エネルギーデバイスの使用、神経血管束の不十分な温存などの手技によって陰部神経が損傷される可能性がある。

麻酔科医としては、解剖学的背景を

図中 ネーム  
・基本 11a M中G BBB  
・太くするネーム  
11a 太くG B101 (以下同)

図版は 0.12 ヲラギ  
色ベタで囲む (以下同)

75 135 (以内)

10a ヲラギ/明部 (w6)

10a ヲラギ/明部 (w2) 14H

徹底分析シリーズ 神経モニタリング 10a 新BM

\*1 記録電極付き尿道カテーテルは、現状では未承認医療機器であるため臨床で使用するには、各施設で法的・倫理的な手続きが必要になる。

次のページへ!!

流用 (以下同)

色ベタ+スミ20% (以下同)

## 図2 従来法による球海綿体反射 (BCR) モニタリング: 外肛門括約筋記録

陰部 (陰茎または陰核) を電気刺激し、求心路としての陰部神経感覚枝、仙髄 S2～S4 の反射弓、遠心路としての陰部神経運動枝を介して外肛門括約筋から筋電位を記録する。反射経路全体の伝導をリアルタイムに評価できるが、記録対象となる外肛門括約筋は排便機能に關する筋であり、排尿機能の指標としては必ずしも十分ではない。

(前後) 85 140

理解し、手術の進行に伴ってどの神経が危険にさらされているかをイメージできることが重要である。

術後排尿機能障害の  
臨床的インパクト

排尿機能障害は従来、癌の外科治療においては生命予後が優先されるため「仕方がない合併症」とされることが多かったが、術後に排尿機能障害が残れば、患者のQOLは著しく損なわれる。骨盤底手術後に生じる排尿機能障害は、単なる一過性の尿閉にとどまらず、尿路感染や自己導尿の継続を余儀なくされることがある。側方リンパ節郭清を伴う直腸切除術後の排尿機能障害の発生率は、手技や神経温存の有無によって大きく異なる。自律神経温存・血管 (下膀胱動脈・静脈) 温存を行ったロボット支援下や腹腔鏡下直腸切除術でも排尿障害の発生率は16.8～35

%と報告されている<sup>2-5)</sup>。また、ロボット支援腹腔鏡下前立腺切除術や恥骨後式前立腺切除術後には22～35%程度で排尿機能障害が発生するとされる<sup>6-8)</sup>。術後排尿機能障害は生命予後には直接関与しないが、QOLに直結するため、患者からの満足度や手術の評価に大きく影響する。脳や脊髄の手術後に運動麻痺が残るのと同様に、骨盤底手術後の排尿機能障害は“生活麻痺”とも呼ぶべき深刻な後遺症である。

術中神経モニタリングの  
手法と応用

球海綿体反射 (BCR) 骨盤底手術で応用できる代表的な神経モニタリングが、球海綿体反射 bulbocavernosus reflex (BCR) である (図2)。陰茎や陰核を電気刺激すると、その求心性インパルスが陰部神経を通して仙髄 S2～S4 に伝わり、脊髄反射弓を介

して陰部神経の遠心路を經由し、外肛門括約筋から筋活動電位が導出される。これにより、陰部神経が機能しているかを術中にリアルタイムに評価できる。運動誘発電位 (MEP) は運動経路、体性感覚誘発電位 (SEP) は感覚経路のみを評価するが、BCRは感覚経路+反射中枢+運動経路を一度に評価できるという特徴がある。

## 従来法の限界と新しい試み

BCRは排尿・排便機能を反映する指標として使われてきた。しかし、従来は外肛門括約筋に電極を留置して筋活動電位を記録していたため、評価できるのは排便機能に關連する要素が主体であり、排尿機能の直接的な評価には限界があることがわかってきた<sup>9, 10)</sup>。近年、外尿道括約筋から直接筋電位を記録するための新しい手法が開発されている<sup>11-13)</sup>。その代表例が、記録



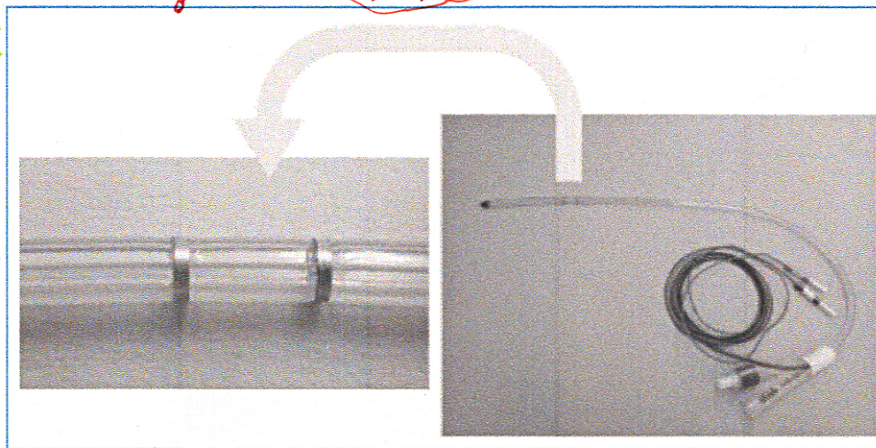
# 徹底分析シリーズ 神経モニタリング

14a ロダ>B (X)

脚注入る!!

