総 説

射精を支配する自律神経—射精機能温存手術の基礎

東京医科歯科大学医学部泌尿器科

木 原 和 徳

AUTONOMIC NERVES CONTROLLING EJACULATION
—BASE OF NERVE SPARING OPERATION FOR EJACULATION

Kazunori Kihara

Department of Urology, Tokyo Medical and Dental University, School of Medicine

はじめに

生殖は生物の最も重要な課題であり、種を維持するためにわれわれヒトを含めた動物はその行動および体内の生殖機構に様々な工夫を凝らしている。射精は男性（雄）側の配偶子を受精のために体外へ射出する現象であるが、この現象を起こす末梢神経にもその支配様式に、機能を温存するための様々なメカニズムが凝らされている。精巣で造られた精子はゆっくりと精巣上体を移動した後、主に精巣上体尾部付近に貯えられ^{1)~4)}、射精の神経シグナルが精巣上体尾部以下の精路に到達すると、精管、射精管、尿道を通過して瞬時に体外に射出される。この射精現象は精液（精子、精囊液、前立腺液など）の後部尿道への排出（seminal emission）、内尿道口の閉鎖（精液の膀胱への逆流防止）、後部尿道から体外への射出（狭義の射精）という3つのプロセスを含んでおり⁵⁾、これらのプロセスを起こす神経シグナルは下腹神経、（骨盤神経）、陰部神経を通過して精路に至る。末梢神経の射精に対する支配メカニズムについては19世紀以来、欧米を始め本邦においても多くの研究がなされ、数多くの知見が積み重ねられてきている。しかしながら、今日でも未解明の部分が多いと言わざるを得ない。

一般に手術に際しては、臓器に分布する血管には細心の注意が向けられるが、自律神経には血管ほどの深い注意は払われない。射精を支配している自律神経が走行している腹部、骨盤部の手術でも同様である。末梢自律神経系は切断されても機能障害が現われにくいメカニズムを持っていることがその一因と考えられるが、このメカニズムを破壊するように神経が切断されると機能障害が強く出てくることになる。本来、腎、

尿管、肝、心などの臓器は中枢からの自律神経支配が無くとも機能を果たすことができるが、膀胱、精管、陰茎海綿体などはその機能を果たすために中枢からの自律神経支配が不可欠である。後者は泌尿器科で取り扱う臓器であるため、とりわけ泌尿器科では術野にある自律神経を理解することが必要となる。近年、患者の quality of life (QOL) はますます重要視されるようになり、特に手術患者では QOL と自律神経とが深く関連しているため、術野にある自律神経の解剖、機能、切断後の機能障害、切断により起こる代償作用、切断の再建、機能障害の治療に対する深い知識が術者に対して一段と求められるようになっている。

本稿では、射精機能温存手術の基礎という視点から上記の課題について、1) 射精を支配する交感神経の解剖、2) 同交感神経の精路に対する支配機構、3) 大内臓神経—副腎髄質系（内分泌系）の射精への関与の可能性、4) 精路の受容体機構、5) 副交感神経の精路における作用、6) 精管内精子輸送機構、7) 尿道から体外への射出（狭義の射精）機構、8) 射精に対する上位中枢の支配、9) 射精を支配する自律神経切断後の代償機構、10) 自律神経切断の再建および射精機能障害の治療、の順に従来の報告から新しい知見までを述べる。

I. 射精に関与する交感神経系の解剖

射精を支配する主要な自律神経は交感神経であり、その脊髄中枢は下部胸髄から上部腰髄にあると記載されているが^{6)~8)}、この範囲内の正確なレベルについては様々に報告されている。Munro ら⁹⁾はヒトの Th₆—L₃ の損傷で精液の外尿道口からの射出が消失した（dry ejaculation）と報告しており、Whitelaw ら¹⁰⁾はヒトの Th₁₋₁₂ の両側交感神経節切除で射精機能は障

図1 ヒトおよび哺乳動物の腹部、骨盤部における自律神経の基本的走行経路。

害されず、 L_{1-3} の両側交感神経節切除で dry ejaculation を高頻度に生じたと報告している。また Morgan ら¹¹⁾は、ネコの下腹神経(脊髄中枢から精路への交感神経のほとんどが収束する)に HRP (horseradish peroxidase) を取り込ませ、ラベルされた脊髄中枢は L_{2-5} であったと報告している。哺乳類では種による差異も言われているが⁷⁾、従来の報告および後述する解剖、生理学的知見より射精を支配する交感神経は腰髄に由来していると考えられる。

この脊髄中枢から精路に至るまでの交感神経経路は哺乳類では基本的に図1のように走行している。すなわち脊髄を出て、左右の交感神経幹を経て、下降しながら正中に向かい大動脈前面で神経叢(節)を形成し、この神経叢(節)から左右2本の下腹神経となって骨盤内に向かい、それぞれ左右の骨盤神経(ヒトの解剖学用語では骨盤内臓神経)と合流して左右の骨盤神経叢(節)を形成し、この骨盤神経叢(節)から多数の臓側枝が精路に分布する。骨盤神経叢(節)は骨盤内で臓器の自律神経支配の中心となっている。この基本的な交感神経の経路は多くの哺乳類で共通であるが、ヒトには明らかに他の哺乳類と異なる点も認められる。ヒトの精路に対する末梢自律神経支配は主に動物実験の結果から理解されており、ヒトの末梢自律神経

支配を正しく理解するためにはヒトの解剖とともに実験動物の解剖を知り、その共通点と相異点を明確にする必要がある。欧米のテキストでも、ヒトと動物の解剖を混同し、動物の模式図でヒトの射精の自律神経支配を解説している例も少なくない⁷⁾。

1) ヒトの腹部、骨盤部の交感神経系の解剖

ヒトの腹部の大動脈前面には上から腹腔神経叢、上腸間膜動脈神経叢、下腸間膜動脈神経叢および上下腹神経叢が認められ、それぞれ腹腔動脈、上腸間膜動脈、下腸間膜動脈の起始部および大動脈分岐部に存在する。胸椎部の交感神経幹を経た交感神経(大内臓神経、小内臓神経)は副腎、腹腔神経叢および上腸間膜動脈神経叢に入る。腰椎部の交感神経幹を経た交感神経(腰内臓神経)は下腸間膜動脈神経叢および上下腹神経叢に入る(図2A)。下腸間膜動脈神経叢からは豊富な結腸神経が下腸間膜動脈に沿って結腸に向かう。上下腹神経叢は主に腰内臓神経(L_2 および L_3 腰椎部の交感神経幹に由来する腰内臓神経が主体)で構成され、骨盤内に向かう下腹神経はこの上下腹神経叢から起発している。最下の腰内臓神経(L_4 腰椎部の交感神経幹に由来)は総腸骨動脈の裏を回って上下腹神経叢に合流することもある。また腰内臓神経の一部は大動脈の精巣動脈起始部に向かった後、精巣動脈に沿って精巣および精巣上体に向かう(精巣神経)。腹腔神経叢、上腸間膜動脈神経叢と下腸間膜動脈神経叢、上下腹神経叢との間には腸間膜動脈間神経叢が存在する。骨盤内では、左右の下腹神経はそれぞれ同側の骨盤内臓神経と合流して直腸の前外側部(精囊の外側部)で左右の骨盤神経叢を形成する。この骨盤神経叢から精路を含む骨盤内臓神経に臓側枝が分布している(図2A)。腰仙部の交感神経幹は、1) 交感神経幹—交通枝—仙骨神経—骨盤内臓神経という経路および、2) 仙骨内臓神経により骨盤神経叢と交通している^{12)~14)}。すなわち、骨盤内臓神経には副交感神経の他に腰仙部交感神経幹由来の交感神経も含まれている。また仙骨内臓神経は仙骨部の交感神経幹から出て直接に骨盤内臓神経や骨盤神経叢に合流するもので20~35%^{12)~14)}の頻度で認められる。

2) 動物の腹部、骨盤部の交感神経系の解剖

射精の自律神経支配の研究に広く用いられてきたイヌ、ネコ、モルモット、ラット、などの実験哺乳動物の交感神経系の解剖はそれぞれ Evance ら¹⁵⁾、Semans ら¹⁶⁾、Matthews ら¹⁷⁾、Printon ら¹⁸⁾、田中ら¹⁹⁾により報告されてきたが、これらは既述した基本型(図1)を示している。胸椎部の交感神経幹を経た交感神経(大

図2 ヒトおよび哺乳動物の腹部、骨盤部の自律神経。A: ヒト, B: イヌ, C: ラット。APG: accessory pelvic ganglion, B-HGN: branch of the HN, CA: coeliac artery, CB-APG: commissural branch between APG, CB-M-APG: commissural branch between MPG and APG, CB-MPG: commissural branch between MPG, CR: communicating ramus, C-SMGC: coeliac-superior mesenteric ganglion complex, CN: colonic nerve, HN (HGN): hypogastric nerve, IMG: inferior mesenteric ganglion, IMN: intermesenteric nerve, InMA: inferior mesenteric artery, IMP: intermesenteric plexus, InMP: inferior mesenteric plexus, LSN: lumbar splanchnic nerve, MPG: major pelvic ganglion, MSN: major splanchnic nerve, PN: pelvic nerve, PP: pelvic plexus, PSN: pelvic splanchnic nerve, RA: renal artery, RV: renal vein, SA: spermatic artery, SHP: superior hypogastric plexus, SN: spermatic nerve, SSN: sacral splanchnic nerve, ST: sympathetic trunk, VCI: vena cava inferior.

