陰茎循環動態に関する研究

第3報: 陰茎循環モデルを用いた陰茎海綿体静脈洞内

脱分極電流値変動の原因解析

岩手医科大学医学部泌尿器科学講座 (主任: 大堀 勉教授)

青木 光 高金 弘 萬谷 嘉明

藤岡 知昭 久保 隆 大堀 勉

STUDY OF THE PENILE HEMODYNAMICS

The Third Report: Analysis of the Hemodynamic Causes of the Alterations in the
Depolarizing Current Measured by Open Tip Type Oxygen Electrode
Polarographic Method in the Corpus Cavernosum

Hikaru Aoki, Hiroshi Takagane, Yoshiaki Banya,

Tomoaki Fujioka, Takashi Kubo and Tsutomu Ohhori

Department of Urology, Iwate Medical University, School of Medicine

(Director: Prof. T. Ohhori)

It was shown in our previous data that the depolarizing current measured by the open tip type oxygen electrode polarographic method in the corpus cavernosum altered in response to the blood outflow change as well as the inflow. In this paper the hemodynamic causes of the alteration in the depolarizing current of each erection phase in the corpus cavernosum were analysed by study of humans and two types of dog model. In the human study, the alteration of the depolarizing current in the corpus cavernosum and the penile circumference change during all phases of penile erection (tumescence phase, erection phase and detumescence phase) were simultaneously measured in five male volunteers (18~21years; average age 19.8years).

The two types of dog model were similarly studied. In the first model, by inserting 2 electrodes into the center and the peripheral end of the corpus cavernosum the depolarizing current alterations were observed at various blood perfusion rates through the 19 gage butterfly needle which was inserted in the corpus cavernosum distal end. From these results we confirmed that the depolarizing current in the corpus cavernosum altered in response to the blood perfusion rates. In the second model, which was a penile circulation model, the relations between the depolarizing current alteration and the penile circumference change of each erection phase of humans could be reproduced. The status of the blood inflow and outflow of the penile circulation model at the time of the reappearance represented the status of the blood inflow and outflow of the corpus cavernosum of each erection phase. The results obtained were as follows.

1) At the flaccid state the sinusoid space of the corpus cavernosum contained a small amount of blood. Therefore, it is presumably that there was a blockade at the vascular tree in the corpus cavernosum.

2) In the tumescence phase the blood inflow to the sinusoid space suddenly increased by the relief of the blockade in the helicine artery. In this phase, the blood outflow from the sinusoid space also increased according to the inflow increment.

3) In the erection phase, the resistance to the blood inflow due to the passive contraction of the outflow pathway resulted in a gradual decrease of the blood inflow, but at the point where the inflow was equal to the outflow, it was kept in a steady state. The level of this point was still higher than that in the flaccid state.

4) In the detumescence phase, a sudden stop of the blood inflow and a transient increase of the blood outflow concomitantly occurred and the reopening of the blood outflow pathway was thought to be necessary for the prompt penile detumescence.

要旨：18歳～21歳（平均19.8歳）の健康成人男子ボランティア5名により，勃起時に露出型関電極酸素電極法による静脈洞内脱分極電流値変動と陰茎周径変化を同時記録し，勃起各相における両者の関係を確認した後，以下の2つのイヌ実験モデルを用いた検討をおこなった。

第1番目のイヌ実験モデルでは，静脈洞内に各種注入速度で血液を灌流し，この際に生じる脱分極電流値変動を露出型関電極（八木式）で記録し，脱分極電流値が，静脈洞内へ流入する動脈血の流入速度に対応した変動を示すことを確認した。次いで，第2番目のイヌ実験モデルでは，陰茎モデルを作製し，ヒト陰茎において確認された勃起各相の静脈洞内脱分極電流値変動と陰茎周径変化の関係を陰茎モデルにて再現した。これら，再現時の陰茎モデル血液流出路および血液流入路の状態は，ヒト陰茎における勃起各相の血流動態に一致すると考えられ，以下の結果が得られた。

