

原 著

犬腎盂尿管における URODYNAMICS に関する
実験的研究

尿管蠕動運動のいわゆる "PACEMAKER" の問題について

会 田 靖 夫

信州大学医学部泌尿器科学教室 (主任: 柿崎 勉教授)

EXPERIMENTAL STUDY OF URODYNAMICS IN THE
CANINE RENAL PELVIS AND URETER

SOME PROBLEMS OF "PACEMAKER" FOR URETERAL
PERISTALSIS

Yasuo AIDA

Department of Urology, Faculty of Medicine,
Shinshu University

(Director: Prof. T. Kakizaki)

Key words: 腎盂内圧 (intrapelvic pressure)
尿管蠕動運動 (ureteral peristalsis)
活動電位 (action potential)
歩調とり圧波 (pacemaker wave)

緒 言

尿管蠕動運動は上部尿路の尿輸送機構において最も重要な役割を果たしていると考えられている。しかしながらその発生機序については、解剖学的、レ線学的、水力学的、電気生理学的研究等の多方面からこれまで多くの研究により追求され論議されてきたところであるが未だ不明な部分が甚だ多い。従来尿管蠕動運動は尿路以外の "pacemaker" よりの神経性ないし液性支配によるものではなく、腎盂尿管自体の持つ本来の自律性に基づくものであるという点は一般に認められてきたが、その自律性が何によるかという問題になると意見は大きく2つに分れ、腎盂尿管移行部の尿による伸展に対する伸展反応説¹⁾²⁾と腎盂における "pacemaker" 存在説³⁾⁻¹¹⁾とが対立して現在に至っている。この両説はそれぞれ根拠とする多くの実験成績を持っているが従来の研究法では手の届かない、より深い所に尚未知の尿生成輸送機構の存在することが予想

されている。著者はこの問題の中心をなすいわゆる "pacemaker wave" の実体を明らかにすべく雑種成犬を用い以下の如き実験を行い若干の知見を得たのでここに報告する。

実験方法

体重 5.5~19.6kg の雑種成犬22頭を用い、pento-barbital sodium 30mg/kg の静脈内投与による全身麻酔下に左腎尿管を腰部斜切開にて経後腹膜的に露出し、生理食塩水を 2.7~4.2ml/min. 点滴静注して十分な尿量を確保しながら、腎盂内圧、尿管内圧および腎盂活動電位、腎盂尿管移行部活動電位、尿管活動電位等を記録した。受圧器は LPU-0-1-350-0-III strainingauge manometer (東洋測器) を用い、腎盂または尿管内圧は尿管中部に小切開を加え、3F カテーテルを挿入して受圧器に接続し測定した。腎盂および尿管内圧を同時に測定した場合は別のカテーテルを腎外縁より腎実質を貫いて腎盂内に挿入して測定した。

使用したカテーテルはいずれも2孔である。電極は極間2mm, 先端約50 μ の双極針電極を表面電極として用い懸垂管外導出し, 腎盂, 腎盂尿管移行部, さらに腎盂尿管移行部より2cmまたは4cmの部位の尿管の活動電位を測定した。また鼻孔用呼吸ピックアップ(三栄測器)を用い呼吸を同時に記録した。増幅器は低圧用増幅器(三栄測器 1212), 生体電気現象用増幅器(三栄測器 1205C)を使用, 4素子-system 120, または8素子-system 140のbiophysigraph(ペン描き, 三栄測器)にて記録した。

実験成績

実験 1. 腎盂, 尿管の平常時の活動電位および内圧

尿輸送状態における腎盂筋電図の管外導出は, イヌの場合その腎外腎盂がほとんどない¹²⁾ことから多少の工夫を要する。著者はin vivoにおいて腎盂活動電位をできるだけ広範囲から導出するために2つの方法を行った。1つは図1の如く腎盂背側に一致する部分の腎実質を部分切除し, 腎盂をできるだけ傷つけないように露出して電極を置き活動電位を記録した。他は腎内腎盂と腎実質の間を注意深く剝離し, 腎盂尿管移行部より上方約5mmの位置に電極を置くものであ

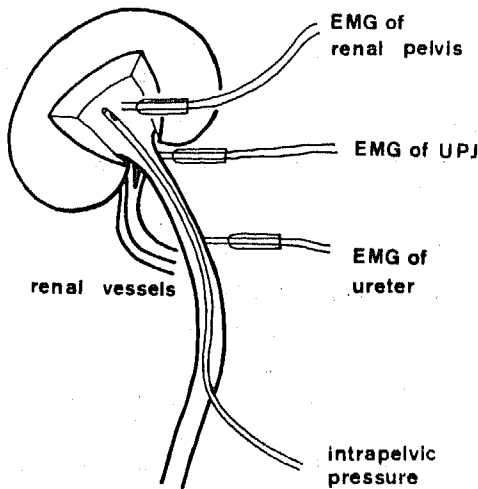


図1 腎部分切除による腎内腎盂活動電位測定模式図(双極針電極による管外導出) 図は左腎背側面を示す

各電極間距離:

- 腎盂-腎盂尿管移行部(UPJ): 5mm
- 腎盂尿管移行部(UPJ)-尿管: 2cm

る。これらによる測定値にはほとんど差はなかった。ただ前者は腎盂の最も上部を露出し得るので必要に応じてこの方法を用いた。測定成績は表1に示した。

表1 平常時腎盂, 腎盂尿管移行部, 尿管の活動電位

No.	腎 盂		腎盂尿管移行部		尿 管	
	mV	出現頻度 回/分	mV	出現頻度 回/分	mV	出現頻度 回/分
8	0.06	30.0	0.06	30.0	0.06	30.0
10	0.10	20.0	0.10	20.0	0.60	20.0
11	0.05	27.3	0.13	27.3	0.23	27.3
25	0.03	31.5	0.15	31.5	0.20	31.5
26	0.02	31.5	0.05	31.5	0.35	31.5
27	0.05	24.0	0.40	24.0	0.60	24.0
31	0.03	17.1	0.10	17.1	0.15	17.1
33	0.02	13.3	0.12	13.3	0.20	13.3
35	0.04	25.0	0.10	25.0	0.08	25.0
37	0.05	30.0	0.08	30.0	0.10	30.0
38	0.03	15.0	0.10	15.0	0.17	15.0
39	0.04	33.3	0.04	33.3	0.10	33.3
40	0.05	16.7	0.07	16.7	0.14	16.7
41	0.10	12.0	0.07	12.0	0.14	12.0
42	0.03	17.6	0.20	17.6	0.05	17.6
43	0.02	15.0	0.10	15.0	0.20	15.0
44	0.02	24.0	0.05	24.0	0.20	24.0
45	0.03	24.0	0.07	24.0	0.08	24.0
46	0.03	20.0	0.07	20.0	0.09	20.0
47	0.04	24.0	0.17	24.0	0.13	24.0
48	0.03	19.4	0.07	19.4	0.21	19.4
49	0.03	20.0	0.03	20.0	0.07	20.0
n=22						
mean	0.040	22.30	0.105	22.30	0.188	22.30
S. D.	0.022	6.36	0.078	6.36	0.150	6.36
最大値	0.10	33.3	0.40	33.3	0.60	33.3
最小値	0.02	12.0	0.03	12.0	0.05	12.0

註. 測定時電極間距離は,

腎盂-腎盂尿管移行部: 5mm

腎盂尿管移行部-尿管: 2cm

腎盂活動電位とその頻度は各犬それぞれ一定であるが各犬間では相違があり0.02mV~0.10mV, および12.0~33.3回/分, 波形はほぼ一定であるが腎盂尿管移行部や尿管のそれとは異なり比較的小さな波である。図2はその代表例である。活動電位は腎盂尿管移行部へ1:1, さらに尿管へ1:1の比率で規則的に

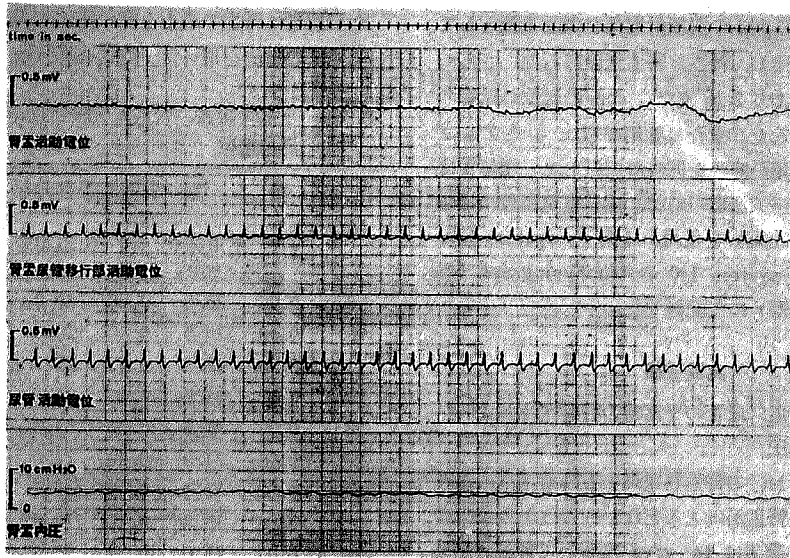


図 2 平常時 (中等度利尿時) の腎盂, 尿管活動電位および腎盂内圧 No.26
 各電極間距離: 腎盂-腎盂尿管移行部: 5 mm
 腎盂尿管移行部-尿管: 2 cm