## 図3 記録電極付き尿道カテーテル

5H> 外尿道括約筋に接する位置に記録電極を組み込んだシリコン製尿道カテーテル (ユニークメディカル社)。電極部は導電性ペーストで被覆されているため表面は滑らかになっていて、通常の尿道カテーテルと同様の手技で安全に留置できる構造となっている。これにより、球海綿体反射 (BCR) を外尿道括約筋から直接記録することが可能となり、より正確な排尿機能の術中評価が期待されている。



電極付き尿道カテーテル<sup>\*1</sup>である (図3)。通常の尿道カテーテルに電極を留置し、外尿道括約筋の近傍から筋電位を直接拾うことで、排尿機能をより正確にモニタリングできる可能性が示されている。留置方法が通常の尿道カテーテルと変わらないため、追加の侵襲を伴わず安全に導入できる点が利点である。

## 代表症例

67歳の男性。両側側方リンパ節郭清を伴う腹腔鏡下直腸切除術が予定され、術中に排尿機能モニタリングとして記録電極付き尿道カテーテルを用いた経尿道括約筋 BCR モニタリングが行われた (図4)。麻酔導入後に、通常の尿道カテーテルの代わりに記録電極付き尿道カテーテルを挿入した。陰茎への電気刺激に応じて外尿道括約筋から明瞭で再現性の高い波形が得られた。

## 麻酔管理のポイント

BCRの筋活動電位を安定して得るためには、麻酔管理がきわめて重要である。

● 麻酔薬 13a ロダ>DB (X下)

全静脈麻酔 (プロポフォール TIVA) が基本である。吸入麻酔薬は濃度依存性に BCR 波形を抑制するため、併用する場合は 0.3 MAC 以下など低濃度に抑えることが必要である。

## 筋弛緩薬

深い筋弛緩状態は反射や筋電位を抑制するため、最小限にとどめることが必要である。麻酔導入時のみ投与し、その後は追加しない、あるいは train-of-four (TOF) 比を 40% 以上に保つなどの工夫が推奨される。

## 鎮痛薬

レミフェンタニルのような短時間作用型オピオイドは BCR に大きな影響を与えず、十分量使用することで麻酔薬の投与量を抑えることができ有用である。

麻酔科医が術中神経モニタリングに配慮することで、神経生理学的評価の質が大きく左右される。

## 今後の展望

骨盤底手術における排尿機能モニタリングはまだ発展途上である。BCR を外尿道括約筋から直接記録する技術は

臨床応用が始まったばかりであり、術後排尿障害を予防できるかどうかを前向きに検証する必要がある。

しかし、すでに脳神経外科や脊椎外科領域で確立された術中神経モニタリングの考え方を骨盤底手術に応用する流れは、必然とも言える。今後、標準化が進めば、「運動麻痺の回避」といふ新しい役割を担う時代が到来するだろう。

- 骨盤底手術では、術後の排尿・排便障害が患者 QOL に大きな影響を与える。
- 陰部神経を評価する BCR モニタリングは、術中に陰部神経損傷を検出できる有用な手法である。
- 外尿道括約筋からの新しい記録法は、排尿機能評価に直結する可能性を秘めている。
- 麻酔科医は筋弛緩薬・麻酔薬の影響を理解し、術中神経モニタリングを支える役割を担うべきである。
- 非中枢神経外科手術における術中神経モニタリングは、“神経を護る麻酔科医”としての新しいステージを切り開く領域である。

