

最新のトピックス

おしっこはトグロ巻く

信州大学医学部泌尿器科学教室

皆川 倫 範

I はじめに

まず、タイトルは他所に置いておく。先んじて、真面目な話をする。後半も真面目な話ではあるが。排尿機能を理解し、排尿障害の検査・治療するのは、泌尿器科の重要な仕事である。昨今の泌尿器科領域では、癌治療やロボット手術などが主だったトピックスとなっていて、排尿機能・排尿生理に注目した活動は低迷している。という、関係各所から大変なお叱りを頂くことになり、今風にいうと、炎上することとなるだろうが、ここでは寛大な本誌に許容されることを期待させて頂く。さて、排尿機能の理解は、基本的には生理学である。尿意に関わる神経伝達(尿意)・臓器制御(排尿筋収縮のオン・オフ)に焦点を当てるのが排尿生理である。排尿障害の検査は、尿意の有無や程度・排尿筋の収縮圧と尿の排出効率を評価し、尿路閉塞や排尿筋収縮不全・排尿筋過活動等の病態に対して治療介入を行う。閉塞があればそれを解除する薬物や手術を検討し、収縮不全があれば自己導尿、排尿筋過活動があれば対症療法、と治療体系が別れてくる。こう書くと、排尿に興味があってもなくても、退屈したり、読む気がなくなったりするかもしれない。お断りとして、本稿で概説するのは、生理学ではなく、物理学である。これを書くと、生理学側からも物理学側からもご批判を頂くこととなって、炎上する可能性が否定できないが、ここもやはり寛大な本誌の裁量に甘えさせていただきたい。さて、ご安心頂きたいのは、排尿生理でなく、排尿物理と銘打っているのは、小生だけであること。したがって、諸先生にご迷惑がかかることはないはずである。であるからして、排尿物理は正式に認められた用語ではなく、筆者が研究の意義を解説するために考案し、個人的に使用しているに過ぎない。本稿の寛大なる読者は、それとしてご認識頂く必要である。ともかく、排尿を物理で理解する試みは、(自分で言うのも傲慢な気もするが)新しいとい

えば新しいトピックスである。実際、排尿を物理で理解しようとする試みは、ほとんど認めない。厳密にいうと、あったのだけど、すぐ消えてしまった。要するに後が続かないのだ。そういう私の研究も、同じ運命を辿らないとも限らないのだが、せっかくの機会をいただいたので、執筆させて頂くこととした。さて、過去の研究者は、手法として物理であっても、(微妙な言い回しだが)研究の方向性として物理学を意識していることはなかったと思われる。言うなれば、生理学を補助するために物理を用いたような検討だった。無論筆者は、排尿の全てを物理で理解・説明しようとは思ってはいない。排尿の、特に狭義の排尿(尿が尿道を通過する現象)を物理で理解し、その意義を広めようとするのが、筆者の研究主題である。本稿では、排尿の基礎と物理学で理解する意義に触れたのち、現在の研究状況を報告する。末尾では、将来展望についても触れたい。

II 生理学的な排尿障害の理解

繰り返すようだが、排尿機能(下部尿路機能・膀胱尿道機能)の理解の中心は生理学である。まず、膀胱に蓄えられた尿が一定量を上回ると、膀胱内圧が上昇し、膀胱壁内にある神経終末が発火する。壁がストレッチされる影響だという研究者もいるが、いずれにしても尿の量が一定量増えれば神経終末からの求心性神経刺激が増えて、中枢神経に尿意が程度として伝わる。中枢神経で受ける尿意の刺激が一定量を上回ると、大脳皮質では「尿意」として認識される。ここまでは、排尿しないよう我慢するために下部尿路は制御され、排尿筋は収縮しないようにされるし、尿道括約筋は収縮を続ける。それでも制御が難しければ、体性神経を使って外尿道括約筋を収縮させて禁制を保とうとする。我慢する必要がなければ、多くの野生動物のように一定量たまったなら所構わず排尿して回ればいいのだが、サピエンスはそうはいかない。社会的な要請・訓練の