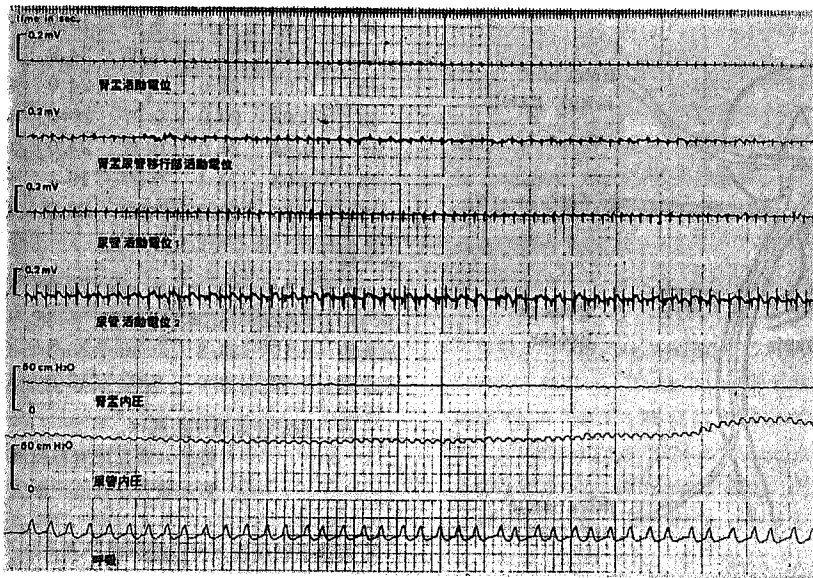


図 3 平常時 (中等度利尿時) の腎盂尿管内圧および活動電位 No.49
 各電極間距離: 腎盂-腎盂尿管移行部: 5 mm
 腎盂尿管移行部-尿管 (1): 2 cm
 尿管 (1): 尿管 (2): 2 cm

伝播されている。腎盂に置いた電極を腎盂辺縁部に向けて移動させてゆくと、腎盂中央部では0.02mV程度であった活動電位が辺縁部に近づくにつれて弱くなり、辺縁部では記録されなくなる。以上のことから腎盂活動電位が最初に出現する部位は腎盂中央部附近であると考えられる。

同時に測定した腎盂内圧では活動電位に対応した小波動が認められた。静止圧を差引いた圧巾は大体1.0~2.0cm H₂Oの微弱なもので規則正しいサイン波を呈するのが一般であった。この波動は同時に記録した呼吸波とは無関係であった(図3)。この小波動は尿管にも伝播されていたが頻度および波形は腎盂の波動と全く同じであり、ただし少し高い内圧変動を有する。すなわち圧巾は約4.0cm H₂Oで腎盂内圧より大きい。この尿管の収縮波は一般的尿管蠕動運動の収縮波とは別のものと思われる。

実験 2. 腎血流遮断状態における腎盂尿管活動電位および内圧の変化

in vivoにおいて尿流の停止している腎盂および尿管の活動電位と内圧を測定する目的で9頭について左腎動静脈に鉗子をかけ血流を一時的に遮断し、人為的に尿が生成されない状態を設定した(図4)。

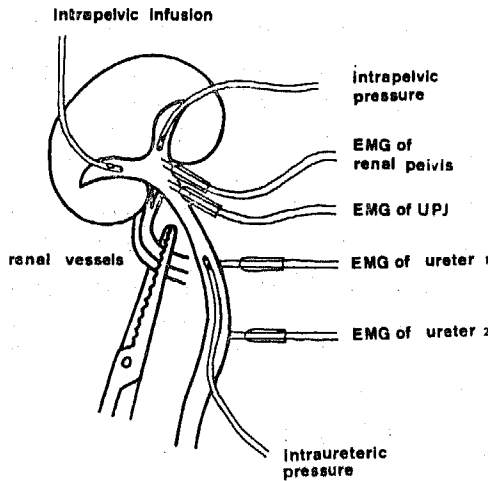


図4 腎血流遮断および注水実験模式図
図は左腎背側面を示す

各電極間距離:

- 腎盂-腎盂尿管移行部(UPJ): 5mm
- 腎盂尿管移行部(UPJ)-尿管(1): 2cm
- 尿管(1)-尿管(2): 2cm
- 尿管内圧は尿管電極(1)の部位で測定した

腎血流遮断の前、中および再開後の腎盂、尿管の内圧および活動電位の変化は表2に示すとおりである。この表において、血流遮断中は、①静止圧、収縮圧ともに全例において下降、②活動電位は逆に下ったもの1、不変4、上ったもの4、ただし変化は極くわずかった、③活動電位毎分頻度は全例減少、という結果となっている。これら4つのfactorの間に関連性は認められなかった。平均血流遮断時間は14分47秒(887.0±764.0 sec.)であった。

腎血流遮断前、中、後の腎盂、尿管の活動電位および内圧の変化の1例を図5-1, 2, 3に示した。図5-1では血流遮断後から各部位における活動電位のspikeは漸次その発生間隔を長くし始め、尿管ではspikeの強さはかえって大となった。血流遮断後約4分10秒後ではspike間隔の延長は延長の起る前の間隔のほぼ倍数となっており、spikeには基本的リズムが存在することを示唆しているように思われる。また腎盂および尿管の内圧は血流遮断直後は漸次下降し、収縮圧の圧巾も漸次小さくなった。図5-2は同一例の別の回の血流遮断の場合であるが、図5-1に見られた変化がより短時間のうちに起り、しかも腎盂の活動電位も内圧収縮波も全く消失した。また別の回では図5-3の如く血流遮断により腎盂の規則正しく頻度の高い活動電位のspikeはほとんど消失し、小数の比較的高い voltage のspikeが約20秒間隔で起っている。このspikeは腎盂尿管移行部および尿管のこれに対応するspikeと合せて見ると、尿管から起って逆行性に腎盂に伝播されたものと腎盂尿管移行部から起って上下に伝播されたものの2種であることが明らかとなる。しかもこの各spikeに対応する腎盂および尿管の収縮波は大きく、腎盂では静止圧20.0cm H₂O、収縮圧28.0~24.0cm H₂O、圧巾8.0~4.0cm H₂O、頻度2.9回/分、尿管では静止圧34.0cm H₂O、収縮圧38.0~66.0cm H₂O、圧巾28.0cm H₂O、頻度2.9回/分で平常時の尿管蠕動収縮波とほぼ同じ規模である。すなわちこれは尿管逆蠕動と考えられる。この収縮波は血流再開により消失した。その後現われた腎盂活動電位は血流遮断前のものに復帰した。以上の所見から血流遮断により腎盂内へ尿流入が途絶した時発生部位と性質を異にする2種の活動電位spikeと収縮圧波が起ることが確認された。

血流遮断による活動電位および腎盂内圧の変化は9例中8例で血流再開により回復をみた。血流再開後安定状態を回復するまでの時間は平均1分37秒であ

表 2 腎血流遮断による腎盂尿管内圧および活動電位の変化

No.	遮 断	腎			盂		腎盂尿管移行部		尿			管	
		内 圧 cm H ₂ O			活 動 電 位		活 動 電 位		内 圧 cm H ₂ O			活 動 電 位	
		収縮圧	静止圧	圧巾	mV	頻度 回/分	mV	頻度 回/分	収縮圧	静止圧	圧巾	mV	頻度 回/分
33	before	17.0	16.0	1.0	0.02	17.1	0.12	17.1				0.20	17.1
	during	9.7	9.4	0.3	0.02	12.0	0.12	12.0				0.23	12.0
	after	13.2	11.2	2.0	0.02	15.0	0.12	15.0				0.23	15.0
38	before	11.0	9.0	2.0	0.03	20.0	0.10	20.0	22.0	16.0	6.0	0.17	20.0
	during	9.0	7.0	2.0	0.02	17.1	0.14	17.1	18.0	12.0	6.5	0.08	17.1
	after	12.5	12.0	0.5	0.02	24.0	0.03	24.0	10.5	10.0	0.5	0.12	24.0
39	before	27.8	27.4	0.4	0.04	33.3	0.04	33.3				0.10	33.3
	during	21.8	21.6	0.2	0.06	8.3	0.08	8.3				0.20	8.3
	after	20.0	19.5	0.5	0.05	30.0	0.07	30.0				0.09	30.0
40	before	10.8	10.0	0.8	0.05	16.7	0.07	16.7				0.14	16.7
	during	1.2	0	1.2	0.06	14.3	0.07	14.3				0.14	14.3
	after	17.5	15.0	2.5	0.05	16.2	0.06	16.2				0.08	16.2
41	before	11.5	10.0	1.5	0.07	12.0	0.10	12.0	25.5	24.5	1.0	0.14	12.0
	during	0	0	0	0.07	5.0	0.10	5.0	23.0	21.0	2.0	0.14	5.0
	after	17.2	16.4	0.8	0.04	17.1	0.07	17.1	22.5	21.5	1.0	0.10	17.1
42	before	60.0	59.0	1.0	0.03	17.6	0.20	17.6	74.0	69.0	5.0	0.08	17.6
	during	41.5	41.0	0.5	0.03	12.5	0.17	12.5	50.0	47.0	3.0	0.10	12.5
	after	36.0	34.0	2.0	0.03	25.0	0.22	25.0	34.0	33.0	1.0	0.12	25.0
43	before	2.9	2.7	0.2	0.02	15.0	0.10	15.0	10.0	8.7	1.3	0.20	15.0
	during	0	0	0	0.02	8.6	0.10	8.6	1.0	0	1.0	0.10	8.6
	after	0	0	0	0.02	12.0	0.09	12.0	7.6	7.0	0.6	0.09	12.0
44	before	10.1	9.8	0.3	0.02	24.0	0.07	24.0	43.0	38.0	5.0	0.16	24.0
	during	0	0	0	0.03	15.8	0.05	15.8	21.0	19.0	2.0	0.09	15.8
	after	10.2	9.9	0.3	0.02	24.0	0.07	24.0	31.0	30.0	1.0	0.24	24.0
49	before	45.0	42.5	2.5	0.03	20.0	0.03	20.0	66.3	65.0	1.3	0.07	20.0
	during	17.9	17.0	0.9	0.04	7.1	0.04	7.1	21.3	20.4	0.9	0.13	7.1
	after	17.5	16.7	0.8	0.07	24.0	0.05	24.0	60.0	58.0	2.0	0.12	24.0