内臓神経、小内臓神経)は副腎、腹腔神経節および上腸間膜動脈神経節(本稿では動物の場合神経節と記載した)に入る。腰椎部の交感神経幹を経た交感神経(腰内臓神経)は下腸間膜動脈神経節に入る。腹腔神経節および上腸間膜動脈神経節と下腸間膜動脈神経節との間には腸間膜動脈神経(本稿では動物の場合この名称を用いた)が大動脈前面に存在する。下腸間膜動脈神経節からは太い結腸神経が下腸間膜動脈に沿い結腸に向かうとともに左右の下腹神経が起発して骨盤内に向かう。腰内臓神経の一部は大動脈壁から精巣動脈に沿って精巣および精巣上体に向かう(精巣神経)。

これらの哺乳動物ではヒトと異なり、上下腹神経叢は存在せず、大動脈の下部には下腸間膜動脈神経節のみが存在する。この下腸間膜動脈神経節が、ヒトでは

その向かう臓器別に下腸間膜動脈神経叢と上下腹神経叢とに分化したものと思われる(図2)²⁰⁾。骨盤内では左右の下腹神経と骨盤神経とが合流して骨盤神経節が形成され、これら左右の骨盤神経節間には交通枝が認められる。ラットでは主たる骨盤神経節(major pelvic ganglion)の他に、その遠位(精管の前立腺との交差部付近)に accessory pelvic ganglion が認められるが、これら左右の複数の神経節間にも明らかな交通枝が存在する(図2C)。ヒト以外の全ての哺乳動物には原則的に仙骨内臓神経は存在せず¹²⁾、これらの動物では仙骨部の交感神経幹は交感神経幹—交通枝—仙骨神経—骨盤神経という経路でのみ骨盤神経節と交通している。哺乳動物では骨盤神経内に交感神経線維が同定され^{21)~23)}、精管にトレーサー(Fluoro-Goldなど)を注

図3 ヒトの腰仙部交感神経幹と骨盤神経叢との交通(仙骨内臓神経の分離)。Aの型が最も頻度が高く、このAの型とBcのように仙骨内臓神経が分離独立している型との間に移行型と思われるBa, Bbの型が見られる。

CR: communicating ramus, PSN: pelvic splanchnic nerve, ST: sympathetic trunk.

入すると腰仙部交感神経幹のニューロンもラベルされる²⁴⁾。哺乳動物の骨盤神経内に含まれている交感神経がヒトでは仙骨内臓神経として骨盤内臓神経から分離独立してきていると想定され、これを示唆するバリエーションが図3のように認められる¹⁰⁾。

3) 内臓神経の椎体レベルと脊髄レベル

内臓神経のレベルはその由来する交感神経節の椎体の高さもしくは脊髄の高さで示されることが多いが、これらが混同されることも少なくない。脊髄の高さを表示することが合理的であるが、実際の手術では椎体を基準にせざるを得ない場合も多い。腰椎の高さでは椎体レベルと脊髄レベルは通常1椎体ずれており(ヒト, イヌ, ラット), 椎体レベルから1を引いたものが脊髄レベルであると考えるのが実際的である²⁵⁾²⁶⁾。

II. 腹部, 骨盤部の交感神経の精路に対する支配機構

上記の交感神経系の精路に対する支配様式に関して、これまで以下の知見が哺乳動物およびヒトで得られている。

1) 哺乳動物の腹部, 骨盤部の交感神経系の精路支配

(1) イヌ

a) 後部尿道への精液の排出 (seminal emission): 前立腺を開き, 前立腺部尿道を直視下におき左右の各腰内臓神経(上中部腰髄由来)もしくは下腹神経を電気刺激すると, まず後部尿道に前立腺液の排出が起こり, 続いて射精管から白い精液の排出がおこることが肉眼的に観察される^{27)~30)}。また前立腺部尿道にカテーテルを挿入して同神経の刺激を行なっても同様の結果が得られる³¹⁾³²⁾。腸間膜動脈間神経や腰仙部交感神経

幹の刺激ではこの反応はみられない。

b) 精管の収縮: 精管内圧の上昇を指標にした実験では, 左右の各腰内臓神経(上中部腰髄由来)もしくは下腹神経を電気刺激した場合に著明な精管内圧の上昇が見られ²⁸⁾, 腸間膜動脈間神経や腰仙部交感神経幹の刺激では精管内圧の上昇は見られない²⁸⁾。

c) 前立腺の収縮: 前立腺の収縮を指標にした実験では, 左右の各腰内臓神経(上中部腰髄由来)もしくは下腹神経を電気刺激した場合に前立腺の収縮が見られる³¹⁾³²⁾。また, 既述したように同様の刺激で前立腺液の後部尿道への排出が肉眼的に観察される。腸間膜動脈間神経の刺激では多くの場合前立腺の収縮や液排出はほとんど無い(これが見られる場合でも軽微である)。

d) 内尿道口の閉鎖: 膀胱を開き, 内尿道口を直視下において左右の各腰内臓神経(上中部腰髄由来)または下腹神経を電気刺激すると内尿道口の収縮が観察される。腸間膜動脈間神経や腰仙部交感神経幹の刺激ではこの反応はほとんど無い。内尿道口の圧を指標にした実験でも同様に, 左右の各腰内臓神経もしくは下腹神経を電気刺激した場合に著明な内尿道口圧の上昇が見られる³³⁾。腸間膜動脈間神経や腰仙部交感神経幹の刺激では内尿道口部の内圧上昇はほとんど見られない³³⁾。

内臓神経の電気刺激による後部尿道内圧の上昇(emission および後部尿道の収縮によると考えられる)および内尿道口の収縮は木村ら⁸⁾³⁴⁾³⁵⁾により先駆的に検討された。その結果, 木村らはイヌにおいて emission の脊髄中枢は下部胸髄—上部腰髄にあり, 内尿道

図4 ラットの精管、内尿道口を支配する内臓神経。

A: 精管内圧の上昇を示した内臓神経 (実験ラット数: 24頭)。B: 内尿道口圧の上昇を示した内臓神経 (実験ラット数: 12頭)。IMN: intermesenteric nerve. 腰内臓神経のレベルは椎体の高さで示している。

口閉鎖の中樞は下部腰髄にあるとし、2機能を支配している交感神経の脊髄レベルには明らかな違いがあると指摘した。しかしながら、著者らの検討ではイヌ、ラットともに両者間に明らかな脊髄レベルの差異は認めていない (図4)^{27)28)33)36)~38)}。

(2) ネコ

上部腰椎部の交感神経幹および下腹神経を電気刺激することにより seminal emission が起こり、前立腺部尿道に精子が排出されることを Semans ら¹⁶⁾が観察している。

(3) ラット

a) 精管の収縮: 精管内圧の上昇を指標にした実験では、左右の各腰内臓神経 (上中部腰髄由来) または下腹神経の電気刺激で精管内圧の著明な上昇が見られ、腸間膜動脈間神経叢や腰仙部交感神経幹の刺激では内圧の上昇は見られない (図4)³⁷⁾。

b) 内尿道口の閉鎖: 内尿道口の圧を指標にした実験では、図4に示すように左右の各腰内臓神経 (上中

部腰髄由来) または下腹神経を電気刺激すると、内尿道口圧の著明な上昇が見られ、腸間膜動脈間神経の刺激では圧の上昇は見られない (図4)³⁸⁾。

以上の結果より、上記の哺乳動物では腰髄—交通枝—交感神経幹—腰内臓神経—下腸間膜動脈神経節—下腹神経—骨盤神経節という経路を通して精管内精子輸送、前立腺液の排出および内尿道口の閉鎖を起こすシグナルが標的臓器に到達していると考えられる。一方、腸間膜動脈間神経は上記の機能にはほとんど関与しないと考えられる。

2) ヒトの腹部、骨盤部の交感神経系の精路支配

ヒトの交感神経系の精路に対する支配様式の研究では腹部、骨盤部の手術自体が神経の切断実験ともなったが、神経の電気刺激実験も行なわれた。

(1) 交感神経節切除範囲と射精障害

末梢血管拡張などの目的で交感神経節切除を行なった場合、Th₁からTh₁₂までの胸椎レベルの両側の節切除では dry ejaculation (精液が外尿道口から射出されない現象。emission loss と逆行性射精が含まれる) は起こらず、Th₇—L₁、Th₇—L₂、L₁—L₃の両側節切除ではそれぞれ15%、37.5%、54%に dry ejaculation が発生したと報告されている³⁹⁾。腰椎レベルの交感神経節が ejaculation を支配していることを示している。

(2) 後腹膜リンパ節郭清範囲と射精障害

後腹膜部において、大動静脈の両側のリンパ節を郭清した場合、大多数の例 (74~89%) は dry ejaculation となる^{40)~43)}。片側のリンパ節郭清では dry ejaculation の発生率は著明に減少する (0~33%)⁴⁰⁾⁴⁴⁾。腸間膜動脈間神経叢を含めたその周囲の部分的なリンパ節郭清では射精機能は温存される (96%)⁴⁵⁾⁴⁶⁾。腰内臓神経はこれらの郭清されるリンパ系を貫いて走行しており、上記の結果は左右の腰内臓神経が射精を支配し、片側の腰内臓神経でも射精を起こすことが可能で、腸間膜動脈間神経叢は射精に関与しないことを示している。

(3) ヒトの交感神経系の電気刺激

1930年代に Learmonth⁴⁷⁾は下腹神経の電気刺激で精囊、前立腺、内尿道口の収縮がおこり、上下腹神経叢の刺激で精囊、前立腺、内尿道口の収縮および射精口からの精液の排出が起こることを観察し、さらに上下腹神経叢より上位にあってこの神経叢に合流する中央の線維群 (主として腸間膜動脈間神経叢と考えられる) の刺激では上記の反応はなく、lateral root (下腸間膜動脈神経叢を経由せず上下腹神経叢に合流する

図5 腰内臓神経の両側精管に対する多重交差性支配。A：イヌ，B：ラット。APG： accessory pelvic ganglion, CB-APG： commissural branch between APG, CB-MPG： commissural branch between MPG, MPG： major pelvic ganglion.

