

臨床懇話会

## 第 366 回東京医科大学臨床懇話会

### 当院におけるロボティックサージェリーの現状

#### Robotic Surgery in our hospital

日 時: 平成 18 年 12 月 14 日 (木) 18:00~19:00

場 所: 東京医科大学病院 6 階 臨床講堂

担 当: 東京医科大学泌尿器科学講座

関連診療科: 東京医科大学病院心臓外科

東京医科大学病院麻酔科

司 会 者: 秦野 直 (泌尿器科学講座教授)

発 言 者: 吉岡 邦彦 (泌尿器科学講座講師)

西山 隆久 (麻酔科)

室園美智博 (麻酔科)

秦野: それでは、第 366 回東京医科大学臨床懇話会を始めたいと思います。

今日のテーマは「当院におけるロボティックサージェリーの現状」ということで、最初に泌尿器科の吉岡がお話しします。その後、麻酔科から西山先生のコメントをいただきたいと思います。

それでは、よろしくお願ひします。

吉岡 (泌尿器科): 昨年の 12 月に心臓外科が「ダビンチ」という手術用ロボットを購入しました。実は、全米では泌尿器科において最も活用されているロボットで、ぜひ泌尿器科でも使わせていただきたいとお願ひして、使用できることになりました。

このロボットを使うにはライセンスが必要です。我々は、私と秦野教授、オペ室の新里・斎藤看護師の 4 人でチームを組みまして、本年の 3 月にオハイオ州立大学の泌尿器科に赴き、そこでトレーニングを受けて、ダビンチを使って臨床で手術をしていいというライセンスを得てきました。これは日本ではまだ私たちだけです。

その後 5 カ月間の準備期間を置きまして、8 月 2 日に本邦第 1 例の、このロボットを用いた前立腺癌に対する根治術を行い、先週までに 14 例のケースを完遂しています。

今日は、その報告と泌尿器科で行っているロボット手術について簡単に説明したいと思います。

#### 前立腺癌の現状

まず各癌の罹患率の増加予測を見てみます。2015 年にはどうなっているかという、前立腺癌は結腸に次いで第 2 位で、どんどん増えている病気です。

年齢別に罹患率を見ると、年齢が上がるに従って罹患率は増えていきます。今後高齢化が進みますので、前立腺癌の患者さまはますます増えていくと思われるます。

患者さまの数が増えていく背景には、腫瘍マーカー PSA の発見が欠かせません (表 1)。1995 年、PSA の検査が一般的にスクリーニングとして行われるようになってから、ますます患者さまの数が増えており、かつ、早期癌が見つかる割合が増えてきました。1995 年以降は、見つかる前立腺癌の 90% は早期癌であり、早期癌であれば、放射線や手術療法の適用になります。今後は、こういった手術が適用になる前立腺癌の患者さまがますます増えていくことが予想されています。

#### 前立腺癌に対する手術療法

前立腺癌に対する手術療法は、現在、2 つあります。

表1 患者数激増の背景

1. 患者母集団の増加：高齢者人口の増加
2. 発見率の増加：診断効率の改善
* 腫瘍マーカー PSA の発見
* 生検方法の改良：バイオプティーガン 経会陰+経直腸 多部位生検
* 診断機器の改良：経直腸エコー、MRI
PSA の検査が一般的にスクリーニングとして行われるようになってから患者数が増加してきた。

表2 腹腔鏡下前立腺摘除術

<ul style="list-style-type: none"> <li>• 自由度の低い鉗子</li> <li>• トロッカーを支点とした counterintuitive movements (不自然な動き)</li> <li>• 遠近感のない2次元画像</li> </ul> <p style="text-align: center;">↓</p> 剝離操作、血管処理、膀胱尿道吻合など、さまざまな角度での回転運動操作が多い前立腺の手術にはそもそも向かない。
腹腔鏡下で前立腺摘除術を行うのはさまざまな困難を伴う。

1つは従来から行われている開放手術です。当院でも以前から行っている手術です。もう1つは、1997年ごろから登場した腹腔鏡下手術、いわゆるラップ (Lap) と言われているものです。ただ、ラップ (腹腔鏡による手術) の前立腺手術は、長いラーニングカーブを要してやっと開放手術のエキスパートと同じぐらいの手術ができるかできないかという非常に困難な手技なので、結局、アメリカ、日本ではほとんどはやらず、ごくごく少数の泌尿器科医が行っているにすぎない手術になっています。