註 1. during の段の数値は血流遮断により腎盂内圧が最低に下った時の値を示す。

註 2. 尿管の内圧および活動電位は腎盂尿管移行部より 2cm の位置で測定した。

た。図 6 は表 2 に示された各例の腎血流遮断による腎盂静止圧の変動を示したもので、遮断前の静止圧の著しく高い 3 例は腎盂尿管移行部以下に obstruction を有したことを意味している。血流遮断により静止圧が 0 まで下降したものが 4 例あった。おそらく他の例も遮断時間を長くすれば内圧は 0 となったであろう。

腎血流遮断による腎盂活動電位の出現回数の変化は

表 2 に示すとおりで、腎血流遮断によりすべての測定において減少し、ある例では実験をくり返すうちに消失した。すなわち腎盂活動電位は腎血流に依存していることを示すものである。ただこの実験だけではどのような機構によってその依存が行われるかは明らかにし得ない。なおこの実験の場合、腎盂活動電位は一般に腎盂尿管移行部へ 1:1、さらに尿管へ 1:1 の比率

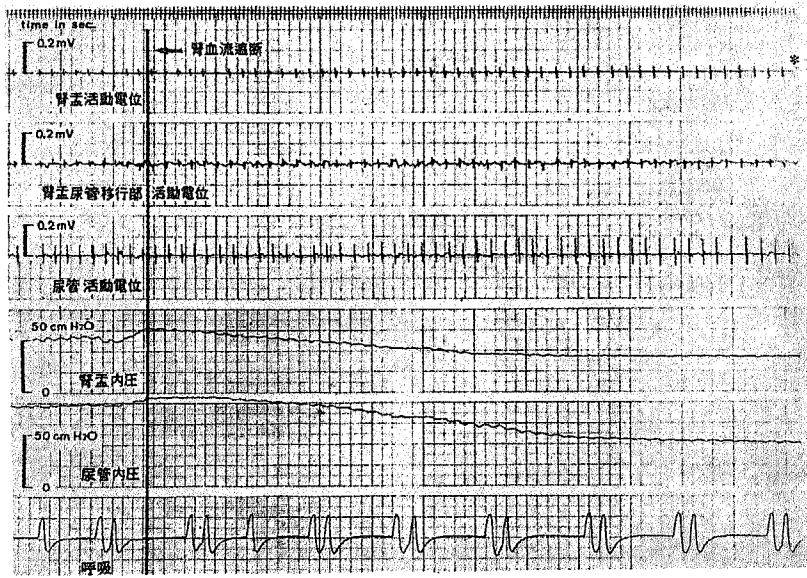


図 5-1a 腎血流遮断実験 No.49
(a*, b*は連続記録である。)

腎血流遮断により腎盂、尿管内圧の下降と収縮波出現間隔の延長がみられる。

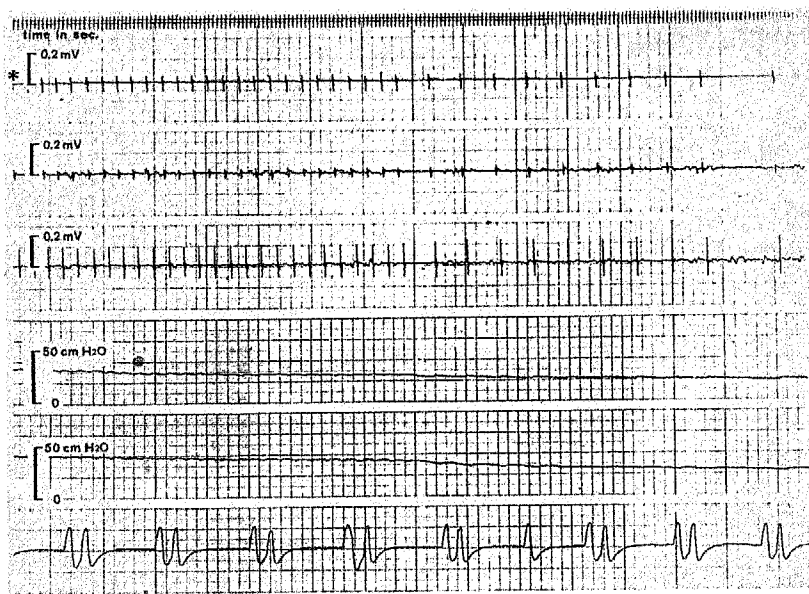


図 5-1b 腎血流遮断実験 No.49
(a*, b*は連続記録である。)

腎血流遮断により腎盂、尿管内圧の下降と収縮波出現間隔の延長がみられる。

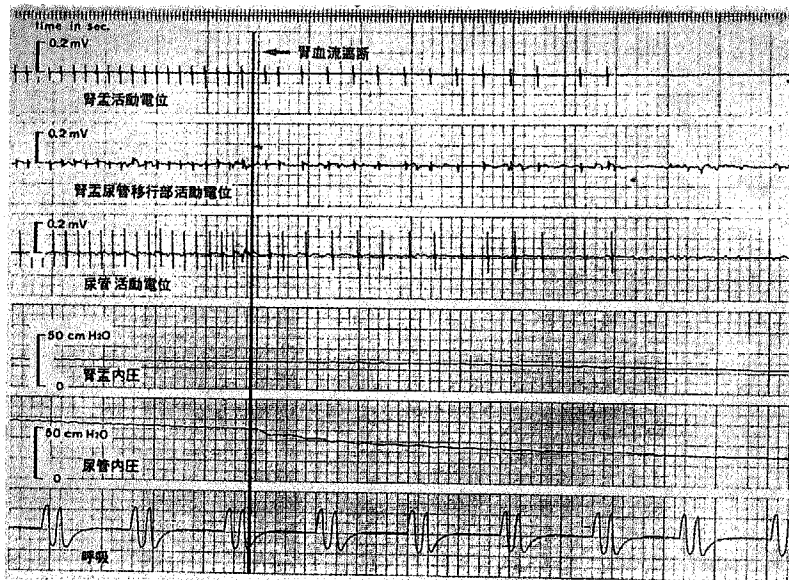


図 5-2 腎血流遮断実験 No.49

腎血流遮断により腎盂、尿管内圧の下降と収縮波出現間隔の延長、さらに消失がみられる。

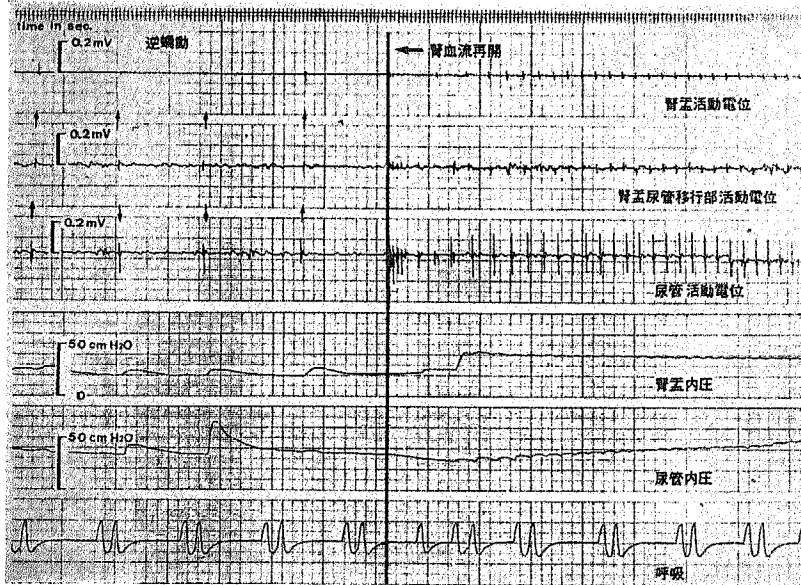


図 5-3 腎血流遮断中の逆蠕動出現 (↑印) と血流再開によるその消失がみられる。 No.49

各電極間距離：腎盂-腎盂尿管移行部：5 mm
腎盂尿管移行部-尿管：2 cm

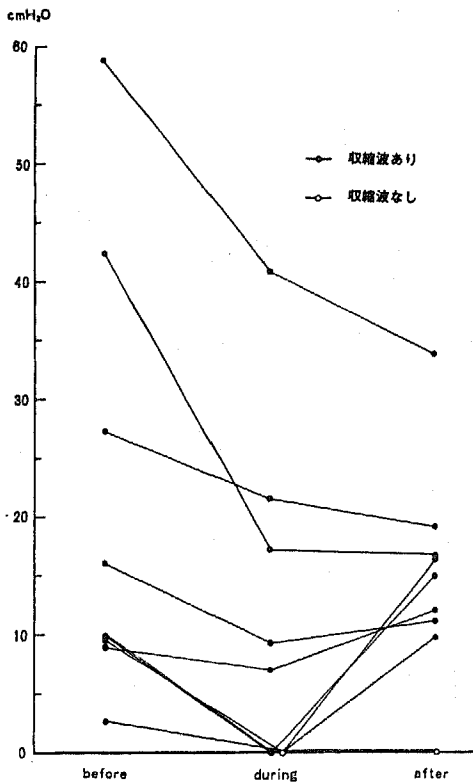


図 6 腎血流遮断による腎盂静止圧の変化

で伝播されており、活動電位の出現回数は、腎盂、腎盂尿管移行部、尿管において同等であった。血流遮断時、腎盂内圧が0まで下降し、かつ収縮波を表現する内圧変動が失われたものが4例あるが、この時腎盂活動電位は出現しており腎盂尿管移行部へ1:1の比率で伝播され、尿管へは1:1の伝播は3例あったが1例では伝播不明で著しく不規則かつ強さの異なるspikeを発生した(図7-1, 7-2)。同時に尿管内圧を測定すると収縮運動が認められた。尿の分泌がとまって尿流が存在しない腎盂でもある程度のrhythmicの自動性収縮運動が存在するものと考えられる。なおこの現象は同時に記録した呼吸運動とは無関係であった。