側方の線維群：腰内臓神経と考えられる）の刺激で精囊，前立腺，内尿道口の収縮が起こることを観察した。最近では術中に腰内臓神経を電気刺激して seminal emission，内尿道口の閉鎖，体外への射出を確認し，これを後腹膜リンパ節節清時の射精機能温存に應用する試みもなされている^{48)~51)}。

以上の結果より，ヒトでも腰髄—交通枝—交感神経幹—腰内臓神経—上下腹神経叢—下腹神経—骨盤神経叢という経路を経たシグナルが seminal emission（前立腺液の分泌，精管内精子輸送）および内尿道口閉鎖を起し，腸間膜動脈神経叢は動物と同様に上記の機能にはほとんど関与しないと考えられる。また，精囊はその発生からして精管と同様の神経支配と考えられ（後述するように神経伝達物質やそれに対する反応も同じである），下腹神経の刺激で収縮し内容を後部尿道へ排出する⁶⁾。

III. 腹部，骨盤部の交感神経系の精路に対する交差性支配機構

既に述べたように腹部の交感神経は左右の交感神経幹を経て下降しながら正中に集まり，再び左右に別れて骨盤内へと下降する。このように正中に集まる意義は対側への交差であろうと想定される。以下の検討により射精を支配する交感神経系の多重の交差性が明らかとなった。

1) イヌ

(1) 精管内精子輸送：前立腺部尿道を直視下において左右の各腰内臓神経を電気刺激すると，ほとんどの場合両側の射精口から精液排出が起こる。一側の下腹神経を切断した状態で，非切断側の各腰内臓神経を刺激すると，両側の精管からの精液排出が起こる。また切断側の各腰内臓神経を刺激しても両側の精管からの精液排出が起こる²⁸⁾。精管内圧を指標にして同一の実験を行なうと，非切断側の各腰内臓神経の刺激で両側の精管内圧が上昇し，切断側の各腰内臓神経の刺激でも両側の精管内圧が上昇する²⁸⁾。以上の結果は図5Aに示すように腰内臓神経は精管に対して4経路のシグナルを含んでいることを示している。すなわち，下腸間膜動脈神経叢と前立腺の後部を交差部位として，いずれでも交差しないシグナル，いずれか一つの部位で交差するシグナル，2つの部位の双方で交差するシグナルを含んでいると考えられる²⁸⁾。

(2) 前立腺液の分泌：前立腺を正中で開いて両葉からの液排出を直視下に観察すると，左右の各腰内臓神経を刺激することにより，両葉からの液排出が起こる。一側の下腹神経を切断した状態で，非切断側の各腰内臓神経を刺激した場合でも両葉からの液排出が起こり，切断側の各腰内臓神経を刺激しても両葉からの液排出が起こる (unpublished data)。前立腺の収縮を指標にした実験でも同様の結果が得られ，非切断側の各腰内臓神経を刺激しても切断側の各腰内臓神経を刺激

しても両葉の収縮が起こる (unpublished data). これらの結果は腰内臓神経から前立腺に至るシグナルの一部は下腸間膜動脈神経節で交差することを示しており, 第2の交差機構としては前立腺部での神経線維の交差および平滑筋のギャップ結合細胞間コミュニケーション⁵²⁾⁵³⁾による対側へのシグナル伝達が想定される。

(3) 内尿道口の閉鎖: 内尿道口を直視下において, 一侧の下腹神経を切断した状態で, 非切断側の各腰内臓神経を刺激すると内尿道口の収縮が起こり, 切断側の各腰内臓神経を刺激しても内尿道口の収縮がおこる。内尿道口圧を指標にして同一の実験を行なうと, 非切断側の各腰内臓神経を刺激しても切断側の各腰内臓神経を刺激しても内尿道口の収縮が起こる (unpublished data). これらの結果は腰内臓神経から内尿道口に至るシグナルの一部は下腸間膜動脈神経節で交差することを示しており, 第2の交差機構としては内尿道口部での神経線維の交差および平滑筋のギャップ結合細胞間コミュニケーションによるシグナルの伝達が想定される。

2) ネコ

Retrograde axonal tracing method を用いて horse radish peroxidase をネコの一側の下腹神経に取り込ませ, 下腹神経に含まれている節前ニューロンの脊髄レベルを調べると脊髄内の左右の核がラベルされる¹¹⁾。同様の報告はモルモット⁵⁴⁾やラット⁵⁵⁾でもなされており, 一侧の下腹神経には両側の脊髄の核に由来するニューロンが含まれていること (下腸間膜動脈神経節での交差) を示している。

3) ラット

(1) 神経の電気刺激実験

i) 精管の収縮: 左右の各腰内臓神経を刺激することにより, ほとんどの場合両側の精管内圧の上昇が起こる。一侧の下腹神経を切断した状態で, 非切断側の腰内臓神経を刺激しても両側の精管内圧の上昇が起こり, 切断側の腰内臓神経を刺激しても両側の精管内圧の上昇が起こる³⁴⁾。以上の結果はラットでもイヌと同様に腰内臓神経は精管に対して図5Bのように4種のシグナルを含んでいると考えられる。交差部位は, 第1が下腸間膜動脈神経節であり, 第2が左右の pelvic ganglia を結ぶ交通枝である。この第2の交差部位には major pelvic ganglia 間の交通枝 (CB-MPG) と accessory pelvic ganglia 間の交通枝 (CB-APG) が挙げられるが, 次の検討結果より accessory pelvic gan-

glia 間の交通枝が主な第2の交差部位であると考えられる。すなわち, CB-MPG と一側の下腹神経を切断しておき非切断側の腰内臓神経を刺激すると下腹神経切断側の精管内圧は上昇するが, CB-APG と一側の下腹神経を切断しておくとき非切断側の腰内臓神経の刺激では切断側の精管内圧の上昇は起こらない³⁷⁾。

ii) 内尿道口の閉鎖: 一侧の下腹神経を切断した状態で, 非切断側の腰内臓神経を刺激しても切断側の腰内臓神経を刺激しても内尿道口の圧上昇が起こる³⁸⁾。さらに CB-MPG, CB-APG, MPG と APG との交通枝と切断を順次追加しても腰内臓神経の刺激で内尿道口の収縮が起こる。この結果はラットでは腰内臓神経は内尿道口部に達する8経路以上のシグナルを含んでいることを示している³⁸⁾。

(2) Retrograde axonal tracing method:

ラットの一側の精管に Fluoro-Gold を注入し, ラベルされた節後ニューロンの由来をみると同側の APG 68%, MPG 15%, 対側の APG 8%, MPG 7%であったと報告されている²¹⁾。この結果は片側の精管には両側の骨盤神経節からの節後ニューロンが分布していることを示している。

以上の結果より多くの哺乳動物では, seminal emission および内尿道口閉鎖を支配する腰内臓神経経路のシグナルが多重の交差をしていると考えられる。ヒトでも同様の交差機構が存在するものと考えられるが, 既述したように他の哺乳動物との解剖学的相違から下腸間膜動脈神経叢ではなく, 上下腹神経叢が第一の交差部位として想定される。手術の視点からみると, 片側の腰内臓神経 (少なくとも1本) と左右いずれかの下腹神経が温存されていれば射精機能は保たれるものと考えられる⁵⁶⁾。

一方, 節前, 節後ニューロンという観点から交差性を見ると, 以下の2つの知見より下腹神経を通して精路に向かう交感神経の大部分は節前ニューロンであり, これが骨盤神経節で節後ニューロンとシナプスしていると考えられる。すなわち, i) 上記のラット精管の Tracing で下腸間膜動脈神経節はほとんどラベルされず (1%), かつ, ii) ラットの下腹神経刺激による精管や内尿道口の反応は Hexamethonium (骨盤神経節でのシナプスをブロックする) でほとんど消失する³⁷⁾³⁸⁾。つまり脊髄中枢からの交感神経の節前ニューロン (一部) は下腸間膜動脈神経節で交差し, 左右の下腹神経に入り, 骨盤神経節 (APG や MPG) に至り, ここで節後ニューロン (short adrenergic

neurons) とシナプスを形成し、この節後ニューロン(一部)がさらに左右の骨盤神経節間で交差して両側の精管に分布していると考えられる。この機構からも分かるように、精路に対する交感神経の支配機構は副交感神経の臓器支配に類似しており、長い節前ニューロンと短い節後ニューロン (short adrenergic neurons) を持ち、両者が標的臓器の近くでシナプスを形成している⁶⁾⁷⁾³⁷⁾³⁸⁾。