ラップの手術がどうしてもやらなかったのか、その理由をちょっと挙げてみました (表2)。まずラップというのは、長い、自由度の低い、硬い鉗子を使わないといけな。あとは、トロッカーを視点として不自然な動き、自分が上に手を上げると鉗氏は下に動くという動き方をします。術者はモニターを見ながら手術するわけですが、このモニターが二次元画像で遠近感がつかめない。

こういうデメリットがある中で、前立腺癌の手術というのは血管の処理、膀胱尿道吻合等、いろいろな場面で、いろいろな方向に回転運動をする操作が必要となります。従来のラップの鉗子はそもそも多方面への回転運動には向いていないと考えます。

アメリカにおける手術療法の変遷を挙げてみました (表3)。1996年ぐらいまでは開放手術が文句なく100%でした。97年ごろ腹腔鏡が入ってきて、若干移行する方もいましたが、結局は現在1%弱です。ロボット手術は2000年ごろに報告され、それから急増して、現時点では開放手術とロボット手術がほぼ半々という状況になっています。恐らく来年には、アメリカでは8割方、前立腺癌の手術はこのロボットを用いて行われるであろうと予測されています。

それでは、このロボット手術の利点は何でしょう

表3 アメリカにおける手術療法の変遷

	~1996	1997	2001	2006
開放手術	100%		95%	50%
従来の腹腔鏡下手術		0%	5%	1%
ロボット手術			0%	50%

前立腺全摘除術に対する米国でのロボット手術の割合は急増している

か。

術者が見る画面が完全な3Dで、遠近感が非常によくつかめる。実際に目で見ているのと同じような感覚で術野が見える。かつ10倍の拡大視野で見ている。まずこれが1つの利点です。そして、鉗子の自由度が高い。いろいろな方向に自分の手と同じぐらい器用に回ります。開放手術にたけている人であれば、開放手術とほぼ同じ術式で、自分がやっているのと同じ感覚で手術ができます。ラップで問題となっていたラーニングカーブの問題も、ロボット手術は非常に短期間に習得できる技術であり、それがアメリカで爆発的に増加している理由になっています。

開放手術、ラップ、ロボットと3種類の手術を説明しましたが、それぞれ頑張ってエキスパートになれば、皆さんそこそこいい手術をします。それではエキスパート同士を比べてどうかと考えた場合、腹腔鏡と比べるとすべての面でロボット手術が上回る。開放手術と比較しても、やはりロボット手術のほうが上回ることとなります (表4)。ですから、恐らく腹腔鏡下の前立腺摘除術は消えていくものであろうと考えています。ただ、開放手術は生き残る場面が少しあります。それは、ロボット手術というのは気腹して手術をするために、既往症としておなかの手術、腹腔内をあけて大きな手術をしている場合、あるいは呼吸機能が悪くて全身麻酔がかけられないような状況では手術がで

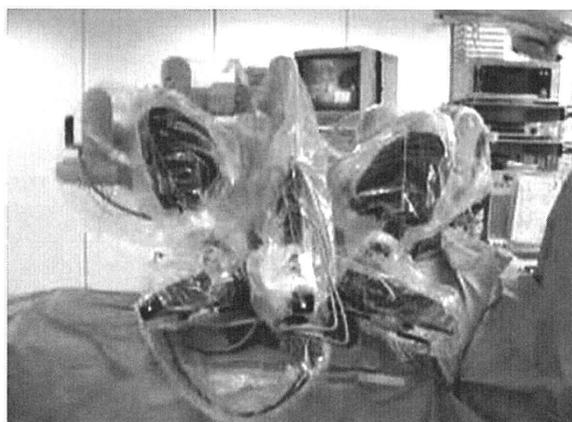
表 4 ロボット手術の利点

- Three-dimensional visualization with 10X magnification
- Wristed instrumentation (Six degrees of freedom, intuitive and finger-controlled movements)
- Comfortable seat for the surgeon