- 1) 弛緩状態にあるヒト陰茎海綿体静脈洞内には，少量の血液が流入しているにすぎなかった。
- 2) ヒト陰茎勃起 tumescence phase では，陰茎海綿体静脈洞への流入血液量が急激増加した。またこの phase では，流入血液量の増加にともない，静脈洞からの流出血液量も増加した。
- 3) ヒト陰茎勃起 erection phase では，血液流出路の受動的閉塞による流入血液量への抵抗が静脈洞への流入血液量を徐々に減少させた。しかし流入血液量と流出血液量が等しくなった時点で安定し，この値は非勃起時よりも高値であった。
- 4) ヒト陰茎勃起 detumescence phase は，陰茎海綿体静脈洞への流入血液量の減少が生じるとともに，血液流出路に生じた閉塞が解除され，流出血液量が増加した。

結 言

著者らは，ヒト陰茎勃起時における陰茎海綿体組織循環動態の観察に，露出型酸素電極法の一つである八木式酸素電極法¹⁾²⁾を利用してきた³⁾⁴⁾。このタイプの酸素電極法では，安静時（resting level）に，関電極と不関電極間を流れる脱分極電流の大きさは，脱分極剤（組織溶存酸素）が関電極へ向かう拡散速度により規定され（拡散支配），したがって組織溶存酸素量（酸素分圧）に比例した値を示す。しかしながら，関電極への脱分極剤の移動に，拡散以外の要素が加わる場合（拡散支配を逸脱する場合），脱分極電流値が組織溶存酸素量と比例しなくなる。このような状況は，組織代謝量および酸素供給量（血液循環量）が変化する場合に出現する。八木式酸素電極法では，適応限界の検討²⁾より，“組織代謝量よりも酸素供給量（血液循環量）の変化を脱分極電流値の変動として表現しやすい”特性が示されている。本法を陰茎海綿体組織で用いた場合，脱分極電流値変動の原因を静脈洞への流入血液量変化による flow effect⁵⁾と見なすことができ，静脈洞への流入血液量変化の指標として利用することができる。著者らは，本法の有する。このような特性を利用し，ヒト陰茎勃起時における陰茎の循環動態を観察し，勃起メカニズムについて検討を加えてきた。しかしながら，検討をすすめていくうちに，陰茎海綿体での脱分極電流値の測定では，他組織の測定とは異なり，静脈洞内に血液が流入してからいったん貯留し，その後流出してい

くので，その影響が flow effect⁵⁾として脱分極電流測定上に表現される可能性が示された。

本報では，この点につき，さらに詳細を検討するため，ヒト陰茎モデル（自作）を用い，ヒト陰茎勃起各相⁶⁾における陰茎海綿体静脈洞内脱分極電流値変動の原因を解析した。その結果，正常人男子の勃起メカニズム，特に陰茎海綿体静脈洞から流出する血液量変化について興味ある知見が得られたので報告する。

実験方法

1. ヒト陰茎勃起各相における陰茎海綿体脱分極電流値変動と陰茎周径変化の同時記録（Fig. 1）

ヒト陰茎勃起時に，露出型関電極酸素電極法による陰茎海綿体静脈洞内脱分極電流値（以後，静脈洞内脱

Fig. 1 Simultaneous recording of depolarizing current alteration and penile circumference change.

分極電流値と称す)変動と、陰茎周径変化の記録を同時におこない、勃起各相(Wagnerら⁶⁾の分類に準じ、tumescence phase, erection phaseおよびdetumescence phaseに分ける)における両者の関係を明らかにした。