IV. 大内臓神経—副腎髄質系(内分泌)の射精への関与の可能性

大内臓神経を刺激することにより seminal emission が起こり後部尿道の内圧が上昇することがイヌで報告され、この現象は大内臓神経を経由したシグナルが腸間膜動脈間神経節および下腸間膜動脈神経節を経由して精路に到達し引き起こしている反応であると想定された³⁴⁾³⁵⁾。しかしながら、すでに述べたように腸間膜動脈間神経節を電気刺激しても精管、前立腺、内尿道口に反応は起こらない。一方、大内臓神経の刺激で精管内圧の上昇、内尿道口の閉鎖、前立腺の収縮は確かに起こる⁵⁷⁾。この反応は骨盤内に向かう全ての交感神経系を切断しても同様に起こる。この大内臓神経の刺激による精路の反応はいずれも副腎静脈を遮断することにより完全に抑制される⁵⁷⁾。また、解剖学的に胸髄に由来している大内臓神経は副腎に神経枝を出しており⁵⁸⁾、この神経の刺激で血液中のカテコールアミンが著明に上昇する⁵⁷⁾⁵⁹⁾。副腎静脈を遮断した状態で大内臓神経を刺激しても精路に反応は無く、大内臓神経刺激を継続した状態で副腎静脈の遮断を解除すると精管内圧の上昇、内尿道口の閉鎖、前立腺の収縮が著明に起こる。以上のことから大内臓神経を電気刺激した場合の精路の反応は直接の神経支配によるのではなく副腎髄質からの内分泌により生じていると考えられる。この大内臓神経—副腎髄質系が射精時に実際に働いているか今後の検討が必要であるが、この現象は神経性に加えて内分泌性にも射精が調節されている可能性を示唆していると考えられる。腰髄由来の腰内臓神経を経たシグナルが下腹神経を経て精路に至り、神経末端から神経伝達物質(ノルアドレナリン)を放出させて標的臓器の反応を起こす一方、胸髄由来の大内臓神経を経たシグナルが副腎髄質に至り、ここからカテコールアミンを血液中に分泌させて(内分泌)標的臓器の反応を修飾しているとも想定される(図7)。射精時には血圧上昇、頻脈、発汗などの著明な全身反応が起こることが知られているが⁶⁰⁾、これには大内臓神経

—副腎髄質系による内分泌も関与している可能性が考えられる。

V. 精路の受容体機構

上記の交感神経系を通ったシグナルが精路に分布する節後ニューロンに伝わると、神経末端から神経伝達物質(主としてノルアドレナリン: NA) が放出され、これが平滑筋の受容体に結合することにより筋の収縮が起こり、seminal emission が起こる。精路において、この NA の平滑筋に対する作用は様々な機構により修飾を受けている。精管を例にとると、平滑筋には α_1 と α_2 受容体とがあり、前者はさらに α_{1A} 、 α_{1B} 、 α_{1C} に分けられる。シナプス後の α_{1B} 、 α_{1C} が活性化されることにより筋収縮が起こり、シナプス前の α_2 、 α_{1A} の活性化により NA 放出が抑制される⁶¹⁾⁶²⁾。交感神経末端からは NA と同時に ATP (アデノシン三リン酸) も放出され、2 相性を示す精管の収縮は急峻な第一相が ATP により起こり、それに続くなだらかな第 2 相が NA により引き起こされていると考えられている^{63)~65)}。精囊においても同様の反応が見られ、ATP と NA は co-transmitter として働いている⁶⁶⁾。ATP は P_2 受容体に結合して平滑筋の収縮を起こすが、NA と同時に働くと各々単独より強力な収縮を生じる(イヌ; unpublished data)。一方、ATP の放出はシナプス前の P_1 受容体の活性化により抑制され⁶⁷⁾、NA の放出は交感神経末端から放出される NPY (neuropeptide-Y) がシナプス前の NPY 受容体に結合することにより抑制される⁶⁸⁾。一方、副交感神経末端から放出されたアセチルコリンが交感神経末端のニコチン受容体、ムスカリン受容体と結合し NA の放出に影響を与えている可能性も考えられる⁶⁹⁾。その他、精路の臓器には多くの neuropeptides (VIP; vasoactive intestinal polypeptide, CGRP; calcitonin gene-related peptide など) も存在しており、その機能を修飾している。

VI. 精路に分布する副交感神経系

精路に分布する副交感神経は仙髄を出て、骨盤神経、骨盤神経叢(節)を経て標的臓器に至る。神経節(local ganglia) は前立腺⁷⁰⁾や精囊⁷¹⁾などの臓器内にも存在している。精管、精囊、前立腺に分布している副交感神経は交感神経に比較すると、神経末端はおもに平滑筋層ではなく、粘膜下組織に分布しており^{72)~74)}、臓器の収縮に対する関与は無いかあってもわずかであろうと考えられる。哺乳動物の骨盤神経を刺激しても精管内精子輸送および精管内圧の上昇は起こらず(ラット、

図6 精路の直接電気刺激（神経刺激条件）による精路内圧の変動。精巣，精巣上部頭部，体部の刺激では上記の精路内圧は変化せず，尾部以下の刺激ではいずれも尾部および精管精巣上部部の著明な内圧上昇が見られる。

ウサギ，ネコ，イヌ，ヒト)⁶⁾⁸⁾³⁷⁾，前立腺液の尿道への排出もほとんど生じない(イヌ，ヒト)³¹⁾³²⁾。これらの骨盤神経経由の副交感神経は主として内腔への液分泌に関与しているものと考えられている⁶⁾。

しかしながら射精において副交感神経と交感神経との相互作用（増強作用）を想定させる知見は少なからず得られており⁷⁵⁾⁷⁶⁾，副交感神経は骨盤神経叢（節）や標的臓器内で交感神経の作用を修飾している可能性が考えられる。

VII. 精管内精子輸送機構

ヒトの射精時の精管，精囊の動きは三矢ら⁷⁷⁾によりx線映画で検討されたが，精管は直線状になり精囊の方へと引き上げられ，精囊は水平位となり，ついで精管像の消失および膨大部像の消失，再出現がおこり収縮および短縮が繰り返されると報告している。また，超音波エコー像で射精後には精囊の長さ，幅とも縮小することが確かめられている⁷⁸⁾。精管内の精子輸送についてはこれまで多くの研究がなされてきたが^{79)~85)}，最近では以下の知見が得られている。精巣で造られ精巣上部に運ばれた不動の精子は精巣上部管を取り巻く平滑筋細胞の収縮などにより何日もかかって

(10日前後)ゆっくりと尾部に運ばれ，主にこの部位に蓄えられる^{1)~4)}。三矢ら⁸⁶⁾は第一の貯留部位は精巣上部尾部で，第2の貯留部位は精管膨大部であり，後者には平均 84.9×10^6 の精子が貯留していると報告している。精巣上部および精管の平滑筋の構造と神経支配をみると，精巣上部頭部，体部の筋層は極めて薄く神経支配にも乏しいが，尾部および精管では筋層は極めて厚く交感神経の分布も豊富になっており，精管の平滑筋層には神経網が密に形成されている⁶⁾⁸⁷⁾。イヌを用いてこれらの筋に分布している神経を電気刺激すると，精巣から精巣上部体部までのどの部位を刺激しても精管内圧は変動せず，精巣上部尾部から精管にかけてのどの部位を刺激しても精巣上部尾部（および精管精巣上部部）の内圧が著明な上昇を示す(図6)⁸⁸⁾。すなわち中枢からの神経シグナルの関与を受けず，精子は精巣上部尾部に運ばれ，ここに既述した経路を通った交感神経シグナルが到達すると，尾部の内圧上昇が起これ，その内容液が短縮直線化した精管内を精管膨大部へと急速に運ばれると考えられる。色素を尾部に注入しておき，精管の神経を電気刺激すると色素が急速に膨大部へと運ばれる現象が観察できる。膨大部を

含む精管各部は内容の充満により壁が伸展されると内圧上昇が促進される（収縮する）機構を持っており⁸⁸⁾、膨大部に運ばれ、ここに貯留した精子は後部尿道へと排出される。精巣上体尾部のノルアドレナリン感受性は精管より高いため、精巣上体尾部の収縮が早期に開始されるとの報告もある⁸⁹⁾。イヌの精管のどの部位を直接電気刺激しても精巣上体尾部の内容液は後部尿道へと排出されるが⁹⁰⁾、これは上記のメカニズムによると考えられる。またイヌの精巣上体尾部に色素を注入しておき下腹神経や精管を電気刺激すると、いずれの場合も色素が後部尿道に排出され、刺激をやめると精管内に残存した色素が再び尾部に逆流する（イヌ）⁸⁸⁾。これは次の射精に備えるメカニズムとも考えられる。この精巣上体尾部方向への精液の逆流はウサギでもX線撮影により認められており⁹¹⁾、精巣上体尾部、精管内の精液は antegrade および retrograde の両方向に移動するものと考えられる。

VIII. 尿道から体外への射出（射精：狭義）

下腹神経や腰内臓神経を刺激すると前立腺部尿道に前立腺液が分泌された後、射精管から精子を含んだ精液が尿道に排出されてくるが、後部尿道に排出された精液は外括約筋、球海綿体筋、坐骨海綿体筋の律動的収縮により球部、振子部尿道を経て体外に射出（狭義の射精）される。この射出のメカニズムには未だ不明な点が多い。ヒトの精液の射出時には球海綿体筋、坐骨海綿体筋の著明な興奮が筋電図に記録されるが⁹²⁾、これらの筋群は主に陰部神経に支配されており、射出には陰部神経が主要な働きを担っていると考えられる。一般に陰部神経の支配している横紋筋の収縮は骨盤内臓器の平滑筋の収縮と協調しており、排尿では利尿筋と括約筋、排便では直腸平滑筋と括約筋、勃起では陰茎海綿体筋と坐骨海綿体筋の協調が行なわれている。射精でも両者の協調が行なわれていると考えられ、後部尿道は下腹神経からの支配も豊富に受けており⁹³⁾、横紋筋群の律動的収縮が起こるためには陰部神経に加えて下腹神経経由の交感神経シグナルが必要であると言われる⁸⁾。また、腰仙部交感神経幹の刺激で球部尿道内圧の上昇が起こり、これは骨盤神経を切断しても変わらないことから交感神経幹から陰部神経を経たシグナルが射出に関与している可能性が考えられる（unpublished data）。すなわち精液の射出は主として陰部神経経由の体性神経、陰部神経と下腹神経経由の交感神経シグナルによりコントロールされていると考えられる。上記の横紋筋群の律動的収縮は後部尿道へ