結果として、通常はトイレ以外での排尿は禁じられているので、なんとか我慢してトイレまで蓄尿を維持する。トイレで構えるなり便座に座るなりして体制を整えたら、(ここはかなり不思議なのだが) 橋にあるといわれる排尿中枢のスイッチが入れ替わって、蓄尿から排尿に転じる。排尿では排尿筋は収縮して括約筋は弛緩し、膀胱が虚脱するまで緩やかにかつ滑らかに尿が排出される。理想的には完全に膀胱が空になったら、今一度、臓器の制御は蓄尿に転じて、膀胱内に尿が蓄えられ始める。これを一日に4回とか10回とか繰り返すのが、下部尿路の機能、である。これらの営みに、物理的な話は、まったくでない。あえていえば、膀胱内の圧力、くらいであろうが、それは低圧蓄尿という生理的に重要な要件を満たす目安であることと、排尿筋収縮力というこれまた生理的に重要な活動の結果を見るものである。また、ベルヌーイの定理とかレイノルズ数とか、流体力学でおなじみの話が始まるでもなく、そのまま生理学的臓器制御でストーリーは完結・回帰する。また、世にいう前立腺肥大症は、肥大した腺腫が尿道内腔を圧迫・狭窄するので、広義では膀胱出口閉塞として扱われるが、ここでもまた、ベルヌーイの定理などは登場しない。余談だが、指定の場所や環境で排尿するのは、サピエンスだけではない。犬にとって排尿は、縄張り各所に転々とマーキングを行う社会的活動である。犬はサピエンスより高度な排尿機能を持っている。ハクビシンも、所定の場所に糞尿をするようである。空き家や、ときに空いていない家に集中して糞尿をしまくるので、害獣と位置づけられている。高度な排泄機構が仇となっているようで、気の毒である。

Ⅲ 排尿を物理で～尿流体力学の意義～

さて、ここまで、排尿生理の雑談(?) を述べてきた。断っておくが、筆者は長年に渡り排尿生理を研究してきたし、海外に留学して学位まで持っている。今風にいうと、排尿生理をゴリゴリに研究してきたわけだから、断じて嫌いなわけではない。むしろ、多くの泌尿器学会会員やサピエンスよりも、興味深く排尿に接していると自負している。では、なぜ、ここで物理を持ってくるのか。それは、面白いからである。もっと正確にいうと、美しいと感じたからである。これを言う、現代風にいうと、「ドン引き」という状況に陥る可能性が高い。正直、紙面に載せるべきか大いに悩んだ。しかしながら、最も適切な表現は、「排

尿が美しいと感じたから」である。排尿のナニが美しいかという、排尿の流線が、である。流線が描く放物線も捨てがたいが、なによりも、「トグロ」が美しい。カラードプラ超音波検査で観察した膀胱・尿道内のトグロ(後述)も美しいと感じたし、ハイスピードカメラで観察した排尿流線の描くトグロ・螺旋(後述)にも感激した。一般にトグロの美しさは独特で、自然現象のなかでも、アーティストを引き付ける謎めいたものがある。レオナルド・ダ・ヴィンチも、葛飾北斎も、歌川広重も、伊藤若冲も、流線・トグロをモチーフとした作品を残している。科学も美術も源流は同じで、言ってしまうと自然である。科学は自然現象の探求で、美術は自然の模倣・抽出である、と誰かが言っていた。したがって、筆者が排尿の尿線を見て美しいと感じる心は正当化される。ここまで書けば、「ドン引き」しないで読んでいただけるだろうか?