18歳から21歳(平均19.8歳)の健康成人男子ボランティア5名を対象とし、ポータブルビデオカセットレコーダー β II(ソニー株式会社製)を用い、視覚および聴覚からの性的刺激(auditory and visual sexual stimulation: AVSS)を与え、陰茎の勃起状態を誘発した。この際の静脈洞内脱分極電流値変動および陰茎周径の変化は、八木式酸素電極法¹²⁾と陰茎周径変化記録法⁷⁾を用い、同時記録した。酸素電極法による組織脱分極電流値の記録は、前報³⁴⁾とほぼ同じ方法を用い、直径300 μ および1,000 μ の同エナメル線をそれぞれ関電極と不関電極として使用した。また、不関電極は左足趾に固定し、両電極間に印加電圧0.6Vの連続負荷を行なった。なお、静脈洞内脱分極電流値は高感度直流プリアンプAD-610G(日本光電工業社製)を介し、記録計WT-645G(日本光電工業社製)にて、紙送り速度25mm/minもしくは30mm/minで記録した。ただし、実際には酸素電極法基本回路内抵抗が一定のため、脱分極電流値変動は実測電圧値の変動として表現されている。陰茎周径は、亀頭部冠状溝よりやや近位部の陰茎に、マーキュリーストレインゲージを1本装着し、夜間陰茎勃起測定用トランスデューサーS482OT(日本光電工業社製)にて、静脈洞内脱分極電流値と同時に記録した。更に、この間の血圧は、上腕にて、リバロッチ式血圧測定を用い、頻回に測定した。

2. 陰茎海綿体静脈洞内脱分極電流値変動の原因解析

陰茎海綿体組織において、露出型酸素電極法にて測定した脱分極電流値が流入血液量の増加程度に対応した変動を示すかどうかを確認した後、ヒト陰茎勃起各相における静脈洞内脱分極電流値変動の原因解析をおこなった。自作による陰茎モデルにて、陰茎モデル内の灌流血液の酸素分圧を変化させ(実際には、動脈血もしくは静脈血を陰茎モデル内に灌流させる)、また陰茎モデルの流入血液量および流出血液量を調節することで、勃起各相における両者の関係を、陰茎モデル内脱分極電流値変動と陰茎モデル周径変化の関係において、再現を試みた。両者の関係が再現された場合の、陰茎モデル血液流入路および血液流出路の状態、灌流血液の性状(実際には、動脈血もしくは静脈血の違い)

は、勃起各相における陰茎内の条件に一致する。すなわち、陰茎モデルにて、勃起各相における静脈洞内脱分極電流値変動の主要原因が解析されたことになる。

A) 陰茎海綿体静脈洞内流入血液量変化と静脈洞内脱分極電流値変化との関係(Fig. 2)

オス雑種成犬陰茎海綿体静脈洞内への流入血液量を任意に変化させ、この際生じる静脈洞内脱分極電流値変動を記録した。オス雑種成犬(10kg)をサイアミールナトリウム(10mg/kg)にて静脈麻酔した後、仰臥位に手術台に固定し、白井ら⁸⁾の方法に準じ、両側陰茎海綿体を陰茎皮膚より露出した。右陰茎海綿体の末梢側より、19ゲージ翼状針を静脈洞内へ注入できるように準備した後、静脈洞内脱分極電流値測定を目的に、八木式酸素電極法関電極2本を刺入固定した。酸素電極法による組織脱分極電流値の記録は、実験1と同様におこなった。19ゲージ翼状針より、静脈血、動脈血、および高濃度酸素吸入(4l/minの流量の純酸素を経鼻管より犬に吸入させた時に採血した動脈血、以後、酸素吸入時動脈血と称す)を注入ポンプ(ME-STC521; テルモ株式会社製)を用い、各種流入速度1, 2, 4, 6, 8および13ccで約1分間灌流し、この際生じる静脈洞内脱分極電流値変動を記録した。なお、血液灌流速度は、犬陰茎が人為的勃起(artificial erection)の状態

Fig. 2 Schema of dog model I. By inserting 2 electrodes (A and B), the depolarizing current alterations were observed by various blood perfusion rates through the 19 gage butterfly needle.

Fig. 3 Schema of dog model II. (Penile circulation model) Rabler chamber is regard as equivalent to corpus cavernosum body. Inflow and outflow are considered to be equivalent to penile artery and vein.