の精液の排出（尿道壁の伸展、精液による化学的刺激など）が引き金になり起こるとも言われるが、精液の分泌を遮断しても律動的収縮はおこるとも報告されている⁹²⁾。経直腸エコーで射精時にヒトの尿道を観察した報告では⁹⁴⁾、射精前に膀胱頸部から精阜にかけて（preprostatic sphincter）の収縮像（内尿道口の閉鎖）が見られ、これは射精後まで続く。射精時にはまず前立腺部尿道（精阜以下）の軽度拡張および前立腺液の排出像が見られ、続いて前立腺部尿道（精阜以下）が最大に拡張し、精阜部の射精口から精液の排出が見られ、前立腺部尿道は精液で充満し、続いて球部尿道へ精液が急速に移動すると共に一部の精液は膀胱内に逆流する像が見られる。

尿道内の精液を急速に射出するメカニズムは排尿のメカニズムとは際違った相違を示しており、尿道はこの2つの輸送を使い分けていることになる⁹⁵⁾。尿道を精路として用いる場合には膀胱頸部から精阜にかけての部位を閉鎖し、精液の逆流を防ぐとともに尿流を止めている。前立腺を含む精路は本来尿流を止める（排尿困難を起こす）メカニズムを持っているとも理解され、尿道の持つ2つの輸送メカニズムの解明が排尿、射精両メカニズムの解明につながるであろうと考えられる。

IX. 射精に対する上位中枢の支配

外性器皮膚からの求心性のシグナルが陰部神経を介して脊髄の射精中枢に伝えられ、ここから遠心性のシグナルが既述した経路を通り精路に至り射精現象を起こす（脊髄反射）。この脊髄反射は、さらに上位の中枢により抑制あるいは促進的にコントロールされている（図7）。ラットでは脊髄の切断により射精が亢進すると言われ、また上位中枢からの抑制が未発達な幼児（サル）では勃起などの性反応が起こりやすいと言われる。上位の射精の抑制部位はラットでは視床下部が想定されており、この部位の破壊で射精反射が亢進すると言われる⁹⁶⁾。また促進部位も視床下部が想定されており、視床下部の中では内側視索前野（MPO: medial preoptic area）⁹⁷⁾が重要視され、この部の刺激（サル、ラット）で射精が起こることが報告されている。一方、視床下部の背内側核の電気刺激（サル）⁹⁸⁾や、室傍核へのドーパミン類似物質の投与（ラット）⁹⁹⁾でも射精が起こることが報告されている。脳への性行動の神経入力には触覚（性器皮膚—陰部神経—脊髄視床路経由）、視覚（眼—大脳皮質視覚野—視床下部経路）、嗅覚（鼻—大脳皮質嗅覚野—視床下部経路）を経て行なわれ、これ

図7 射精の神経経路.

らのシグナルが脳に入力されると出力のシグナルが視床下部から中脳、延髄を経て脊髄の射精中枢に伝わり、射精反射をコントロールするものと考えられているがその詳細は未解明である。

X. 射精を支配する交感神経切断時の代償機構

これまで、生理的な状態における射精の神経支配について述べてきたが、この項では手術や外傷などにより神経が切断された場合の代償機構について述べる。

1) イヌ

既述したように seminal emission や内尿道口の閉鎖を支配する主な経路は腰内臓神経—下腹神経—骨盤神経節である。この下腹神経が両側とも切断されると逆行性射精となる⁶⁾⁽¹⁰⁰⁾⁽¹⁰¹⁾。すなわち、精管内精子輸送機能は温存されるが内尿道口は閉鎖不全となる。これは下腹神経を経由する経路のほかに精管内精子輸送を起こす経路が保たれている可能性を示している。解剖学的にみると他の交感神経経路としては、(1) 腰仙部交感神経幹、(2) 精巣神経（腰内臓神経の一部が精巣動脈に沿い精巣、精巣上体に向かう）の2つが存在する（図2, 7）。この2つの神経経路は正常な状態では、電気刺激をしても精管内精子輸送および精管内圧の上昇は起こさない。しかしながら、両側の下腹神経が切断されると、残されたこれら2つの神経経路からのシグナルが精管内精子輸送を起こすイヌが認められてくる¹⁰²⁾⁽¹⁰³⁾。腰仙部交感神経幹を通る経路とは腰仙部交感神経幹—交通枝—仙骨神経—骨盤神経の経路であ

す。実際にイヌの骨盤神経内の交感神経をクロロシンドロキシラーゼ（カテコールアミン生成の律速酵素）に対する抗体を用いて染めると交感神経線維が含まれていることが確認される。ヒトでは既述したように仙骨内臓神経の存在する例が約20～30%に見られるが、上記の結果からこの仙骨内臓神経は下腹神経機能の代償がその働きの一つではないかと想定される。仙骨内臓神経が無い例では骨盤神経内の交感神経が代償を行なうものと考えられる。一方、下腹神経を切断したイヌで腰仙部交感神経幹の刺激と骨盤神経の刺激に対する精管の反応を比較すると骨盤神経の刺激の方がはるかに精管内圧の上昇が高度である（unpublished data）。代償機構において骨盤神経内の副交感神経も働いている可能性が想定される。両側下腹神経を切断したイヌの内尿道口は一月以上後も肉眼的に弛緩したままであり、腰仙部交感神経幹、精巣神経の刺激でも収縮反応は見られない。しかしながら、1年以上を経過した例のなかには、腰仙部交感神経幹の刺激にて内尿道口圧の上昇を示すものも認められるようになる（unpublished data）。以上の結果は下腹神経切断後に起こる逆行性射精の発生メカニズムの一つは、残された神経による精管内精子輸送と内尿道口閉鎖の代償性の差異であることを示している¹⁰⁰⁾¹⁰¹⁾。

2) ラット

ラットでもイヌと同様に下腹神経の刺激で精管内圧が上昇するが、骨盤神経の刺激では起こらない¹⁰⁴⁾。Kolbeck らは骨盤神経の刺激でラットの精管内圧の上昇が起こると報告しているが¹⁰⁵⁾、他の哺乳動物では起こらず、またラットでもわれわれの検討では起こらない。測定部位（遠位精管）や測定方法に問題があるのではないかと考えられる¹⁰⁴⁾。ラットは正常の状態では、骨盤神経刺激で精管内圧上昇を起こさないが、一側の下腹神経を切断すると切断側の骨盤神経の刺激で精管内圧の上昇を起こすラットが生じてくる。しかし下腹神経温存側の骨盤神経の刺激では精管内圧の上昇は起こらない。この下腹神経切断後の骨盤神経刺激による精管内圧の上昇は神経節の遮断剤（hexamethonium）で完全に抑制され、副交感神経の遮断剤（atropine）ではほとんど影響がなく、交感神経の遮断剤（prazosin）では抑制される例が見られる。またこれらのラットでは腰仙部交感神経幹の刺激では精管内圧の上昇は見られない。以上の結果よりこのメカニズムは図8に示すように節前ニューロンを失った下腹神経の節後ニューロンに対して、骨盤神経の節前ニューロ

図8 下腹神経切断後の Reorganization(ラット). 下腹神経切断後, 残された節後ニューロンと骨盤神経の節前ニューロンとの間に新しいシナプスが形成され(sprouting), 骨盤神経経由のシグナルが精管に到達するようになると考えられる。

ンが sprouting (発芽) し, 新たなシナプスを形成したため骨盤神経の興奮が下腹神経の節後ニューロンに伝わり精管内圧の上昇が起こるものと考えられる¹⁰⁴⁾. 同様のメカニズムは膀胱や陰茎においても認められ, 骨盤神経を切断した後の下腹神経の reorganization として報告されている¹⁰⁶⁾¹⁰⁷⁾. また, 下腹神経切断による精路の形態変化をみると, 精巣上体や精管に内腔の拡大, 壁の菲薄化, 精子の著しい貯留などの形態変化が起こるが¹⁰⁴⁾¹⁰⁸⁾, 切断後に骨盤神経による代償が働いたと考えられる場合には精管は正常に近い形態を示す¹⁰⁴⁾.

種を維持するための射精機能は主要な神経経路が損傷されても, 残された神経経路を使って精路の形態や機能を保とうとするメカニズムが働くようであり, このメカニズムには本来存在している経路を用いる機転と, 新しい神経経路を形成する機転とが存在するようである. ヒトでも同様のメカニズムの存在が想定され, 手術の際に主要な神経経路の温存が不可能な場合には, 少なくとも代償経路を温存することが勧められる.

XI. 射精を支配する自律神経の切断の

再建および射精障害の治療

1) 射精を支配する自律神経の再縫合

性機能に関して, 切断された自律神経の再縫合の研究は少ないが Walsh らはラットの陰茎海綿体神経を

再縫合することにより勃起機能が回復することを報告している¹⁰⁹⁾. 著者らはイヌを用いて両側の下腹神経の切断, 再縫合を行ない長期間 (1~2 年) の観察を行っているが, 腰内臓神経の電気刺激により精管内圧の上昇, 内尿道口圧の上昇および前立腺の収縮が正常犬と同程度に起こる結果を得ている. またこれらのイヌは陰茎の用手刺激にて外尿道口からの精液の射出を生じ, 射出された精液内には多数の運動性のある精子が確認された (unpublished data). 下腹神経の持つ精管内精子輸送, 内尿道口閉鎖, 前立腺液排出機能は神経縫合により長期間 (2 年以上) 温存されと考えられる. 自律神経も体性神経と同様に縫合によってその機能が温存されるならば, 機能温存手術は多様な術式の選択が可能になるものと考えられる.