血流遮断を行うことにより一過性の逆蠕動が観察された。出現部位は尿管上部4例、腎盂尿管移行部3例であった。その性質は図5-3の説明で述べたものと同様のもので、その出現時の腎盂、尿管の活動電位、内圧などの状態は各例で異なり、如何なる条件で起るかは明らかになし得なかった。血流を再開すると

これらの逆蠕動はすべて消失し、既述の小さい高頻度の規則正しい活動電位と内圧波が出現した。なお同一括弧について頻回の血流遮断をくり返すと腎盂活動電位は小さくなり、あるいは記録できなくなる場合が見られた。

実験 3. 腎血流遮断状態における腎盂内注水に対する腎盂尿管活動電位および内圧の変化

腎血流を遮断して尿生成の行われない状態において腎盂に注水を行い、内圧および活動電位の変化を記録した。約30°Cの生理食塩水を図4に示す如く腎盂内に留置した3Fカテーテルより点滴注水した。注水圧は70cm H₂O、注水量は平均1.33±0.75ml/min.、1回の注水時間の平均は約7分35秒(454.8±538.8 sec.)である。

6頭において注水前の状態が、①活動電位があり収縮圧波の記録された場合について8回、②活動電位があり収縮圧波が記録されない場合について10回、③活動電位も収縮圧波も記録されない場合について7回、計25回の注水実験を行った。結果は表3、4に示すとおりである。

腎盂静止圧は注水により全例が上昇を示した。注水中止により腎盂静止圧は1回を除いて再び下降した。注水中止後静止圧の下降を見なかった1回は注水時に上昇した内圧levelが持続したが30分後になって下降し注水前に復した。注水前に収縮圧波の存在しない場合(表3)、腎盂内注水を行うと6頭17回中、全例に腎盂静止圧の上昇と同時に腎盂収縮波が出現した。その時点の腎盂静止圧は4.0~36.0cm H₂Oにわたり、著しい差が認められたが、各犬について見ると、収縮波出現時の内圧の高さは小範囲に集中する傾向が見られた。また収縮波出現時の活動電位は0.01~0.08mVで各犬間で差は大きいが全体としては0.03mV前後のもの(平均0.027±0.019mV)に集中し、その頻度は13.3~4.3回/分(平均7.76±2.74回/分)で、注水前の2倍程度に増加した。出現した圧波形は16回がサイン波、1回のみ蠕動波形であった。また注水中止後収縮圧波は14回で消失を見た。その時の内圧は30.6~0cm H₂Oで、この場合も注水による収縮波出現時と同様の傾向を示した。以上の諸性質から出現した活動電位および圧波は頻度は少ないが、図2の説明で述べたものと同系と考えられる。

注水前より収縮波の存在するものについては表4の如く注水により内圧の上昇は全例に見られ、静止圧は

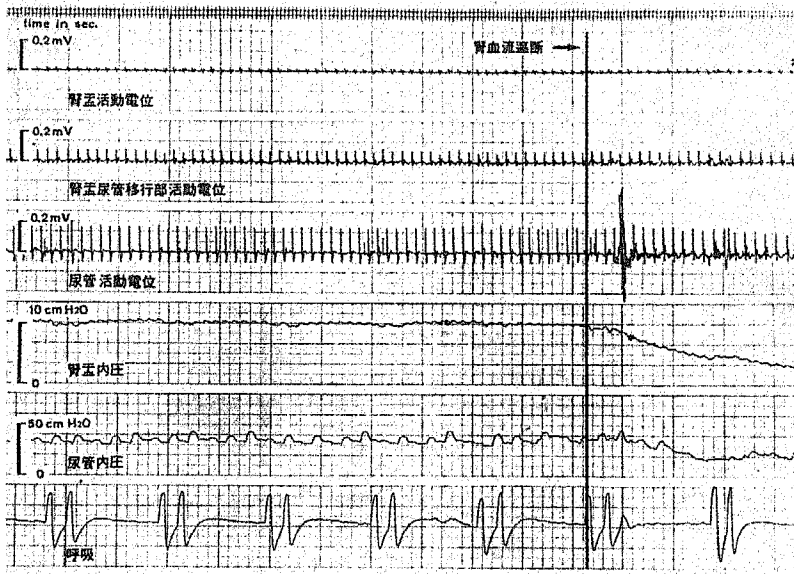


図 7-1 腎血流遮断により腎盂内圧が0まで下降した例 No.44
 (7-1*, 7-2* は連続記録である。)
 各電極間距離：腎盂-腎盂尿管移行部：5 mm
 腎盂尿管移行部-尿管：2 cm

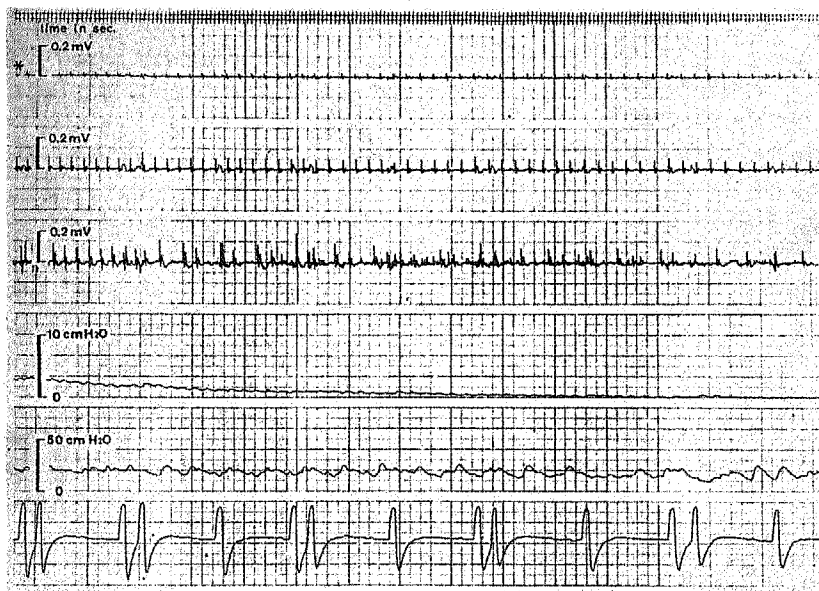


図 7-2 腎血流遮断により腎盂内圧が0まで下降した例 No.44
 (7-1*, 7-2* は連続記録である。)
 各電極間距離：腎盂-腎盂尿管移行部：5 mm
 腎盂尿管移行部-尿管：2 cm

犬腎盂尿管の Urodynamics

表 3 腎血流遮断による腎盂収縮波消失例における腎盂内注水による収縮波出現の状況

No.	注 水 前				収縮波出現時			収縮波の性質			注水中止後の収縮波	
	内 圧 cm H ₂ O	活動電位		内 圧 cm H ₂ O	活動電位		波 形	最大 圧巾 cm H ₂ O	収縮 頻度 回/分	消 失 その時点の 内圧 cm H ₂ O	消失しない 測定中の最小 内圧 cm H ₂ O	
		mV	頻度 回/分		mV	頻度 回/分						
43	1	0	0.02	6.0	36.0	0.02	5.5	サイン波動	9.0	5.5	10.8	
	2	0	0.02	6.0	32.4	0.02	6.7	〃	6.6	6.7	19.8	
	3	7.2	0	0	28.8	0.02	7.0	〃	8.6	7.0	27.0	
	4	3.3	0	0	23.1	0.02	7.0	〃	6.6	7.0	14.9	
	5	0	0.03	3.2	32.4	0.02	6.0	〃	4.3	6.0	18.0	
	6	0	0.02	7.5	32.4	0.02	7.1	〃	8.3	7.1	21.6	
	7	0	0.02	5.0	36.0	0.02	6.0	〃	6.9	6.0	25.2	
	8	0	0.02	6.0	17.0	0.02	6.0	〃	1.7	6.0	10.2	
44	1	2.0	0.03	10.0	6.0	0.02	10.9	〃	1.0	10.9	1.0	
	5	0	0.01	12.0	4.0	0.01	12.0	〃	2.0	12.0	0	
46	1	0	0	0	8.5	0.06	9.2	収縮波	17.0	9.2	23.8	
47	1	10.0	0.03	5.5	26.0	0.03	12.0	サイン波動	2.0	12.0	16.0	
	2	14.0	0.13	6.7	19.0	0.08	13.3	〃	3.0	13.3	10.0	
48	1	5.0	0	0	15.1	0.03	6.7	〃	0.8	6.7		0
	3	2.1	0	0	5.6	0.01	8.0	〃	0.7	5.6		2.8
	4	3.5	0	0	4.9	0.01	4.3	〃	0.7	4.3	1.4	
49	3	10.2	0	0	22.1	0.05	4.3	〃	4.3	4.3		17.0
n=17												
mean	3.37	0.019	3.99	20.54	0.027	7.76		4.91	7.62	14.26		
S. D.	4.43	0.030	3.93	11.59	0.019	2.74		4.30	2.79	9.05		