を起こさない範囲内にとどめた。陰茎海绵体への灌流用に採取した血液にはヘパリン1ccを混入し、注射器内で血液の凝固が起こらないようにし、その少量(2cc程度)を用い、あらかじめクラーク電極(E9001)酸素電極法(ABL-II; ラジオメーター社製)にて同血液の酸素分圧絶対値を測定した。

B) 陰茎モデルの構造および陰茎モデル内脱分極電流値の測定法 (Fig. 3)

著者らが、自作した陰茎モデルは、Fig. 3に示すごとく、スポンジ入りゴム性チャンパー(陰茎海绵体に見たてた、容量約10cc程度のゴム性チャンパー)に、血液流入路と血液流出路に相等する内径3mmの塩化ビニール性チューブが2本接続してある。このチューブには、血液量を調節できる血液調節バルブが装着してある。血液流入路には、雑種成犬の大腿動脈と大腿静脈内に留置した塩化ビニール性チューブの両者を、三方活栓で接続し、大腿動脈血もしくは大腿静脈血を選択的に流入出来るように準備した。血液流出路は、大腿静脈内に留置した塩化ビニール性チューブと接続した。酸素電極法の関電極は陰茎モデル内に、また不関電極は雑種成犬皮下に固定した。陰茎モデルの周径変化は、夜間陰茎勃起測定用トランスデューサーにて記録した。

C) 陰茎モデルによるヒト陰茎勃起各相における静

脈洞内脱分極電流値変動と陰茎周径変化の関係再現

(1) 流入血液量の変化による tumescence phase の再現。陰茎モデル内に少量の動脈血を灌流し、これを動脈血性弛緩状態と定め、この状態に動脈血を急速灌流させ、流入血液量の増加によって陰茎モデルの体積増加(充血性勃起状態)を惹起した。次に、それとは別に、陰茎モデル内に少量の静脈血を灌流し、これを静脈血性弛緩状態と定め、これらの状態から、それぞれ動脈血を急速灌流させ充血性勃起状態を惹起した。これらの観察中、陰茎モデル内脱分極電流値変動と陰茎モデル周径変化を同時記録し、陰茎勃起 tumescence phase における静脈洞内脱分極電流値変動と陰茎周径変化の関係と比較した。

(2) 流出血液量変化による erection phase および detumescence phase の再現。陰茎モデルを充血性勃起状態とし、この状態から血液流出路に閉塞状態を起こし、陰茎モデル内脱分極電流値変動と陰茎周径変化の関係にて、ヒト陰茎勃起 erection phase における静脈洞内脱分極電流値変動と陰茎周径変化の関係を再現した。ひきつづき、陰茎モデルへの流入血液路の遮断および血液流出路閉塞状態の解除を順次におこない、同時に、記録を続けながら、ヒト陰茎勃起 detumescence phase の静脈洞内脱分極電流値変動と陰茎周径変化の関係を再現をおこなった。

実験結果

1. ヒト陰茎勃起各相における静脈洞内脱分極電流値変動と陰茎周径変化の関係 (Fig. 4)

被験者 5 名において、充分な勃起 (full erection) が誘発された。ヒト陰茎勃起 tumescence phase では、陰茎周径が徐々に、増加した。その間、静脈洞内脱分極電流値は、陰茎周径の開始とともに増加を開始したが、静脈洞内脱分極電流値上昇のピークは勃起開始点より

やや遅れ、tumescence phase の後半に出現した。ヒト陰茎勃起 erection phase に入ると陰茎周径はほぼ一定となり、plateau を形成するのに対し、静脈洞内脱分極電流値は、ある一定レベルまで徐々に減少した。ヒト陰茎勃起 detumescence phase に際しては、静脈洞内脱分極電流値の一過性の上昇が認められ、その後、陰茎周径の減少とともに下降した。上腕で測定した血圧は、全例において、陰茎勃起とともに収縮期血圧が軽度上昇を認めた。