2) 人工射精

射精の神経経路の損傷による射精障害に対して, これまで以下の治療法が開発されてきた^{110)~118)}. 手術などにより末梢の自律神経を損傷した場合 (射精の脊髄反射弓が損傷されている場合) には, 神経損傷部位よりもさらに末梢の節後ニューロンを電気刺激する方法¹¹³⁾, 精管に分布する神経を直接電気刺激する方法⁹⁰⁾, 薬剤 (alpha-adrenergic stimulating agents) の投与で効果器のリセプターを賦活化する方法¹¹⁴⁾さらには精巣上体から直接採取する方法¹¹⁵⁾により射精の回復もしくは精子の採取が計られる. 一方, 脊髄損傷など射精の脊髄反射弓が温存されている場合には, 末梢神経電気刺激法¹¹⁶⁾, クモ膜下薬物注入法¹¹⁷⁾, パイプレーター法¹¹⁸⁾などが用いられている.

おわりに

本稿では射精の自律神経支配について述べたが, 射精が起こるためにはさらにホルモン環境が整っていることが必要である. 性ホルモンが男性性器を正常に発育させこれを維持すること, また性ホルモンが脳 (視床下部, 脳幹など) に対して適切に作用し性行動発現に関与することが必要である. すなわち, 射精現象は自律神経, 体性神経, 内分泌という主要調節系を全て動員して行なわれているとも言える. この射精現象は既に述べたように多くのプロセスを含んでいるが, この射精自体も性行動 (性欲の発現-勃起-射精-勃起の消退) の中の一プロセスである. 射精の個々のプロセスを支配するシグナルについては明らかにされてきたことも多いが, この各プロセスを正しい順序で進行させるシグナルはほとんど未解明である. また性行動全体を順次進行させるシグナルも未解明である. 各プ

ロセスは正しい順序に起こらないと受精は不可能となる。射精のメカニズムについて説明されていることは極めて少ないと言えよう。

泌尿器科は医学の中で泌尿器、生殖器を取り扱う分野であり、射精はそれ自体生殖に含まれる現象であり泌尿器科医は射精現象を理解することが求められるが、さらに射精を支配している自律神経が泌尿器科医の術野に存在するため支配神経についても深い知識を持たねばならない。実際には同部の手術では自律神経は確認されずに切断され、その後の障害も出現しない場合も多いと思われる。既述したように、多数の腰内臓神経の存在、交差性を持つ走行経路および代償機転が自律神経損傷による障害の発生を防いでいると考えられる。手術を行なう際には臓器を栄養する血管のみでなく、これを調節している自律神経についても十分な解剖学的、生理学的知識を持ち両者に十分な注意を払い、さらに損傷時には両者ともその再建を行なうことができるようになれば、患者にとって最も適切な手術がなされるものと考えられる。

稿を終えるにあたり、研究の始めより今日まで一緒に研究をさせて頂いている東京医科歯科大学医学部保健衛生学科佐藤健次教授、研究に協力して下さった東部地域病院泌尿器科安藤正夫部長、また御指導を頂いている東京医科歯科大学医学部泌尿器科大島博幸教授に深く感謝いたします。

文 献

- Freund, M. and Davis, J.E.: Disappearance rate of spermatozoa from the ejaculate following vasectomy. *Fertil. Steril.*, **20**, 163—170, 1975.
- Amann, R.P., Johnson, L., Thompson, D.L. Jr. and Pickett, B.W.: Daily spermatozoal production, epididymal spermatozoal reserves and transit time of spermatozoal through the epididymis of the rhesus monkey. *Biol. Reprod.*, **15**, 586—592, 1976.
- 鈴木二美枝: 精子の形成と輸送—精巣上体. 新生理科学大系, 21, 生殖の生理学, 第1版, p64—71, 医学書院, 東京, 1989.
- 成田晴紀, 三宅弘治: 精管内精子輸送. 医学のあゆみ, **166**, 194—196, 1993.
- Krane, R.J.: Sexual function and dysfunction. in *Campbell's Urology*, 4th ed., p709—710, Saunders Co., Philadelphia, 1986.
- Hoyle, C.H.V., Lincoln, J. and Burnstock, G.: Neural control of pelvic organs. in *Handbook of Neuro-Urology*, 1st ed., p1—53, Marcel Dekker Inc., New York, 1994.
- Dail, W.G.: Autonomic innervation of male reproductive genitalia. in *Nervous Control of the Urogenital System*, 1st ed., p69—101, Harwood Academic Publishers, Chur, 1993.
- 木村行雄: 射精のメカニズム. *臨泌*, **34**, 103—116, 1980.
- Munro, D., Horne, H.W. and Paull, C.D.P.: The effect of injury to the spinal cord and cauda equina on the sexual potency of men. *New Eng. J. Med.*, **239**, 903—911, 1948.
- Whitelaw, G.P. and Smithwick, R.H.: Some secondary effects of sympathectomy—With particular reference to disturbance of sexual function. *New Engl. J. Med.*, **245**, 121—130, 1951.
- Morgan, C., deGroat, W.C. and Nadelhaft, I.: The spinal distribution of sympathetic preganglionic and visceral primary afferent neurons that send axons into the hypogastric nerves of the cat. *J. Comp. Neurol.*, **243**, 23—40, 1986.
- 佐藤健次, 木原和徳, 安藤正夫, 大島博幸: 仙骨部から起始する自律神経(骨盤内臓神経と仙骨内臓神経)の起始様式に関する比較解剖学的研究. *Impotence*, **5**, 295—308, 1990.
- Schlyvitsch, B. and Kosintzev, A.: Über die Morphologie der Rami viscerales plexus pudendi (Nn. Pelvici) beim Menschen. *Z. Anat. Entwickl. Gesch.*, **109**, 423—442, 1939.
- 三上 哲: 日本人成人骨盤底神経の解剖学的検討. *日医大誌*, **27**, 211—241, 1960.
- Evance, H.E. and Christensen, G.C.: *Anatomy of the Dog*. Philadelphia, Saunders, p1030, 1979.
- Semans, J.H. and Langworthy, O.R.: Observation on the neurophysiology of sexual function in the male cat. *J. Urol.*, **40**, 836—846, 1938.
- Matthews, M.R. and Cuello, A.C.: The origin and possible significance of substance P immunoreactive networks in the prevertebral ganglia and related structures in the guinea-pig. *Phil. Trans. R. Soc.*, **306**, 247—276, 1984.
- Purinton, P.T., Fletcher, T.F. and Bradley, W. E.: Gross and light microscopic features of the pelvic plexus in the rat. *Anat. Rec.*, **175**, 697—706, 1973.
- 田中重徳, 端慶覧朝盛, 中河志朗, 中尾泰右: 雄ラットの泌尿生殖器に分布する体性ならびに臓性の神経に関する肉眼解剖学的研究. *解剖誌*, **56**, 400—414, 1981.
- 佐藤健次: 骨盤内自律神経の外科解剖学. *外科治療*, **71**, 387—394, 1994.
- Hamberger, B. and Norberg, K.A.: *Studies on*