表 4 腎血流遮断により腎盂収縮波の消失しない例における腎盂内注水による内圧変動の状況

No.	注 水 前					注水による収縮波の最大変動時					注水中止後の内圧安定時					
	内 圧 cm H ₂ O			活動電位		内 圧 cm H ₂ O			活動電位		内 圧 cm H ₂ O			活動電位		
	静止圧	収縮圧	圧巾	mV	頻度 回/分	静止圧	収縮圧	圧巾	mV	頻度 回/分	静止圧	収縮圧	圧巾	mV	頻度 回/分	
44	2	0	1.0	1.0	0.01	11.0	13.0	14.8	1.8	0.01	11.0	2.8	3.6	0.8	0.01	4.4
	3	2.8	3.6	0.8	0.01	4.4	12.0	14.0	2.0	0.02	15.0	2.0	3.0	1.0	0.01	9.2
	4	3.2	3.6	0.4	0.01	10.9	16.0	18.0	2.0	0.02	11.3	8.6	9.2	0.6	0.02	10.4
46	2	0	1.7	1.7	0.06	2.3	17.9	21.3	3.4	0.06	9.2	0	1.7	1.7	0.05	4.6
	3	0	1.7	1.7	0.05	4.6	15.3	18.7	3.4	0.06	9.2	0	1.7	1.7	0.04	4.6
48	2	0.4	0.7	0.3	0.01	2.3	11.2	11.6	0.4	0.02	8.6	1.8	1.8	0	0	0
49	1	24.0	25.0	1.0	0.03	4.1	28.0	29.0	1.0	0.03	9.0	18.0	19.0	1.0	0.03	2.0
	2	25.5	28.1	2.6	0.03	3.4	32.3	34.0	1.7	0.02	6.0	24.0	25.5	1.5	0.03	2.1
n=8																
mean	6.98	8.17	1.18	0.026	5.37	18.21	20.17	1.96	0.030	9.91	7.15	8.18	1.03	0.023	4.66	
S. D.	11.04	11.42	0.76	0.020	3.54	7.77	7.72	1.04	0.019	2.61	9.10	9.18	0.58	0.016	3.56	

平均約 12.0cm H₂O 上昇, 収縮圧は平均約 12.0cm H₂O 上昇したがその圧巾は 0.4~3.4cmH₂O, 平均 2.0 cm H₂O 程度で微弱なものであり, 波形は規則正しく起るサイン波であった。また活動電位は平均 0.030±0.019mV で注水前と変らなかった。すなわちここに現われた圧波と活動電位も表 3 のものと同性質のものと考えられた。

尿管内圧の変化は注水前の状態が, ① 活動電位があり収縮波が記録される場合が 15 回, ② 活動電位があり, 収縮波が記録されない場合が 1 回, ③ 活動電位も収縮波も記録されない場合が 9 回あったがこれらを一括して図 8 に示した。尿管静止圧は注水により 1 回を除いて上昇した。収縮波は 1 回を除いて 24 回に記録された。注水中止により 24 回で静止圧が下降し 1 回で上昇を見た。注水による腎盂静止圧の変化と活動電位出現回数との関係の代表例を図 9-1, 9-2 および図 10 に示した。

図 9-1 においては,

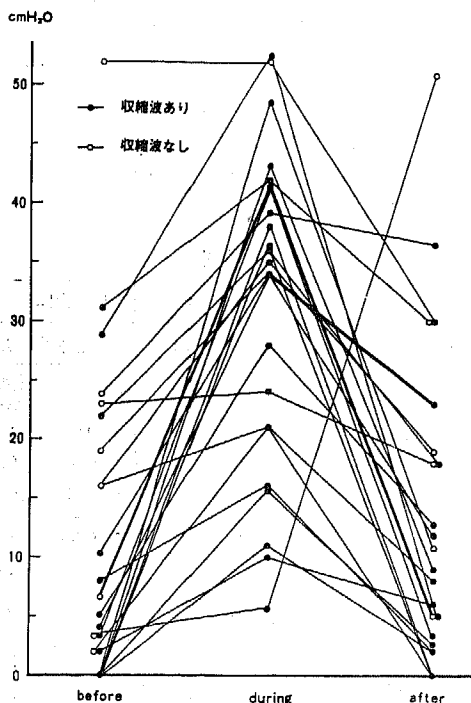


図 8 腎盂内注水時の尿管静止圧の変化
(尿管内圧は腎盂尿管移行部より
2 cm 下方にて測定)

注水前: 腎盂→腎盂尿管移行部→尿管に spike も収縮波も同調して起っている。頻度は 4.0回/分 で規則正しく, 腎盂静止圧 24.0cm H₂O, 腎盂収縮圧 26.0 cm H₂O, 圧巾 2.0cm H₂O でサイン波, また尿管では静止圧, 収縮圧とも腎盂のそれより 2.0cm H₂O 低く圧巾は 4.0cm H₂O であった。

注水後: 活動電位は初めの 4 波は腎盂尿管移行部より始発し下方への順路のほか, 逆蠕動を示した。次の 2 波は尿管からの逆蠕動, 第 7 波目はまた腎盂尿管移行部から始発の逆蠕動, 第 8 波目以後腎盂始発の下方への順路の伝播を示した。以上各波の大きさ, 波形および頻度としては普通の尿管蠕動運動を思わせるものがある。ことに最初の 4 波では尿管蠕動運動と思われるものは腎盂の収縮波と同期的でなく先に起り第 8 波以後は腎盂の pace と同調している。Peristalsis とも考えられる。毎分 9 回はいわゆる "pacemaker wave" との境目に当たっている。

図 9-2 においては,

注水中止後: 中止直前 7.5秒 (8.0回/分) で起っていた spike 間隔は 2 分後から乱れ始めた。先ず間隔が 2 倍のものが起り, 次いで 2 分 30 秒後から 3 倍の延長となった。すなわち間隔は倍数で延長した。腎盂内圧, 尿管内圧は腎盂→尿管の順路で wave を作ったが, 静止圧も収縮圧も低下し, spike 間隔が 2 倍となった時点では腎盂静止圧, 尿管静止圧は共に 20.0 cm H₂O, 収縮圧巾 2.0cm H₂O となり, さらに 3 倍となった時点では静止圧は共に 18.0cmH₂O となった。圧巾 2.0cm H₂O, 頻度は 3.0回/分であった。

図 10 の例は腎血流遮断中注水の例であって,

注水前: 腎盂, 尿管ともいわゆる "pacemaker" の如き spike はない。腎盂, 尿管に収縮圧波はなく, 静止圧は共に 3.3cm H₂O である。

注水後: 直後から腎盂より下方に向う spike が発生し, これに応じて腎盂, 尿管の収縮波が出現, 注水開始後 20 秒の時点で腎盂静止圧 23.0cm H₂O, 尿管静止圧 40.0cm H₂O, 収縮圧巾は腎盂で 6.6cm H₂O, 尿管で 13.0cm H₂O, 周期は 10 秒で腎盂と尿管は同調している。この注水直後から出た波は Peristalsis と考えられる。腎盂より 1:1 の比率で下方尿管へ伝播されている。

注水中止後: 注水は 1 分 30 秒で中止したが, この時点の腎盂静止圧は 23.0cm H₂O, 尿管静止圧 43.0cm H₂O, 収縮圧巾は腎盂 6.6cm H₂O, 尿管 10.0cm H₂O であった。注水中止後 33 秒の時点で収縮波は消失し 43

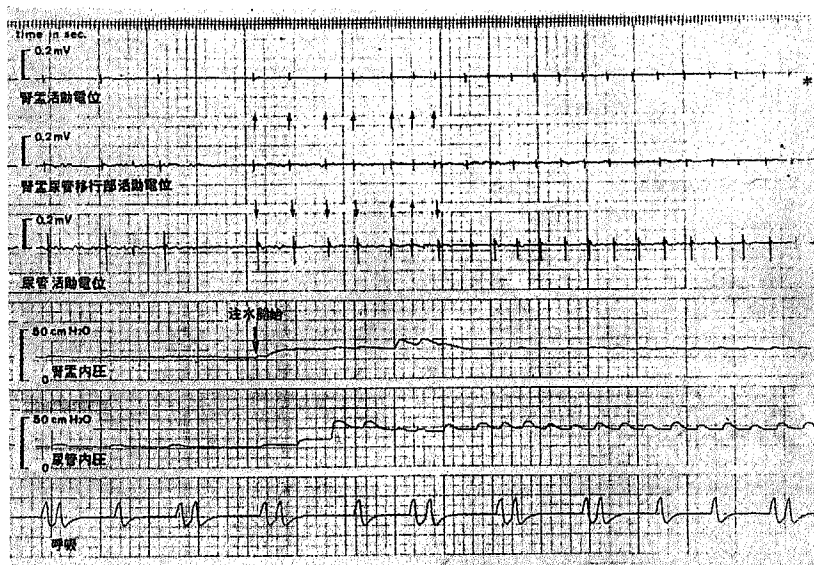


図 9-1 腎盂内注水実験 No.49
(9-1*, 9-2* は連続記録である。)