開放手術とほぼ同じ感覚で手術ができる。  
自分が小さくなって術野に入った感覚。

ロボット手術は従来の開放手術や腹腔鏡による手術と比べ多くの利点がある。



ビデオ ロボットアームはコンソールのコントローラによって遠隔操作され、精密な動きをする。

きない。そういった症例でも、開放手術のエキスパートであれば腰椎麻酔で手術ができてしまう。また、腹腔内を経由しないで、後腹膜腔で手術ができる利点を生かして、ロボット手術ができないケースでは開放手術というのが、今後の発展の方向だと思っています。

今、アメリカでどのぐらいダビンチが導入されているかという、全米で 450 台以上入っていると言われています。アメリカでは既に前立腺癌の手術は 7 万件以上行われています。

ヨーロッパは少しおくらせていますが、今年の 3 月までに 100 台以上入っています。

アジアは非常におくらせていまして、日本、韓国、台湾、シンガポール、タイ、インドに入っている。日本の 5 つのうち 1 つは代理店が持っているもので、実際に持っている施設は 4 カ所です。この中で泌尿器科が使用している施設は、アジアの中で当院も合わせて 4 施設だけです。

ここで、ダビンチがどういうものかを説明するためにビデオを用意しました。これは、ダビンチの会社である Intuitive Surgical 社がホームページに出しているものですが、ちょっとご覧ください。

表 5 本邦初 daVinci prostatectomy 14 例の経験

case	operative time (daVinci)	blood loss containing urin (ml)	transfusion (ml)
1	134	489	0
2	340	1,000	400
3	233	220	0
4	214	350	0
5	210	325	0
6	405	700	0
7	273	250	0
8	287	430	0
9	267	370	0
10	195	120	0
11	251	800	0
12	246	520	0
13	150	250	0
14	120	0	0
平均	236.4	416.0	

当院でのこれまでの手術例では出血量が非常に少ない。

術者はコンソールという場所に座って、三次元画像を見ながら、自分の胸の前にある空間でロボットをコントロールする 2 つのコントローラーを両手でつかんで、それを操作します。

それが、患者さんの横にある機械に有線でつながっており、術者の動きをリアルタイムで、ほぼ同じような動きで再現してくれます。

画像は完璧な 3D です。

コントローラーでロボットアームを動かしますが、非常に精密な動きをします。非常に器用なことができるということがお分かりになりましたでしょうか。

8 月 2 日から 12 月 7 日までに秦野先生と 2 人で 14 例、前立腺癌に対する根治的前立腺摘除術をこのロボットを用いて行いました (表 5)。最後の 13 例目、14 例目はオハイオ州立大学から、この手術のエキスパートで、1 人で 1,500 件やってらっしゃるといふパテル先生をご招待して、指導していただきながら手術を行いました。

この手術が一般的にどの程度の時間がかかって、出血がどうなのかというのは分からないとは思いますが、14 例目は手術時間が 2 時間で、出血がほぼ 0 でした。これは実は驚異的な数字です。この短いラーニングカーブ、10 例そこそこでここまでの結果が残ってしまうというのがロボット手術の特徴で、ラップにはなかった点です。

## ロボット手術の問題点

今後の問題点は、ダビンチはまだ厚生労働省の承認を受けていません。ですから、費用の問題が絡んできます。今後どのようにして手術を行っていくか。今は病院に出していただいています、今後件数を重ねていった場合にずっと出していただくわけにもいかないので、その辺の方針をどうするか。それが1つの問題点です。

あとは、トレーニング上の問題があります。通常の開放の手術でもそうですが、ふだんから練習しなければうまくならない。いかにロボットアームを自分の手と同じように使えるか、それには実際にダビンチを用いて練習しなければうまくはなれない。今はオペ室に設置していません。裏に置いてあって、練習する時にわざわざ持ち出して、また終わったら片づけるという状態です。アメリカでは必ず1つのオペ室に設置しており、練習も気軽にできます。精密機械ですのであまり移動はよくないということで、1つの部屋に設置しておくということが今後の課題かと思っています。

あとは専属スタッフの問題です。アメリカに研修に行った時に実際の手術を8例見てきましたが、8例すべてが同じスタッフで行われていました。これは1年通してずっとそうです。今、体制の問題に口をはさんでもしょうがないのですが、いつも何をやるべきか分かっている人が、迅速にさまざまなことをルーチンワークとしてやっていく。それによって手術時間も短くなるし、患者さまもハッピーであるということで、今後の我々の目標として、ナースも含めて専属スタッフというものを視野に入れて考えています。