2. 静脈洞内脱分極電流値変動の原因解析

A) 静脈洞内血流変化と静脈洞内脱分極電流値変動との関係 (Fig. 5a, 5b). 各種血液 (静脈血、動脈血および酸素吸入時動脈血) の酸素分圧は、静脈血が 40 mmHg, 動脈血が 78 mmHg, 酸素吸入時動脈血が 230 mmHg であった。静脈血 ($PO_2=40$ mmHg) をいろいろの速度 (1, 2, 4, 6, 8, 13 cc) で静脈洞内を灌流しても、静脈洞内で測定した脱分極電流値はほとんど変動しないのに対し、動脈血 ($PO_2=78$ mmHg) を灌流した場合、灌流速度に対応した脱分極電流値の変動を示した。酸素吸入時動脈血 ($PO_2=230$ mmHg) の場合には、動脈血 ($PO_2=78$ mmHg) 灌流時に比較し脱分極電流値変動は大きく、血液灌流速度の増加とともに脱分極電流値変動も大きくなるが、両者の関係は、動脈血灌流時 ($PO_2=78$ mmHg) とは異なり対応した変化を示さなくなった。このように、一般的な組織内での測定において言われている露出型関電極酸素電極法の特性は、陰茎海绵体組織での測定においてもあてはまり、静脈洞内脱分極電流値変動を血流変化の指標

Fig. 5 Relations between the depolarizing current alteration and the perfusion rate of the blood. In the venous blood the depolarizing current did not change in response to the blood perfusion rate. In the arterial blood ($PO_2=78$ mmHg) the depolarizing current altered in response to the blood perfusion rate.

として利用し得ることが確認された。

B) ヒト陰茎勃起各相における静脈洞内脱分極電流値変動と陰茎周径変化の関係の陰茎モデルにおける再現

(1) tumescence phase. 動脈血性弛緩状態から充血性勃起を惹起した場合の陰茎モデルでの周径変化と脱分極電流値変動の同時記録を Fig. 6, 上段に示した。この場合、陰茎モデル周径の増加開始と同時に脱分極電流値は急激増加を示し、そのままピーク値に達し、以後、同レベルを維持した。これに対し、静脈血性弛緩状態から充血性勃起を惹起した場合には、陰茎モデル周径の増加開始とともに、脱分極電流値は増加を開始するが、ピークに達するまで、ある程度の時間が必要であった(Fig. 6, 下段)。この lag time は、ヒト陰

茎勃起 tumescence phase の陰茎周径変化と静脈洞内脱分極電流値変動の関係においても認められ、したがって、ヒト陰茎勃起 tumescence phase における陰茎海绵体静脈洞の血液流入路の状態は、静脈血性弛緩状態陰茎モデルの充血性勃起惹起時に再現されたことになる。なお、充血性勃起は、陰茎モデル血液流入路の閉鎖により、すみやかに弛緩状態まで復し、この際、陰茎モデル周径と脱分極電流値は平行な変動を示した。

(2) erection phase および detumescence phase. 陰茎モデルで充血性勃起状態を保ち、さらに陰茎モデル血液流出路に閉塞状態をおこし、ヒト陰茎勃起 erection phase の再現を試みた。この場合、陰茎モデルを、陰茎海绵体白膜のような膜で周囲を覆い、体積増

Fig. 6 Response of chamber polarogram (a) and chamber circumference curve (b) in penile circulation model to arterial blood inflow increase. A is arterial flaccid penile circulation model and B is venous flaccid state penile circulation model. Blood flow regulation valve in inflow pathway was opened at mark "open" and closed at mark "close".

Fig. 7 Response of chamber polarogram (a) and chamber circumference curve (B) in venous flaccid penile circulation model to arterial blood inflow change and outflow change. Point a is where inflow pathway blood flow regulation valve was opened. Point b is where outflow pathway blood flow regulation valve was closed. Point c is where inflow pathway blood flow regulation valve was opened. Point d is where outflow pathway blood regulation valve was opened.