注水による逆蠕動(↑印)の発生がみられる。次いで下方へ向う収縮波が出現している。

各電極間距離：腎盂—腎盂尿管移行部：5 mm
腎盂尿管移行部—尿管：2 cm

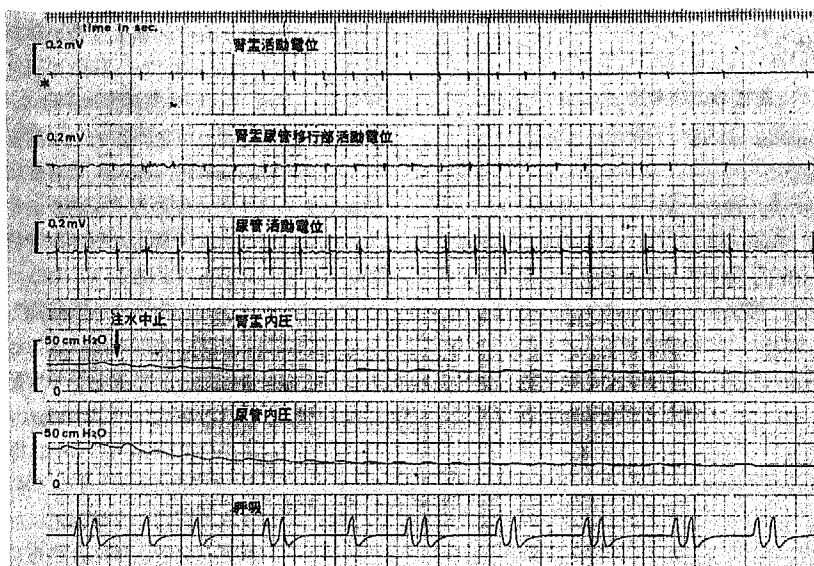


図 9-2 腎盂内注水実験 No.49
(9-1*, 9-2* は連続記録である。)

注水中止後腎盂尿管内圧は下降し収縮波出現間隔の延長がみられる。

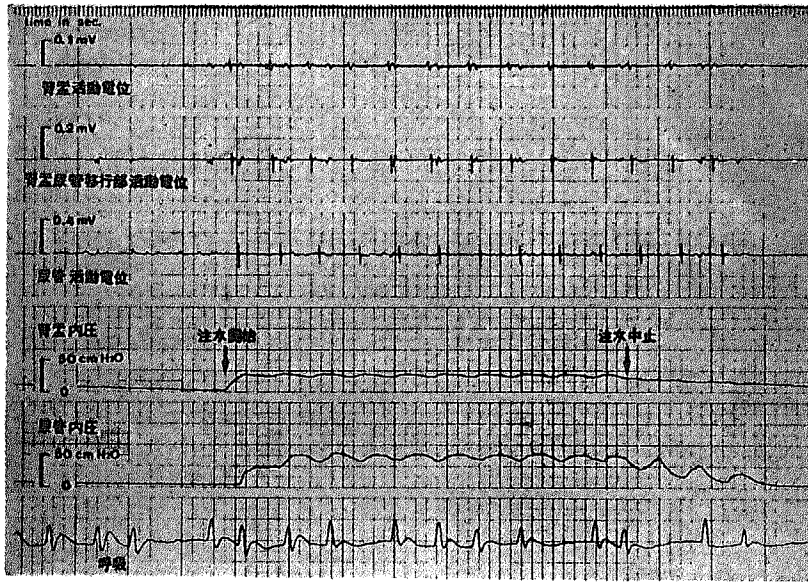


図10 腎盂内注水実験 No.43

注水により収縮波が出現，注水中止により消失することが観察される。

各電極間距離：腎盂－腎盂尿管移行部：5 mm
腎盂尿管移行部－尿管：2 cm

秒の時点の腎盂静止圧は 10.0cm H₂O，尿管静止圧は 3.3cm H₂O となった。

総括および考按

1) “pacemaker wave” と称される腎盂リズム運動について

尿管蠕動運動の発生機構に関してこの数年来主流となってきた腎盂“pacemaker”説の一つの具体的理論として Constantinou 等¹¹⁾の主張しているところは次の如きものである。腎盂には常に一定周期の活動電位とそれに基づく腎盂内圧の収縮波が起っており，その強さと頻度は動物の種類と各個体によって異なるが，おおむね 0.05～20.00mV 程度，頻度は毎分10数回，腎盂上部から発生して腎盂内圧に小収縮波（いわゆる“pacemaker wave”）を起すと共に腎盂尿管移行部に伝播され，尿管蠕動運動を起す。ただしこの活動電位が数回腎盂尿管移行部に達して初めて尿管蠕動運動が1回起るもので，その割合は腎盂の諸条件により変化するが1：1を最高としてそれ以上にはならないというものである。このような腎盂でみられる高い頻度の規則正しい微小活動電位は Bozler (1942)¹²⁾以

来長い間イヌ，ネコ，モルモットなどの単腎杯腎における多くの in vitro の研究で認められてきたものであるが，最近になって in vivo の研究報告も加わり¹⁴⁾¹⁵⁾，さらにブタの多腎杯腎における in vivo の研究報告^{16)–18)}も現れてきた。そして前記の如き腎盂のいわゆる“pacemaker wave”の存在は認めるが尿管蠕動運動の発生には別の機構を必要とするという腎盂“pacemaker”説とは異った腎盂尿管移行部伸展反応説に近い論が現われている。

著者はいわゆる“pacemaker wave”の実体とその尿管蠕動運動との関係を明らかにすることをねらいとして本実験を企図した。結果として実験1において，平時利尿状態下で腎盂には 0.040 ± 0.022 mV，頻度 22.30 ± 6.36 回/分の規則正しい活動電位 spike を認めた（表1）。この活動電位はイヌの腎盂尿管移行部より約5mm上方の腎盂中央部附近に始発するのを認めた。これは腎盂尿管移行部に，さらに尿管にいずれも1：1の頻度で伝播しており（図2，3），下方に行くにつれて活動電位の強さを増した。腎盂および尿管内圧にもそれぞれの部位の活動電位と同調した微小収縮波（収縮圧平均 15.14 ± 15.58 cm H₂O，静止圧

13.86±15.47cm H₂O, 表2, 血流遮断前値参照)があり, 同様に腎盂より尿管において強くなる傾向を示した(図3)。腎盂の活動電位の頻度は腎盂内圧の変動に関係なく, 各犬においては一定であった。以上の如き腎盂活動電位と圧波の性質から, このものはいわゆる“pacemaker wave”として報告されたものの範疇に属することは明らかである。ただ諸報告の如く腎盂尿管移行部で消えてしまうことなく, 尿管に伝播され, さらにその強さを増強している点および尿管に尿管蠕動運動としての強くかつ頻度の少ない収縮波が見られない点は従来の報告と異っている。これは本実験では輸液量を多くしたため利尿による腎盂内圧の上昇と輸送尿量の増大が原因となって尿管蠕動運動の頻度が増加し腎盂の活動電位の頻度と1:1になった場合と考えられる。

2) 腎血流遮断に対する腎盂, 尿管の反応

腎盂に見られた前述の如き規則正しい微小活動電位と圧波は in vitro の実験で認められているので, in vivo で血流を遮断しても発生するものと予想してその場合の状況を追求すべく腎血流遮断の実験を行った。腎血流を遮断すると全例において腎盂尿管内圧は直ちに下降をはじめ, 腎盂収縮波を示す内圧変動は消失または回数の減少を示した(図5-1, 5-2, 表2)。これに対して腎盂活動電位は血流遮断によりその大きさと形はほとんど不変であり, 発生頻度だけが減少し, ある例では消失した(図5-2)。頻度の減少により各 spike 間の間隔は漸次延長したが, その延長は血流遮断前の spike 間隔のほぼ倍数で行われた点が注目された。また尿管では同周期の内圧変化および活動電位の強さと出現回数の変化を認めた。血流を再開させると全く逆の順序で活動電位も内圧もほとんど遮断前の状態に復するのを認めた。頻回に血流遮断をくり返すと腎盂活動電位が記録されなくなる場合があったが, おそらく筋の疲労現象によるものであろう。

血流遮断により, 尿管上部または腎盂尿管移行部より合計7例において逆蠕動の起るのが見られた。その発生機構は不明であるが, その性質は図5-3の例の如く, 本来の尿管蠕動運動と同様, いわゆる“pacemaker wave”より発生頻度が少なく収縮圧波も高いものと, 図9-1に見られたもののように“pacemaker wave”に頻度においてほぼ一致するものがあり, 腎盂, 尿管いずれの部位でも蠕動運動を起し得る能力を持つという若干の報告¹⁹⁾⁻²¹⁾の現象をここでも確認したことになるわけである。

以上の所見から腎血流と, いわゆる“pacemaker”の活動電位とは密接な関係のあることは明らかである。その関係の内容が如何なるものかはこの実験だけでは明らかになし得ないが, このような腎盂の電氣的活動が in vitro でも見られることを考慮すると, 血液の構成成分やその中に含まれるホルモンその他の物質とは無関係であることは明らかであろう。腎血流が遮断される時直接腎盂に影響をもたらすものは尿生成の途絶である。このため腎盂には尿の流入はなくなり, 一方腎盂からは, その内圧が尿管の抵抗とつり合うまで, 尿が下方へ出て行く。このようにして腎盂の容量は漸減し, その内圧は下降し従って腎盂壁を構成している平滑筋は tonus を失い弛緩してくる。そしてある点まで衰退すると腎盂の活動電位, 従って圧波も測定不能の微小のものとなり, 最後は静止の状態に至るものと推定することは可能であろう。