いろいろ問題点はあるのですが、今のところ本邦初で、この手術をやっているのは当院だけです。このロボットが非常に優秀であることは明白ですので、今後どんどん導入する施設も増えてくると思いますが、当院は可及的に件数を増やして、さらにこの手術を洗練したものにしていきたいと考えています。

**秦野:** ありがとうございます。

世界的に見ると、米国で相当進んでいて、日本は大きく立ち遅れてしまったという状況だと思います。

鉗子の動きは人の手と同じ程度の可動性があります。先端が10mmぐらいですので、自分の手が小さくなって、骨盤腔内に入ったという感じで手術が可能で、自分の手を回転させると、それと全く同じ角度で、同じスピードで回転していきますから、ほとんど自分

がそこで手術しているかのような感覚で、手術が可能になっています。

ただし、手術の時に非常に特殊な体位をとります。頭が30度下がりますので、最初にこの手術をやる時は麻酔科のほうはどうなのかということが心配になりましたので、ここで麻酔科の西山先生にお願いしたいと思います。

**西山 (麻酔科):** 最初、心臓外科からダビンチが来るというお話は聞いていたのですが、一体何が来るのか分からなくて、大慌てで準備したことを覚えていません。実際、私たちはどういうふうに麻酔をさせていただいたかを紹介します。

症例の年齢は  $62.2 \pm 6.2$  歳とやはり高齢の方が多かったです。

BMIは、麻酔をかける時、特に呼吸機能、循環機能の指標の1つとして重要ですが、 $24.0 \pm 2.5$  ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) と太っている方はいませんでした。ASA (アメリカ麻酔学会重症度) 分類では、PS1 (3例) から PS2 (11例) といずれも軽度でした。

麻酔方法は、当初は亜酸化窒素、セボフルラン、フェンタニル、次の症例から、酸素、セボフルラン、フェンタニルで11例麻酔をかけました。

その後検討して2例はプロポフォールとフェンタニルを使い、吸入麻酔薬無しの麻酔方法に変えました。麻酔時間は7時間18分 $\pm$ 45分、手術時間は5時間14分。輸液量は  $7.27 \pm 1.66$  ml/kg/hour でした。輸液は今後下げていく予定です。出血量は  $359.5 \pm 184.2$  g。これは尿量も含まれていますので、非常に成績がいいのではないかと思われました。

実際に私どもが一番心配したことは、体位に関する諸問題です。分度器で正確に30度、頭低位 (Trendelenburg 体位) にします。この時に一体循環動態や呼吸動態はどうなってしまうのだろうか。ここまで頭低位をとる手術は無く、麻酔科の立ち位置から見ると、吊るされて、逆立ちに近いような体位でした (図1)。

さらに、手術中頭低位のまま左下 (左ローテーション)、右下 (右ローテーション) の体位もありました。

手術後の眼周囲の写真です。頭低位にしているものですから、眼瞼の結膜がかなり腫れています (図2)。

ある症例の圧容量曲線で見ると、仰臥位時は、圧を  $15 \text{ cmH}_2\text{O}$  もかければ  $600 \text{ ml}$  以上の換気量をとれるわけです。ところが、頭低位にすると、 $18 \text{ cmH}_2\text{O}$  の圧をかけても半分以下、 $250 \text{ ml}$  位の換気量しかとれないという状態が起きました。