加がそれ以上に起こらないような状況を設定すると、血液流出路の閉塞による陰茎モデル周径の増加は、内圧の上昇に転換されることが推測される。ヒト陰茎勃起 erection phase における静脈洞内脱分極電流値変動と陰茎周径変化の関係は、この場合に再現されたことになる。したがって、ヒト陰茎勃起 erection phase には、陰茎海綿体血液流出路の閉塞状態がゆるやかな速度で生じ、その結果、陰茎海綿体内圧上昇と tumescence phase に増加した陰茎海綿体流入血液量の二次的な減少が起きるものと考えられた。

ヒト陰茎勃起 detumescence phase については、血液流入路を弛緩状態時まで閉鎖して、陰茎モデルへの動脈血灌流を停止させても、陰茎モデル内脱分極電流値は、ゆっくりとした速度で減少するものの、周径は流入血液量減少に応じた減少を認めなかった (Fig. 7)。引き続き、陰茎モデル血液流出路の閉塞状態を解除すると、周径は、すみやかに減少した。しかしながら、陰茎モデル内脱分極電流値は一過性の上昇を示し、その後、勃起前の値に復した。この血液流出路開放により生じる脱分極電流値の一過性の上昇は、実際の陰茎海綿体静脈洞内における測定においてその出現が確認されており、脱分極電流値が流出血液量変化によっても影響される場合のある事を示すものである。この所見はヒト陰茎勃起 detumescence phase において、静脈洞の血液流入路遮断と血液流出路の開放が同時に発生することを示すものと考えられた。

考 案

陰茎海綿体静脈洞内の動脈血灌流量を任意に変化させながら、露出型閃電極酸素電極法による陰茎海綿体静脈洞内脱分極電流値の記録をおこなうと、脱分極電流値は、静脈洞への灌流動脈血液量に比例した変動を示す (Fig. 5a, 5b)。したがって、露出型閃電極酸素電極法による静脈洞内脱分極電流値変動は、陰茎海綿体組織への流入血液量変化を表現することは明らかである。しかしながら、ヒト陰茎勃起時の静脈洞内脱分極電流値変動の原因をすべて静脈洞への流入血液量変化であると見なした場合に、その時に陰茎が示す体積変化に対し矛盾した解釈となる場合の有りことは前報より示されている⁹⁾。そこで、本報では、陰茎モデルを用い、ヒト陰茎勃起各相における静脈洞内脱分極電流値の変動をモデル内脱分極電流値の動きにより再現することを試みた。その結果、陰茎モデルにより静脈洞内脱分極電流値変動の原因の解析が可能であることが明らかとなった。これら解析の結果をもとにして勃起時

におけるヒト陰茎循環動態を明らかにするとともに、勃起メカニズムについての検討をおこなった。

Conti の仮説⁹⁾では、弛緩時には陰茎海綿体静脈洞を迂回していた陰茎血流が、勃起開始時に、血流の迂回路である A-Vshunt (arterio-venous shunt) の閉鎖と、静脈洞への短縮路である helicine artery の開放とにより、静脈洞へ向かい灌流を開始すると考えられている。静脈洞内を灌流する血液が、勃起開始とともに急激増加することは、すでに確認されており¹⁰⁾¹¹⁾、著者らの観察からも、また、勃起開始点と静脈洞内脱分極電流値変動の開始点とが一致し、確認できた。ただし、今回の観察からは、静脈洞内脱分極電流値の上昇のピークが、勃起開始点よりやや遅れて出現することも観察され、これを陰茎モデルにて解析したところ、弛緩状態時よりすでに、静脈洞内に貯留していた血液 (静脈血) と、勃起開始とともに静脈洞へ流入を開始しはじめた血液 (動脈血) とが混合するために生じる脱分極電流値上昇の遅れ、lag time であることが明らかとなった (Fig. 6, 7)。この所見からは、逆に弛緩状態時の陰茎海綿体静脈洞内血流動態が推測され、弛緩状態時、静脈洞を灌流する血液は、ごく僅かで、この際、helicine artery は閉鎖した状態に有るものと考えられる結果であった。このように、静脈洞への血液流入路が勃起メカニズムに果たす役割の重要性については、すでに確認されている。これに対し、この間 (tumescence phase)、静脈洞から流出する血液量の変化については、研究者間で異なった結果が示され、勃起メカニズムにおける血液流出路の役割についても、いまだ確定されていない。Conti の仮説⁹⁾では、陰茎海綿体静脈洞からの血液流出路である静脈内に、多数、静脈弁 (sulcies) が存在し、勃起時には、この静脈弁が閉鎖することで、静脈洞から流出する血液量を減少させ、勃起メカニズムに能動的な役割を果たすものと考えられてきた。ところが、Newman ら¹²⁾は、死体陰茎を用いた人工勃起の検討から、血液流出路に能動的閉鎖が起こらなくても、流入血液量の増加のみにて陰茎の勃起状態を惹起し得ること、また静脈洞への流入血液量増加は、静脈洞からの血液流出路に受動的閉鎖を引き起こし、そのため、静脈洞への初期流入血液量よりも少量の血液量で勃起状態が維持されている可能性を示した。すなわち、Conti の仮説⁹⁾では、静脈洞からの血液流出路が能動的機能を有すると考えられていたのに対し、Newman ら¹²⁾は、静脈洞からの血液流出路は受動的機構によって、閉塞する可能性を示した。それ以降、