- some systems of adrenergic ganglia of the cat. *Acta Physiol. Scand.*, **65**, 235—242, 1965.
- 22) Kuo, D.C., Hisamitsu, T. and deGroat, W.C.: A sympathetic projection from sacral paravertebral ganglia to the pelvic nerve and to post-ganglionic nerves on the surface of the urinary bladder and large intestine of the cat. *J. Comp. Neurol.*, **226**, 76—86, 1984.
 - 23) 菅谷公男, 森 茂美, 土田正義: ネコの下部尿路を支配する遠心性および一次求心性神経経路の同定. *日泌尿会誌*, **79**, 868—879, 1988.
 - 24) Kolbeck, S.C. and Steers, W.D.: Origin of neurons supplying the vas deferens of the rat. *J. Urol.*, **149**, 918—921, 1993.
 - 25) Baron, R., Janig, W. and Kollman, W.: Sympathetic and afferent somata projecting in hind-limb nerves and the anatomical organization of the lumbar sympathetic nervous system of the rat. *J. Comp. Neurol.*, **275**, 460—468, 1988.
 - 26) 佐藤健次, 木原和徳, 安藤正夫, 大島博幸: 犬の seminal emission と内尿道口の閉鎖機能を支配する腰内臓神経の腰椎レベルでの起始構成について. *自律神経*, **31**, 679—686, 1994.
 - 27) Kihara, K., Sato, K., Ando, M., Sato, T. and Oshima, H.: Ability of each lumbar splanchnic nerve and disability of thoracic ones to generate seminal emission in the dog. *J. Urol.*, **147**, 260—263, 1992.
 - 28) Kihara, K., Sato, K., Ando, M., Morita, T. and Oshima, H.: Control of bilateral seminal emissions from ejaculatory ducts by a lumbar splanchnic nerve. *Am. J. Physiol.*, **265**, R743—R748, 1993.
 - 29) 木原和徳, 佐藤健次: 射精の生理. *Urology Today*, **2**, 1—4, 1995.
 - 30) 木原和徳, 佐藤健次, 安藤正夫: 射精のメカニズム. *インポテンツ診療の実際*, 第1版, p16—25, 金原出版, 東京, 1992.
 - 31) 島 正美: 前立腺の神経支配に関する研究. *日泌尿会誌*, **64**, 539—554, 1973.
 - 32) Watanabe, H., Shima, M., Kojima, M. and Ohe, H.: Dynamic study of nervous control on prostatic contraction and fluid excretion in the dog. *J. Urol.*, **140**, 1567—1570, 1988.
 - 33) Ando, M., Kihara, K., Sato, K., Sato, T. and Oshima, H.: Regulation of the bladder neck closure by lumbar splanchnic nerves at ejaculation in the dog. *Neurourol. Urodynam.*, **12**, 91—98, 1993.
 - 34) Kimura, Y., Miyata, K., Adachi, K. and Kisaki, N.: Peripheral nerves controlling the closure of internal urethral orifice during ejaculation. *Urol. Int.*, **30**, 218—227, 1975.
 - 35) 木村行雄, 宮田宏洋, 安達国昭: 射精の研究. 第3報. 精液の Emission と射精時における内尿道口の閉鎖の神経支配について. *日泌尿会誌*, **62**, 877—886, 1971.
 - 36) 佐藤健次, 木原和徳, 安藤正夫, 大島博幸: 犬の下腸間膜神経節を構成する中央線維群と側方線維群の seminal emission, 内尿道口の収縮ならびに結腸支配に関する研究. *Impotence*, **9**, 199—205, 1994.
 - 37) Kihara, K. and deGroat, W.C.: Sympathetic efferent pathways project bilaterally to the seminal tract. *Anat. Rec.* in press.
 - 38) Kihara, K. and deGroat W.C.: Sympathetic efferent pathways projecting to the bladder neck and proximal urethra in the rat. *J. Auton. Nerv. Syst.* **62**, 134—142, 1997.
 - 39) Whitelaw, G.P. and Smithwick, R.H.: Some secondary effects of sympathectomy—With particular reference to disturbance of sexual function. *N. Engl. J. Med.*, **245**, 121—130, 1951.
 - 40) Fossa, S.D., Ous, S., Abyholm, T. and Loeb, M.: Post-treatment fertility in patients with testicular cancer. *Brit. J. Urol.*, **57**, 204—209, 1985.
 - 41) Kedia, K.R., Markland, C. and Fraley, E.E.: Sexual function following high retroperitoneal lymphadenectomy. *J. Urol.*, **114**, 237—239, 1975.
 - 42) Nijman, J.M., Jager, S., Boer, P.W., Kremer, J. and Oldhoff, J.: The treatment of ejaculation disorders after retroperitoneal lymph node dissection. *Cancer*, **50**, 2967—2971, 1982.
 - 43) Narayan, P., Lange, P.H. and Fraley, E.E.: Ejaculation and fertility after extended retroperitoneal lymph node dissection for testicular cancer. *J. Urol.*, **127**, 685—688, 1982.
 - 44) Pizzacaro, G., Salvioni, R. and Zanoni, F.: Unilateral lymphadenectomy in intraoperative stage I nonseminomatous germinal testis cancer. *J. Urol.*, **134**, 485—489, 1985.
 - 45) 木原和徳, 福井 巖, 大島博幸, 田利清信, 岡薫: 睾丸腫瘍の後腹膜リンパ節郭清における射精障害の防止について. *日泌尿会誌*, **79**, 1982—1990, 1988.
 - 46) Sherlag, A.P., O'Brien, D.P. and Graham, S.D. Jr.: Use of limited retroperitoneal lymphadenectomy in nonseminomatous germ cell tumors. *Urology*, **33**, 355—357, 1989.
 - 47) Learmonth, J.R.: Contribution to neurophysiology of urinary bladder in man. *Brain*, **54**, 147—176, 1931.
 - 48) Dieckmann, K.P., Huland, H. and Gross, A.J.: A test for the identification of relevant sympha-

- thetic nerve fibers during nerve sparing retroperitoneal lymphadenectomy. *J. Urol.*, **148**, 1450—1452, 1992.
- 49) Recker, F., Meier, T., Goepel, M. and Tscholl, R.: Observations on the course of ejaculation in the posterior urethra. *Urologe*, **32**, 403—406, 1993.
 - 50) Weidner, W., Zoller, G., Sauerwein, D., Fisher, C., Hummel, G., Kallerhoff, M. and Ringert, R. H.: A modified technique for nerve-sparing retroperitoneal lymph node dissection in stage II nonseminomatous germ cell tumors using intraoperative measurement of bladder neck pressure alterations following sympathetic nerve fiber electrostimulation. *Eur. Urol.*, **26**, 67—70, 1994.
 - 51) Recker, F., Goepel, M., Otto, T., Krege, S., Wernli, M., Stucki, P., Tscholl, R. and Rubben, H.: An intra-operative seminal and prostate emission test as a control for nerve-sparing procedures in primary and secondary retroperitoneal lymphadenectomy. *Brit. J. Urol.*, **77**, 133—137, 1996.
 - 52) Huizinga, J.D., Liu, W.C., Blennerhassett, M.G., Thuneberg, L. and Molleman, A.: Intercellular communication in smooth muscle. *Experientia*, **48**, 932—941, 1992.
 - 53) Kihara, K., Fukui, I., Higashi, Y. and Oshima, H.: Inhibitory effect of testosterone on gap junctional intercellular communication of human transitional cell carcinoma cell lines. *Cancer Res.*, **50**, 2848—2852, 1990.
 - 54) McLachlan, E.M.: The components of the hypogastric nerve in male and female guinea pigs. *J. Autonom. Nerv. Syst.*, **13**, 327—342, 1985.
 - 55) Nadelhaft, I. and McKenna, K.E.: Sexual dimorphism in sympathetic preganglionic neurons of the rat hypogastric nerves. *J. Comp. Neurol.*, **256**, 308—315, 1987.
 - 56) 木原和徳, 永松秀樹, 大島博幸: 術後射精障害を考慮したリンパ節郭清. *泌尿器外科*, **2**, 999—1005, 1989.
 - 57) Kihara, K., Sato, K. and Oshima, H.: Involvement of the adrenal medulla in ejaculatory reactions in the dog. *Int. J. Androl.*, in press.
 - 58) Maycock, W.A. and Heslop, T.S.: An experimental investigation of the nerve supply of the adrenal medulla of the cat. *J. Anat.*, **73**, 551—558, 1939.
 - 59) Bulbring, E. and Burn, J.H.: Liberation of noradrenaline from the suprarenal gland. *Brit. J. Pharmacol.*, **4**, 202—208, 1949.
 - 60) Masters, W.H. and Johnson, V.E.: Male extragenital reactions. in *Human Sexual Responses*, 1st ed., p171—176, Brown and Company Press, Boston, 1966.
 - 61) Mallard, N.J., Marshall, R.W., Sifers, A.J. and Spriggs, T.L.B.: Separation of putative alpha-la and alpha-1b adrenoceptor mediated components in the tension response of the rat vas deferens to electrical field stimulation. *Brit. J. Pharmacol.*, **105**, 727—731, 1992.
 - 62) Steers, W.D.: Physiology of the vas deferens. *World J. Urol.*, **12**, 281—285, 1994.
 - 63) Sneddon, P. and Westfall, D.P.: Pharmacological evidence that adenosine triphosphate and noradrenaline are co-transmitters in the guinea-pig vas deferens. *J. Physiol.*, **347**, 561—580, 1984.
 - 64) Sneddon, P., Westfall, D.P., Collby, J. and Fedan, J.S.: A pharmacological investigation of the biphasic nature of the contractile response of rabbit and rat vas deferens to field stimulation. *Life Science*, **35**, 1903—1912, 1984.
 - 65) Nakanishi, H. and Takeda, H.: The possible role of adenosine triphosphate in chemical transmission between the hypogastric nerve terminal and seminal vesicle in the guinea pig. *Jpn. J. Pharmacol.*, **23**, 479—490, 1973.
 - 66) Meldrum, L.A. and Burnstock, G.: Evidence that ATP is involved as a cotransmitter in the hypogastric nerve supplying the seminal vesicle of the guinea-pig. *Eur. J. Pharmacol.*, **110**, 363—366, 1985.
 - 67) Witt, P.A., Kramer, T.H. and Burks, T.F.: Norepinephrine and ATP and synergistic in the mouse vas deferens preparation. *Eur. J. Pharmacol.*, **204**, 149—155, 1991.
 - 68) Bitran, M., Torres, G., Fournier, A., St. Pierre, S. and Huidobro-Toro, J.P.: Age and castration modulate the inhibitory action of neuropeptide Y on neurotransmission in the rat vas deferens. *Eur. J. Pharmacol.*, **203**, 267—274, 1991.
 - 69) Todorov, L., Windisch, K., Shersen, H., Lajtha, A., Papasova, M. and Vizi, E.S.: Prejunctional nicotinic receptors involved in facilitation of stimulation-evoked noradrenaline-release from the vas deferens of the guinea-pig. *Brit. J. Pharmacol.*, **102**, 186—190, 1991.
 - 70) Gosling, J.A. and Thompson, S.A.: A neuro-histochemical and histological study of peripheral autonomic neurons of the human bladder