3) 血流遮断腎における腎盂内注水に対する反応

血流遮断腎において腎盂収縮波消失例に腎盂内注水を行った場合, 腎盂静止圧が平均20.54±11.59cm H₂O に上昇した時腎盂にサイン波形の収縮運動が出現し, その時の活動電位は0.03mV程度で頻度は7.7回/分程度のものであった。

この注水実験の成績は各犬により数値的には大きな巾はあるにしても尿流のない腎盂へ一定流量の液体が注入されることにより腎盂壁の拡張伸展をもたらすことが収縮運動の出現, あるいは増加の重要な要因となっていることを示唆しているものと考えられる。出現した収縮運動は微弱で規則正しいいわゆる“pacemaker wave”に属するもので, 腎盂だけにとどまらず尿管へも1:1で伝播される性質のものであった。以上のような所見からいわゆる“pacemaker wave”を現わす腎盂の活動電位は各動物の個体による一定の強さと発生頻度すなわち本来のリズムを有し, その発現には腎盂平滑筋の tonus がその個体に定まったある閾値に達することを必要としているものであろうと推測される。

血流遮断により腎盂尿管移行部あるいは尿管中部より逆蠕動が持続的に出現した。図5-3に示した例では血流遮断後腎盂活動電位の頻度が減少した時期に出現し, その活動電位の頻度は腎盂のそれの2.5~3.0回に対し1回の割合となっており, 毎分3回程度, またその尿管逆蠕動波の収縮圧は66.0cm H₂O, 静止圧34.0cm H₂O, 圧巾4.0~32.0cm H₂Oで平常時の尿

管蠕動運動とはほぼ同じ規模のものであった。

尿管が機械的刺激を加えられたどの部位からでも収縮運動を起すことはよく知られている。また腎盂あるいは尿管内に注水を行うと尿管の蠕動運動が亢進することは多くの研究者によって観察されている^{21)~24)}。横溝²¹⁾および Davis²⁵⁾は腎摘除後の残存尿管に注水を行い蠕動運動が出現することを観察した。横溝²¹⁾はその観察から尿管の自律性について言及して、尿管内にある量の液体が進みしその内圧がある高さ以上に達すれば蠕動運動を発動すると述べている。著者の実験に見られた尿管逆蠕動と腎盂尿管移行部より発生した活動電位の腎盂への逆伝播とは以上に述べた尿管の自律性に基づくものと考えられるが、実験中の如何なる要因が作用したかは明らかになし得なかった。

4) 尿管蠕動運動の "pacemaker wave" とされた腎盂の微小収縮波の本体について

著者はイヌにおいて内圧の上でも活動電位測定の結果からも腎盂に収縮波が存在するのを認めた。この腎盂収縮波は既述の如く、著者は Constantinou 等¹¹⁾の云う "pacemaker wave" と同一のものとする。この特異の腎盂収縮運動と尿管蠕動運動の関係を動物に種々の利尿状態を設定し、その間の腎盂および尿管の運動に起る変動の観察によって解明しようと試みた報告が数多くなされている⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹⁵⁾¹⁷⁾²⁶⁾²⁷⁾。その代表的なものは既述の Constantinou 等¹¹⁾の報告であって、彼等はイヌを用い腎盂内圧、尿管活動電位、尿流量を同時に測定し、腎盂の収縮波の出現頻度は尿量の増減にかかわらず一定であるが、尿管の収縮運動は乏尿時に少なく利尿時には増加して腎盂の収縮回数に等しくなると述べている。すなわち腎盂と尿管の収縮運動の比率は尿量が一尿管について毎分 0.5ml 以下の時は 5 : 1, 1.0ml の時は 2 : 1, 2.0ml 以上の時は 1 : 1 であったという。彼はこの一定の腎盂収縮運動を "pacemaker wave" と呼んでおり、単一腎杯腎では腎盂に "pacemaker" 細胞が存在するという Gosling 等⁸⁾の説を論拠としている。最近では腎盂にこのような微弱、高頻度、間隔一定の活動電位の存在を認めた報告が多いが、これを尿管蠕動運動の "pacemaker" とする考え方には反論⁹⁾¹⁵⁾¹⁷⁾¹⁸⁾が出ている。

著者のイヌの実験で見られたいわゆる "pacemaker wave" の場合、腎盂と尿管の収縮頻度の比率は 1 : 1 であり、諸家の実験に比して高い比率となっているが、これはかなり強い利尿状態にあったためと考えられる。

尿管蠕動運動の "pacemaker" の存在について Bozler¹³⁾はイヌ、ネコ、モルモットの摘出尿管の活動電位を測定し、自発性の興奮は通常尿管の上端より出現すると述べ、Weiss 等¹⁴⁾はイヌの in vivo の実験で腎盂尿管移行部に "pacemaker" が存在すると述べ、小林⁷⁾²⁸⁾はネコ摘出腎盂尿管において活動電位を測定し、腎盂と腎杯の境界部から毎分 4 ~ 8 回の自発興奮を記録し、これを尿管の歩調取り電位であると述べ、さらに腎盂を伸展させたり内圧を増加させたりすると自発興奮の頻度は増大するが尿管へは全部が伝導するとは限らないと報告している。Zawalinski 等⁸⁾はモルモットおよびヒツジを用い、in vitro において腎盂尿管の活動電位を測定して腎盂には "pacemaker potential" が存在し、この出現頻度は一定であるが、尿管の収縮回数はこれより少ないことを報告し、尿管蠕動は腎盂の "pacemaker" だけでは起らず、腎盂の拡張による腎盂尿管移行部の刺激が必要であると主張している。Hrynczuk 等¹⁰⁾はイヌの in vivo の実験で腎盂内圧と尿管活動電位を同時に測定し rhythmic の腎盂収縮波が各動物において一定であり、尿量に応じた比率で尿管に伝達され、蠕動運動が出現することを観察している。赤坂¹⁵⁾は腎盂の蠕動波は尿滴を上部尿管に円滑に送り込む補助的な役割であり、尿管蠕動に関与する主な因子は腎盂尿管移行部を通過する尿流刺激であると述べ "pacemaker site" の局在を疑問視している。また Djurhuus^{16)~18)}は Constantinou 等¹¹⁾の云うような "pacemaker wave" を起す腎盂の規則正しい活動電位を認めたが、単一腎杯腎と異なり、ブタのような多腎杯腎では腎盂収縮運動が尿量により変化すること、および腎盂より尿を腎盂外へ流出させると腎盂活動電位は尿管に伝播されないことを観察して、尿管の蠕動運動は尿流によって規定されており、必ずしも特異的な "pacemaker" によるものではないと述べている。著者は Constantinou 等¹¹⁾の云う腎盂収縮波の存在を確認しているが、これが尿管蠕動運動の真の "pacemaker wave" とは考えられない。それならこのいわゆる "pacemaker wave" の本体は一体何であろうか？著者の実験の目的はこの点の追求にあった。このため腎盂に腎血流遮断とその間の腎盂内注水という特殊の環境条件を与え、それに対して、いわゆる "pacemaker wave" が如何なる反応を呈するかを観察し、その成績からこの収縮波の本体を探り出すことを企図した。実験 1 においてこの収縮波とこれを起す腎盂活動電位の持つ諸性質を明らか

にした。次に実験2において腎血流遮断時のこの腎盂活動電位と収縮波の変動を調べ、活動電位は血流遮断によりその大きさと形をほとんど変えないこと、発生頻度だけは減少し、その spike 間の間隔は延長するが、その伸びは遮断前の spike 間隔のほぼ倍数で行われることを認めた。さらに第3の実験では血流遮断で起った腎盂活動電位と圧波の変動が、腎盂に注水することによって血流遮断前の状態に近いところまで戻るとを認めた。ことに腎盂内圧がある点に達するとそれまで消失していた活動電位と腎盂小収縮波が出現し始め、収縮波消失までの順序を全く逆にたどることが注目された。以上の如き所見からいわゆる "pacemaker wave" は動物各個体の腎盂平滑筋の自動性に基づく固有の周期を持ったリズム運動であり、細胞内の生活活動におけるエネルギーの循環といったものに由来するのではなからうかと想像される。この腎盂収縮運動が尿管蠕動運動とどのような関連があるかは現在なお憶測の域を脱していない。もちろん本実験においても関連性を示す資料は得られなかったが、前記の如くこの腎盂収縮波が種々のきびしい条件を与えてもそのリズムを変更しない点などから考えると単に尿管蠕動運動の発生を control するだけの機構とも思われない。

結 論

腎盂、尿管における尿輸送機構、特に尿管蠕動運動の "pacemaker" とされた腎盂収縮波の実体を明らかにする目的で雑種成犬22頭を用い in vivo において腎盂、尿管の活動電位および内圧を測定し次の知見を得た。