ヒト陰茎勃起 tumescence phase の循環動態の検討と同様、detumescence phase の循環動態を明らかにしていくことも、また、勃起メカニズムを解明していく上で、重要な手掛かりになるものと考えられる。勃起陰茎の弛緩 (detumescence) が、単に、静脈洞への流入血液量の変化によってのみ生じてくるのか、それとも、他の要因、たとえば、血液流出路の変化や陰茎海綿体組織内に存在する平滑筋の作用等が関係してくるのかどうか、tumescence phase のメカニズムと同様、興味深い点が多い。しかしながら、detumescence のメカニズムについて論じた報告は意外にも少ない¹⁷⁾。Wagner ら¹³⁾は、isotope penography の検討より、detumescence phase には、静脈洞への流入血液量の減

少と同時に, tumescence phase に生じた血液流出路の能動的閉鎖が解除され, 流出血液量が増加すると述べており, Lue ら¹⁶⁾も同様な循環動態を示している。この点については, 著者らの観察でも, detumescence phase に陰茎周径の減少とは反対に, 静脈洞内脱分極電流値の一過性の上昇を認め, 陰茎モデルにて, 血液流出路の開放の起きることを確認している。したがって, detumescence phase では, 静脈洞への血液流入路の閉鎖と, 血液流出路閉塞の解除が同時に発生していることになり, Wagner ら¹³⁾や Lue ら¹⁶⁾の述べる血液動態とはほぼ一致する結果が得られた。ただし, 著者らがおこなった陰茎循環動態観察法の結果のみで, detumescence phase に生じる血液流出路閉塞の開放に能動的機構が関与するかどうかを断定することは困難で, 今後, tumescence phase における血液流出路の能動的閉鎖機構の有無についての検討とともに, この点に関しても検討していく必要が有るものと考えられた。

結 語

露出型関電極酸素電極法による陰茎海綿体組織脱分極電流値変動とマーキュリーストレンゲージによる陰茎周径変化の同時記録をヒト陰茎勃起時に行い, 両者の関係を明らかにしたうえで, 勃起各ステージ(tumescence phase erection phase, detumescence phase)における両者の関係を自作陰茎モデルのモデル内脱分極電流値変動とモデル周径変化の関係にて再現した。この時の陰茎モデル血液流入路および血液流出路の状態をもって実際のヒト陰茎血流路の状態を検討したが, その結果, ヒト陰茎勃起時の血流動態について, 以下の結論が得られた。

1. 弛緩状態にあるヒト陰茎海綿体静脈洞内に含まれる血液は静脈血性であり, この場合のヒト陰茎海綿体静脈洞への血液供給量は, わずかであると推測された。
2. ヒト陰茎勃起 tumescence phase は, 陰茎海綿体静脈洞への流入血液量の急激増加によって開始し, また流入血液量の増加にともない流出血液量も増加する。
3. ヒト陰茎勃起 tumescence phase に増加した陰茎海綿体静脈洞からの流出血液量は, election phase に入ると血液流出路の閉塞により, 徐々に減少を示した。これにともない, tumescence phase で増加した静脈洞への流入血液流も減少するが, しかし流入血液量と流出血液量が等しくなった時点で安定し, この値は