- neck and prostate. *Urol. Int.*, **32**, 269—276, 1977.
- 71) Al Zuhair, A., Gosling, J.A. and Dixon, J.S.: Observation on the structure and autonomic innervation of the guinea-pig seminal vesicle and ductus deferens. *J. Anat.*, **120**, 81—93, 1975.
 - 72) Keast, J.R.: Location and peptide content of pelvic neurons supplying the muscle and lamina propria of the rat vas deferens. *J. Autonom. Nerv. Syst.*, **40**, 1—12, 1992.
 - 73) Yuri, K.: Immunohistochemical and enzyme histochemical localization of peptidergic, aminergic and cholinergic nerve fibers in the rat seminal vesicle. *J. Urol.*, **143**, 194—198, 1990.
 - 74) Alm, P.: On the autonomic innervation of the human vas deferens. *Brain Res. Bull.*, **9**, 673—677, 1982.
 - 75) Tsunoo, A., Kurokawa, M. and Takahashi, K.: Neurally evoked potentiation of tonic contractions in the guinea pig vas deferens involves adenosine receptors. *J. Physiol.*, **433**, 163—181, 1991.
 - 76) Sjostrand, N.O. and Swedin, G.: Potentiation by various smooth muscle stimulants of an isolated sympathetic nerve- seminal vesicle preparation from the guinea-pig. *Acta Physiol. Scand.*, **80**, 172—177, 1970.
 - 77) Mitsuya, H., Asai, J., Ushida, T. and Hosoe, K.: Application of X-ray cinematography in urology. I. Mechanism ejaculation. *J. Urol.*, **83**, 86—92, 1960.
 - 78) Fuse, H., Okuma, A., Satomi, S., Kazama, T. and Katayama, T.: Evaluation of seminal vesicle characteristics by ultrasonography before and after ejaculation. *Urol. Int.*, **49**, 110—113, 1992.
 - 79) Amann, R.P., Hokanson, J.F. and Almquist, J. O.: Canulation of the bovine ductus deferens for quantitative recovery of epididymal spermatozoa. *J. Repro. Fertil.*, **6**, 65—69, 1963.
 - 80) Batra, S.K.: Sperm transport through vas deferens: Review of hypothesis and suggestions for a quantitative model. *Fertil. Steril.*, **25**, 186—202, 1974.
 - 81) Guha, S.K., Kaur, H. and Ahmed, A.M.: Mechanics of spermatid fluid transport in the vas deferens. *Med. Biol. Eng.*, **13**, 518—522, 1975.
 - 82) Hukovic, S.: Responses of the isolated sympathetic nerve-ductus deferens preparation of the guinea-pig. *Brit. J. Pharmacol.*, **16**, 188—194, 1961.
 - 83) Kimura, Y., Adachi, K., Kisaki, N. and Ise, K.: On the transportation of spermatozoa in the vas deferens. *Andrologia*, **7**, 55—61, 1975.
 - 84) Swedin, G.: Studies on neurotransmission mechanisms in the rat and guinea-pig vas deferens. *Acta Physiol. Scand. Suppl.*, **369**, 1—34, 1971.
 - 85) Ventura, W.P., Freund, M., Davis, J. and Pan-nuti, C.: Influence of norepinephrine on the motility of the human vas deferens: A new hypothesis of sperm transport by the vas deferens. *Fertil. Steril.*, **24**, 68—77, 1973.
 - 86) 三矢英輔, 成田晴紀, 三宅弘治: 精管内精子輸送。ホルモンと臨床—アンドロロジー最近の進歩, **34**, 136—140, 1986.
 - 87) Baumgarten, H.G., Holstein, A.F. and Rosen-gren, E.: Arrangement, ultrastructure and adrenergic innervation of smooth musculature of ductuli efferentes, ductus epididymis and ductus deferens of man. *Z. Zellforsch.*, **120**, 37—60, 1971.
 - 88) Kihara, K., Sato, K., Ando, M., Azuma, H. and Oshima, H.: Antegrade and retrograde fluid transport through the vas deferens. *Am. J. Physiol.*, **269**, R1197—R1203, 1995.
 - 89) 成田晴紀: ヒト精路内精子輸送機構の研究—ヒト精路を使用した in vitro の薬理学的実験。日泌尿会誌, **74**, 1734—1748, 1983.
 - 90) Kihara, K., Sato, K., Ando, M., Azuma, H., Ushiyama, T. and Oshima, H.: A new method to generate canine seminal emission and its application to men: Direct electrical stimulation of the vas deferens. *J. Androl.*, **15**, 479—483, 1994.
 - 91) Prins, G.S. and Zaneveld, L.J.D.: Radiographic study of fluid transport in the rabbit vas deferens during sexual rest and after sexual activity. *J. Repro. Fertil.*, **58**, 311—319, 1980.
 - 92) Gerstenberg, T.C., Levin, R.J. and Wagner, G.: Erection and ejaculation in man. Assessment of the electromyographic activity of the bulbocavernosus and ischiocavernosus muscles. *Brit. J. Urol.*, **65**, 395—402, 1990.
 - 93) 安藤正夫, 木原和徳, 佐藤健次, 森田 隆, 大島博幸: 雄犬の後部尿道を支配する後腹膜部交感神経の同定。日本平滑筋会誌, **29**, 298—300, 1993.
 - 94) Gil-Vernet, J.M. Jr., Alvarez-Vijande, R., Gil-Vernet, A. and Gil-Vernet, J.M.: Ejaculation in men: A dynamic endorectal ultrasonographical study. *Brit. J. Urol.*, **73**, 442—448, 1994.
 - 95) 森田 隆, 永松秀樹, 増田 均, 遠坂 顕, 長浜克志, 辻井俊彦, 木原和徳, 安藤正夫, 大島博幸: 尿禁制時とフェリネフリン投与による射精時の内尿

- 道口閉鎖動態の差異に関する実験的検討. 日泌尿会誌, **86**, 1761—1769, 1995.
- 96) Marson, L. and McKenna, K.E.: The identification of a brain stem site controlling spinal sexual reflexes in male rats. *Brain Res.*, **515**, 303—308, 1990.
 - 97) Robinson, B.W. and Mishkin, M.: Ejaculation evoked by stimulation of the preoptic area in monkeys. *Physiol. Behav.*, **1**, 269—272, 1966.
 - 98) Oomura, Y., Yoshimatsu, H. and Aou, S.: Medial preoptic and hypothalamic neuronal activity during sexual behavior of the male monkey. *Brain Res.*, **266**, 340—343, 1983.
 - 99) Pehek, E.A., Thompson, J.T. and Hull, E.M.: The effects of intracranial administration of the dopamine agonist apomorphine on penile reflexes and seminal emission in the rat. *Brain Res.*, **500**, 325—332, 1989.
 - 100) Kihara, K., Sato, K., Ando, M. and Oshima, H.: A mechanism of retrograde ejaculation after bilateral hypogastric nerve transections in the dog. *J. Urol.*, **148**, 1307—1309, 1992.
 - 101) Kihara, K., Sato, K., Ando, M. and Oshima, H.: A mechanism of neurogenic retrograde ejaculation. in *Current Topics in Andrology*. 1st ed. p320—325, Jpn Society of Andrology, Tokyo, 1993.
 - 102) Kihara, K., Sato, K., Ando, M., Sato, T. and Oshima, H.: Lumbosacral sympathetic trunk as a compensatory pathway for seminal emission after bilateral hypogastric nerve transections in the dog. *J. Urol.*, **145**, 640—643, 1991.
 - 103) Sato, K., Kihara, K., Ando, M., Sato, T. and Oshima, H.: Seminal emission by electrical stimulation of the spermatic nerve and epididymis. *Int. J. Androl.*, **14**, 461—467, 1991.
 - 104) Kihara, K., Kakizaki, H. and deGroat, W.C.: Reorganization of the innervation of the vas deferens after sympathetic decentralization. *Am. J. Physiol.* **271**, R1481—R1488, 1996.
 - 105) Kolbeck, S.C. and Steers, W.: Neural regulation of the vas deferens in the rat: An electrophysiological analysis. *Am. J. Physiol.*, **263**, R331—R338, 1992.
 - 106) deGroat, W.C. and Kawatani, M.: Reorganization of sympathetic preganglionic connections in cat bladder ganglia following parasympathetic denervation. *J. Physiol.*, **409**, 431—449, 1989.
 - 107) Olmstead, M.P., Walton, G. and Dail, W.G.: Apparent plasticity of autonomic nerves: Stimulation of the hypogastric nerves elicits increases in penile pressure after chronic interruption of the sacral parasympathetic outflow. *Soc. Neurosci. Abst.*, **18**, 202, 1988.
 - 108) Billups, K.I., Tillman, S. and Chang, T.S.K.: Ablation of the inferior mesenteric plexus in the rat: Alteration of sperm storage in the epididymis and vas deferens. *J. Urol.*, **143**, 625—629, 1990.
 - 109) Burgers, J.K., Nelson, R.J., Quinlan, D.M. and Walsh, P.C.: Nerve growth factor, nerve grafts and amniotic membrane grafts restore erectile function in rats. *J. Urol.*, **146**, 463—468, 1991.
 - 110) 木原和徳, 佐藤健次, 安藤正夫, 大島博幸: 後腹膜リンパ節郭清(RPLND)における射精障害のリハビリテーション. *泌尿器外科*, **5**, 285—290, 1992.
 - 111) 木原和徳: 医原性射精障害. *図説泌尿器科学講座* **4**, 内分泌疾患—性機能障害, 第1版, p261—264, メジカルビュー社, 東京, 1991.
 - 112) 牛山武久, 長浜克志: 射精障害と人工射精. *産婦人科治療*, **62**, 931—934, 1991.
 - 113) Ohl, D.A., Denil, J., Bennett, C.J., Randolph, J. F., Menge, A.C. and McCabe, M.: Electroejaculation following retroperitoneal lymphadenectomy. *J. Urol.*, **145**, 980—983, 1991.
 - 114) Stockamp, K., Schreiter, F. and Alwein, J.E.: Alpha-adrenergic drugs in retrograde ejaculation. *Fertil. Steril.*, **25**, 817—820, 1974.
 - 115) Silber, S.J., Balmaceda, J. and Borrero, C.: Pregnancy with sperm aspiration from the proximal head of the epididymis: A new treatment for congenital absence of the vas deferens. *Fertil. Steril.*, **50**, 525—528, 1988.
 - 116) Horne, H.W., Paull, C.D.P. and Munro, D.: Fertility studies in the human male with traumatic injuries of the spinal cord and cauda equina. *New Engl. J. Med.*, **239**, 959—961, 1948.
 - 117) Guttman, L. and Walsh, J.J.: Prostigmine assessment test of fertility in spinal man. *Paraplegia*, **9**, 39—51, 1971.
 - 118) Brindley, G.S.: The fertility of men with spinal injuries. *Paraplegia*, **22**, 337—348, 1984.