1) イヌの腎内腎盂の腎盂を被う部分の腎実質を部分切除し、腎内腎盂を露出して電極を置き測定すると活動電位は腎盂中央部附近において最初に記録された。中等度利尿の状態において腎盂内圧には微弱な収縮波が存在し、その変動と腎盂の活動電位は同調しており、呼吸運動とは無関係であった。中等度の利尿状態において腎盂内圧は平均収縮圧 15.14 ± 15.58 cm H₂O、静止圧 13.86 ± 15.47 cm H₂O、従って圧巾は約 1.2 cm H₂O であり、活動電位は平均 0.040 ± 0.022 mV、出現回数は内圧収縮波と一致して毎分平均 22.30 ± 6.36 回であった。この微細な腎盂収縮波は腎盂尿管移行部へ1:1、さらに尿管へ1:1の比率で伝播された。この収縮波は正常の尿管蠕動運動における収縮波より著しく小さく発生頻度は著しく多く、普通の腎盂尿管

の状態においては尿流に関係なく規則正しく発生しており、一般の尿管蠕動の如く尿管内を間欠的に膀胱へ尿を送る作業を担当しているものとは別個のものと考えられる。

2) 9頭について腎動静脈に鉗子をかけ腎血流を遮断し腎盂に尿が分泌されない状態を設定した。この時腎盂静止圧は平均 10.7 ± 13.9 cm H₂O まで下降した。そのうち4頭は 0 cm H₂O まで下降し、1) に述べた腎盂収縮波は消失した。また腎盂、尿管活動電位はこの間、初めは規則的に出現していたがある時点から出現回数は減少し毎分平均 11.18 ± 4.15 回となった。活動電位の減少により各 spike 間隔は漸次延長し、その延長は血流遮断前の間隔のほぼ倍数で行われた。ただし内圧 0 cm H₂O となったもの、またはこれに近くまで下降したものでは活動電位は消失した。血流を再開すると1分30秒以内にほぼ遮断前に近い状態に復した。このことは腎盂内圧の収縮波および活動電位を発現するためには腎盂内圧を生ずる尿の分泌、流入を必要とすることを示しているものと考えられる。同一症例に頻回の血流遮断をくり返すと以上の activity は失われることがわかった。

3) 6頭の血流遮断腎について25回の腎盂内注水を行った。注水により腎盂静止圧は上昇し注水中止により再び下降した。注水前に収縮波の存在しない状態において6頭17回の腎盂内注水を行うとすべて腎盂静止圧が上昇し同時に腎盂収縮波が出現した。波形は1回を除いてすべて微弱なサイン波であった。出現時点の腎盂静止圧は $36.0 \sim 4.0$ cm H₂O で個体差が考えられた。注水中止により17回中14回に収縮波の消失が認められた。この時点での腎盂静止圧は $30.6 \sim 0$ cm H₂O であった。

注水前より収縮波の存在する場合の4頭について8回の注水を行った。すべて腎盂静止圧、収縮圧ともに平均 12.0 cm H₂O 上昇したが、圧巾は 2.0 cm 程度で微弱であり、波形はすべてサイン波であった。収縮の頻度は不変のものが1回あったが他は増加し、注水前平均 5.37 ± 3.54 回/分、注水中は 9.91 ± 2.61 回/分、注水中止後は減少し 4.66 ± 3.56 回/分 となった。注水中に認められた収縮波の増加、あるいは出現は注水中止後4回を除いて4分以内にほぼ注水前の状態に復した。腎盂の収縮波は注水によりその静止圧がある程度の上昇をみる時に増加、あるいは出現することが認められた。

以上の所見は、腎盂に見られる小さな規則正しい収

縮波と活動電位の発現にはある程度の腎盂内圧を生ずる尿の流入が必要であるという前項の考えに根拠を与えるものである。

4) 以上に述べた腎盂収縮波は Constantinou 等¹¹⁾が尿管蠕動運動の“pacemaker wave”と称しているものであるがこの収縮波と真の尿管蠕動との関係は諸説にもかかわらず不明であり、本実験からもこれを明快に説明し得る確実な資料を得ることはできなかったが、この腎盂の収縮波の性質を追求した結果から、腎盂収縮波の本体について著者の考え方を述べた。

本稿の一部は1973年4月第61回日本泌尿器科学会総会にて発表した。

稿を終るにあたり、終始御懇切な御指導、御校閲をいただいた恩師柿崎勉教授に深く感謝いたします。また御助力下さった信州大学医学部泌尿器科学教室の各位に御礼申し上げます。

文 献

- 1) Lapedes, J. : The Physiology of the intact human ureter. *J. Urol.*, 59 : 501-537, 1948
- 2) Wendel, R. M. and King, L. R. : Ureteral peristalsis. Further observations on the effects of flow reversal. *Invest. Urol.*, 10 : 354-358, 1973
- 3) Edmond, P., Loss, J. A. and Kirkland, I. S. : Human ureteral peristalsis. *J. Urol.*, 104 : 670-674, 1970
- 4) Narath, P. A. : Renal pelvis and ureter. Grune & Stratton, New York, 1951
- 5) Morales, P. A., Crowder, C. H., Fishman, A. P. and Maxwell, M. H. : The response of the ureter and pelvis to changing urine flows. *J. Urol.*, 67 : 484-491, 1952
- 6) Mitsuya, H., Asai, J., Suyama, K., Sai, E. and Hosoe, K. : Cinefluorography of the upper urinary tract. *Urol. int.* 13 : 236-253, 1962
- 7) Kobayashi, M. : Conduction velocity in various regions of the ureter. *Tohoku J. exp. Med.*, 83 : 220-224, 1964
- 8) Gosling, J. A. and Dixon, J. S. : Species variation in the location of upper urinary tract pacemaker cells. *Invest. Urol.*, 11 : 418

-423, 1974

- 9) Zawalinski, V. C., Constantinou, C. E. and Burnstock, G. : Ureteral pacemaker potentials recorded with the sucrose gap technique. *Experientia*, 31 : 931-933, 1975
- 10) Hrynczuk, J. R. and Schwartz, T. W. : Rhythmic contraction in the renal pelvis correlated to ureteral peristalsis. *Invest. Urol.*, 13 : 25-30, 1975
- 11) Constantinou, C. E. and Hrynczuk, J. R. : Urodynamics of the upper urinary tract. *Invest. Urol.*, 14 : 233-240, 1976
- 12) Brodsky, S., Dure-Smith, P. and Zimskind, P. D. : Gross and radiologic anatomy of the canine kidney. *Invest. Urol.*, 14 : 356-360, 1977
- 13) Bozler, E. : The activity of the pacemaker previous to the discharge of a muscular impulse. *Amr. J. Physiol.* 136 : 543-560, 1942
- 14) Weiss, R. M., Wagner, M. L. and Hoffman, B. F. : Localisation of the pacemaker for peristalsis in the intact canine ureter. *Invest. Urol.*, 5 : 42-48, 1967
- 15) 赤坂俊幸 : 上部尿路機能に関する研究 第8報 急速利尿時における犬生体腎盂尿管の動態. *日泌尿会誌*, 67 : 237-247, 1976
- 16) Djurhuus, J. C., Nerstrøm, B., Iversen Hansen, R., Gyrd-Hansen, N., and Rask-Anderesen, H. : Dynamics of upper urinary tract. I. An electrophysiologic in vivo study of renal pelvis in pigs : Method and normal pattern. *Invest. Urol.*, 14 : 465-468, 1977
- 17) Djurhuus, J. C., Nerstrøm, B., Iversen Hansen, R., Gyrd-Hansen, N. and Rask-Anderesen, H. : Dynamics of upper urinary tract. II. An electrophysiologic in vivo study of renal pelvis in pigs : Analysis of the modality of pelvic activity during normal hydration and diuresis. *Invest. Urol.*, 14 : 469-474, 1977
- 18) Djurhuus, J. C. : Dynamics of upper urinary tract. III. The activity of renal pelvis during pressure variations. *Invest. Urol.*, 14 : 475-477, 1977

- 19) 相沢斎治：輸尿管運動ノ研究 第1編 輸尿管自
発運動ノ觀察. 東北医誌, 18: 388-430, 1935
- 20) 木下秀雄：犬尿管に於る蠕動発生に関する筋電図
学的研究 第2報 犬尿管筋電図に及ぼす尿管挾
把及び切斷の影響. 臨牀皮泌, 13: 891-897,
1959
- 21) 横溝圭治：尿路内圧測定による Urodynamics の
研究. 信州医誌, 13: 674-697, 1964
- 22) 末武保敏：犬尿管における尿流と尿管放電につい
ての研究 第2報 人為的多尿及び尿流遮斷時の
尿管筋電図. 東北医誌, 59: 594-605, 1959
- 23) Sleator, W. and Butcher, H.: Action poten-
tials and pressure changes in ureteral peri-
staltic waves. Am. J. Physiol., 180: 261-
276, 1955
- 24) 生亀芳雄：腎盂尿管排尿機能の研究 第2報 尿
管電図的研究. 日泌尿会誌, 48: 605-615, 1957
- 25) Davis, D. M. and Zimskind, P. D.: Pathologic
types of ureteral pressure graphs with re-
marks on their relation to lower tract ob-
struction. J. Urol., 90: 677-690, 1963
- 26) 末武保敏：犬尿管における尿流と尿管放電につい
ての研究 第1報 利尿剤及び自律神経剤の尿量
及び尿管放電に及ぼす影響. 東北医誌, 59: 576
593, 1959
- 27) 木村行雄：上部尿路機能の研究 第8報 経膀胱
鏡的尿管筋電図における基礎的諸問題の検討. 日
泌尿会誌, 57: 851-870, 1966
- 28) 小林 惇：輸尿管の興奮発生とその伝導. 生体の
科学, 16: 177-185, 1965

(52. 11. 8 受稿)