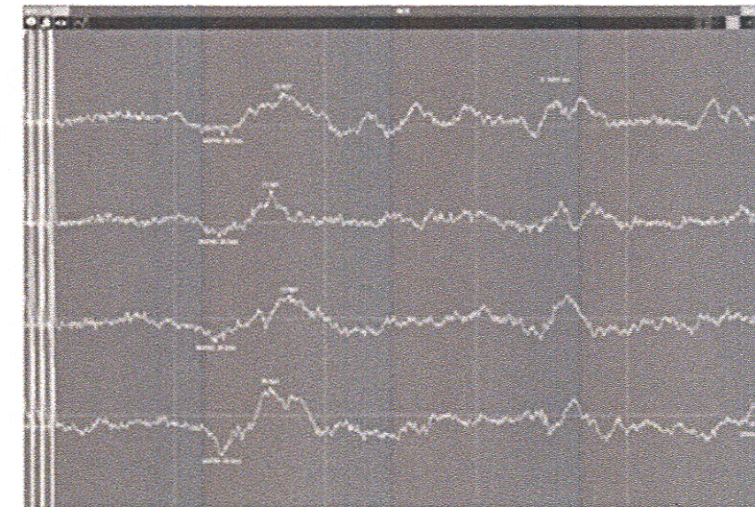


図4 外尿道括約筋から導出される球海綿体反射 (BCR) 波形の一例

陰部 (陰茎または陰核) の電気刺激により誘発された筋電位を、記録電極付き尿道カテーテルを用いて外尿道括約筋から記録した BCR 波形。刺激後約 30 ~ 50 msec に明瞭で再現性の高い反応が導出された。外尿道括約筋 BCR は排尿機能をより直接的に反映するモニタリング法として期待される。

67歳 100%

## 文献

1. Zapletal J, Nanka O, Halaska MJ, et al. Anatomy of the pudendal nerve in clinically important areas : a pictorial essay and narrative review. Surg Radiol Anat 2024 ; 46 : 211-22.
2. Ito M, Kobayashi A, Fujita S, et al. Urinary dysfunction after rectal cancer surgery : Results from a randomized trial comparing mesorectal excision with and without lateral lymph node dissection for clinical stage II or III lower rectal cancer (Japan Clinical Oncology Group Study, JCOG0212). Eur J Surg Oncol 2018 ; 44 : 463-8.
3. Arai S, Kagawa H, Shioni A, et al. Efficacy of inferior vesical vessels preservation in lateral lymph node dissection for rectal cancer: Short- and long-term outcomes. Colorectal Dis 2025 ; 27 : e70029.
4. Manabe T, Koga Y, Kubo H, et al. Adverse Effects on the postoperative urinary function after combined resection of inferior vesical artery in laparoscopic lateral pelvic lymph node dissection : retrospective analysis of consecutive 95 series. Surg Laparosc Endosc Percutan Tech 2019 ; 29 : 493-7.
5. Ishizaki T, Mazaki J, Enomoto M, et al. A new technique for robotic lateral pelvic lymph node dissection for advanced low rectal cancer with emphasis on en bloc resection and inferior vesical vessel preservation. Surg Endosc 2022 ; 36 : 7789-93.
6. Heesakkers J, Farag F, Bauer RM, et al. Pathophysiology and contributing factors in postprostatectomy incontinence : a review. Eur Urol 2017 ; 71 : 936-44.
7. Kadono Y, Ueno S, Kadomoto S, et al. Use of preoperative factors including urodynamic evaluations and nerve-sparing status for predicting urinary continence recovery after robot-assisted radical prostatectomy : nerve-sparing technique contributes to the reduction of postprostatectomy incontinence. Neurourol Urodyn 2016 ; 35 : 1034-9.
8. Kojima Y, Takahashi N, Haga N, et al. Urinary incontinence after robot-assisted radical prostatectomy : pathophysiology and intraoperative techniques to improve surgical outcome. Int J Urol 2013 ; 20 : 1052-63.
9. Choi J, Kim JS, Hyun SJ, et al. Efficacy of intraoperative bulbocavernosus reflex monitoring for the prediction of postoperative voiding function in adult patients with lumbosacral spinal tumor. J Clin Monit Comput 2022 ; 36 : 493-9.
10. Choi J, Kim JS, Hyun SJ, et al. Intraoperative bulbocavernosus reflex monitoring in posterior lumbar fusion surgery. Clin Neurophysiol 2022 ; 144 : 59-66.
11. Ogawa Y, Hayashi H, Sasaki R, et al. Motor-evoked potential monitoring from urinary sphincter muscle during pediatric untethering surgery : a case series. Childs Nerv Syst. 2023 ; 39 : 2147-53.
12. Silverstein JW, Block J, Olmsted ZT, et al. Intraoperative monitoring of the external urethral sphincter reflex : a novel adjunct to bulbocavernosus reflex neuromonitoring for protecting the sacral neural pathways responsible for urination, defecation and sexual function. J Clin Neurophysiol 2024 ; 41 : 558-64.
13. Reeves F, Everaerts W, Murphy, DG, et al. Stimulation of the neurovascular bundle results in rhabdosphincter contraction in a proportion of men undergoing radical prostatectomy. Urology 2016 ; 87 : 133-9.