Ⅳ 尿流体力学の現在地

さて、私が取り組む排尿は、何度もいうようだが、物理である。第一に超音波検査¹⁾⁻³⁾で取り組み、第二にハイスピードビデオカメラ⁴⁾⁵⁾で取り組んだ。

まず、第一の、超音波検査である。だいたい前のこと、私は、経尿道的手術の最中、手術合併症の予防目的に経腹超音波検査で膀胱を観察していた。通常は白黒のBモードで観察するのだが、なんの気まぐれか、流体(主に血流)の動きを観察するカラードプラモードで観察した。すると、体外へ排出される灌流液は、美しいトグロを巻いていた。ソフトクリームのようなトグロが、尿道で描かれていたのだ。これが、私がトグロと出会った瞬間である。以後、経尿道的手術時ではなく、意識下・無麻酔での排尿を観察するなどして、尿は膀胱尿道内でトグロを巻いて排出され、どうも排尿効率と関わるものだと突き止めた。

そして、第二として、ハイスピードビデオカメラである。慣習的にも、上述でも、排出された尿は放物線を描く尿線となって(多くの場合は)便器に着水する。それはまったくの思い込みというか、人間の動体視力の限界からくるものである。線だと思ったものは、実際には点、ないし点線だったのだ。そういえば、水面に着水するときの音は、ショボショボしている。ギターの響きのような連続した音でなくて、ドラムのような不連続の音というべきか。さらに観察すると、外尿道口近傍ではトグロであり螺旋であるが、おおよそ外尿道口から5 cm 程度離れると散乱して水滴になる。

水滴は空気抵抗を受けて水滴が扁平化しながら着水に至る。もっと言えば、排尿の始まりと終わりとは、尿線（というより尿の波、尿波）は、大きく形態が異なる。散乱した尿の粒間隔が広がる。わずかながら得た臨床データでは、前立腺肥大症など排尿障害の患者では、尿は散乱する。ようするに、散らばるのだ。以前、TOTOの研究開発の方に伺ったら、前立腺肥大症の患者はトイレを汚すので研究が必要だと言っていた。これはそのことだと思った。病態のことはともかく、排尿研究を志しておきながら、尿線を「線」と決め込んでいた自分の浅はかさに嘆き、その美しさに驚嘆した。用水路のトグロを描いたレオナルド・ダ・ヴィンチの心境に近いものだったろうと考えている。

上述の検討の結果、尿はトグロを描きながら体内・

体外を駆け抜け、その物理学的特徴は排尿障害により変化するのだ。ただし、現時点では男性のデータしかない。女性でも同様に、トグロを巻いて散乱するものと考えられるが、パイロット研究するにはどうにもハードルが高い内容である。「あなたの排尿を観察させてほしい」というのは。

V おわりに～排尿物理の行く道～

ウソのような冗談のような、おしっこのトグロの話。小学生が喜ぶ程度で終わるのか、イグノーブル賞に至るか、はたまた真っ当な検査機器開発等に至るかは、いまだ不明である。しかしながら、自然科学の発展には、自然美の発見という観点が関わるのであれば、トグロ研究にそれほど暗い未来があるとも思えない。

文 献

- 1) Minagawa T, Suzuki T, Domen T, et al: Modified sonourethrography assists urethral catheterization. J Med Ultrason 43: 443-448, 2016
- 2) Minagawa T, Daimon H, Ogawa N, et al: Morphological and clinical evaluation of prostatic urethra using modified sonourethrography with retrograde jelly injection. Low Urin Tract Sympt 11: 4-10, 2017
- 3) Minagawa T, Ogawa T, Ishizuka O: Fluid dynamic assessment of the lower urinary tract: exploratory research to observe vorticity in the prostatic urethra after transurethral enucleation. Int J Urol 26: 853-854, 2019
- 4) Minagawa T, Tezuka M, Ogawa T: Vorticity in lower urinary tract can be assessed and associates with urinary tract morphology in men. Neurorol Urodyn 39: 286-294, 2020
- 5) Minagawa T, Saito T, Ueno M, et al: Initial clinical results of fluid dynamical approach for lower urinary tract function using a high-speed video camera. Int J Urol 30: 415-416, 2022