非勃起時よりも増加したレベルであった。

4. ヒト陰茎勃起 detumescence phase は, 陰茎海綿体への流入血液量の減少とともに, 血液流出路においていた閉塞の解除が生じ, 流出血液量も増加した。

尚, 本論文の要旨は, 第74回日本泌尿器科学会総会で報告した。

文 献

- 1) Yagi, S., Kojima, K., Mochiki, F. and Tanaka, T.: Enameled Cu wires as the oxygen electrode in place of Pt wires. J. Iwate Med. Ass., 15, 193, 1963.
- 2) Yagi, S., Mikami, G. and Kojima, K.: Applicability of the oxygen electrode in biological and medical researches. Jap. J. Med. Progress., 49, 235, 1962.
- 3) 青木 光: 酸素電極法でみたヒト陰茎循環動態: I 報. 正常者における観察. 日泌尿会誌, 74, 206—217, 1983.
- 4) 青木 光, 佐々木英夫, 佐久間芳文, 鈴木信行, 瀬尾喜久雄, 久保 隆, 大堀 勉, 鈴木 安: 酸素電極法でみたヒト陰茎循環動態: II 報. 循環動態よりみた脊髄損傷患者の反射性勃起出現に関与する要因について. 日泌尿会誌, 75, 367—378, 1984.
- 5) 後藤文男: 電極法による酸素測定. 講談社, 東京, p. 110—120, 循環血液中の酸素分圧連続記録, 1976.
- 6) Wagner, G. and Green, R.: Impotence. Plenum Press, New York, p. 25—36, 1961.
- 7) 赤沢誠二: 勃起不全の診断. 第4報. 夜間陰茎勃起現象記録の判読基準. 日泌尿会誌, 75, 1415—1422, 1984.
- 8) 白井将文: 男性インポテンスに関する研究(第IV報: 勃起と末梢神経(1)). 日泌尿会誌, 64, 1—4, 1973.
- 9) Conti, G.: Lerection du penis human et ses bases morphodogicovascularies. Acta Anat., 5, 217—262, 1952.
- 10) Shirai, M., Ishii, N., Mitsukawa, S., Matsuda, S. and Nakamura, M.: Hemodynamic mechanism of erection in the human penis. Arch. Androl., 1, 345, 1978.
- 11) Holmquist, B. and Olin, T.: Angiography of the internal pudendal artery at erectrical stimulation of the pelvic nerves and at injection of posterior pituitary hormones. Scand. J. Urol. Nephrol., 3, 291—296, 1969.
- 12) Newman, H.F., Northup, J.D. and Devline, J.: Mechanism of human penile erection. J. Inv. Urol., 1, 350—353, 1966.
- 13) Wagner, G. and Uhrenholdt, A.: Blood flow by clearance method in the human corpus cavernosum.

- nosum in the flaccid and erect states. In: Vasculogenic Impotence: Proceedings of the 1-st International Conference on Corpus Cavernosum Rerasailarization: Edited by A.W. Zorogniotti and G. Rossi. Springfield, Illinois: Charles C. Thomas, Publishers, Chapt, 6, p. 41—46, 1980.
- 14) Meehan, J.P. and Goldstein, A.M.B.: High pressure with in corpus cavernosum in man during erection. *Urology*, 21, 385—000, 1983.
- 15) Fitzpatrick, T.J. and Goldstein, M.B.: The extracorporeal circumflex venous valvular system. In Transcript of the American Urological Association Meeting, Abstract 391, p. 181, 1981.
- 16) Lue, T.F., Takamura, T., Schmidt, R.A., Palubinskas, A.J. and Tanagho, E.A.: Hemodynamics of erection in the monkey. *J. Urol.*, 130, 1237—0000, 1983.
- 17) Alan, H.B.: Management of male impotence, p. 19—20, Williams and Wilkins, London.

(1987年4月30日受理, 特別掲載)