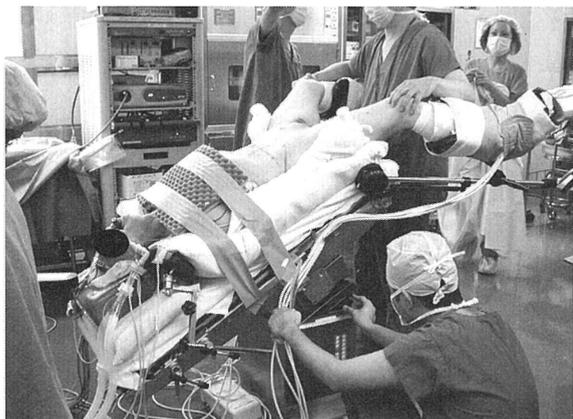


図 1 術中の体位は 30 度の頭低位とする。

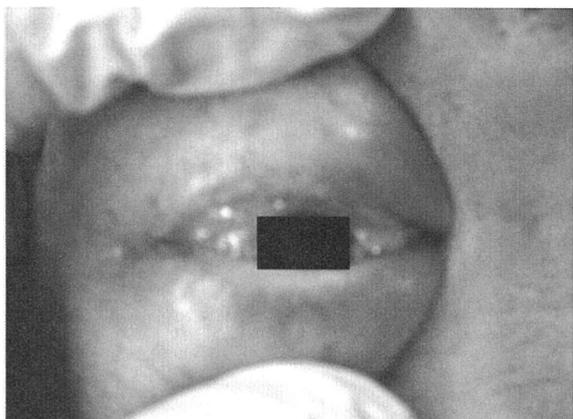


図 2 頭低位のため眼瞼の結膜に腫脹が認められる。

P/Fratio は、 $PaO_2$  を  $FiO_2$  (吸入酸素濃度) で割ったものです。頭低位 1 時間後、2 時間後、3 時間後、4 時間後、抜管後に対して挿管直後との間で有意差が出ました。要するに酸素化が悪くなるわけです。

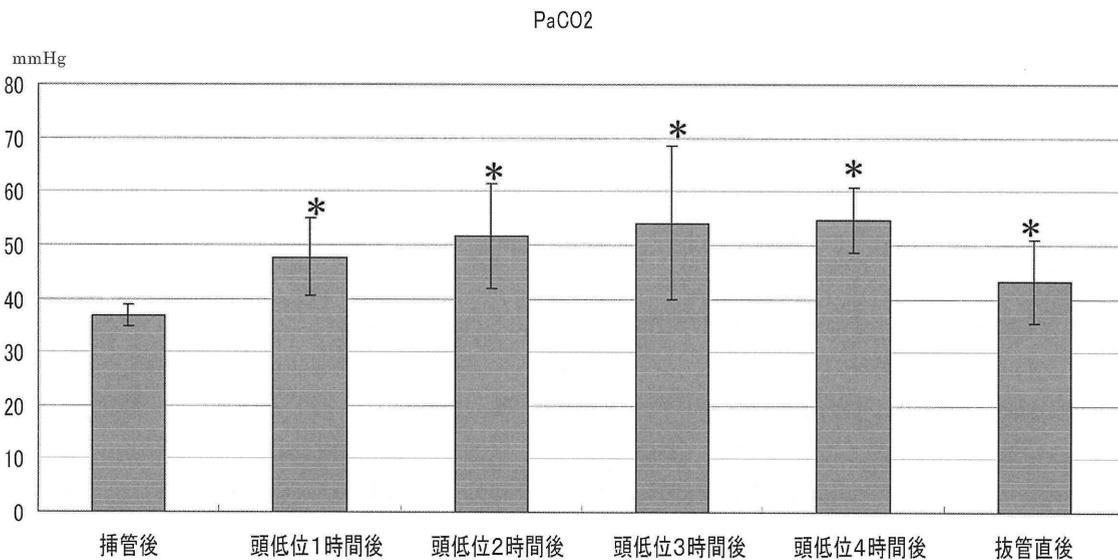
図 3 は  $PaCO_2$  の変化を示しています。CO<sub>2</sub> で気腹をすることと、頭低位で換気効率が下がるので  $PaCO_2$  が上昇するだろうということは予測されたわけですが、1 時間後、2 時間後、3 時間後、4 時間後、抜管直後で  $PaCO_2$  を測定してみると、やはり挿管直後に対して有意差が出ました。又、時間がたつにつれ、上がっていく傾向があるようでした。

実際に多くの症例では、術前は  $PaCO_2$  が 35~40 mmHg ぐらいですが、4 時間後になると 55 mmHg~60 mmHg 近くなりました。

一方で血圧ですが、収縮期拡張期とも有意な変化はありませんでした。

図 4 は術中の気道内圧 (Pmax) です。強制換気で筋弛緩の上人工呼吸管理をしていますから、気道内圧がある程度上昇します。仰臥位時に 15 mmHg だったのが、一気に 25 mmHg まで上がってしまう。それは頭低位している間ずっと続くわけです。30 mmHg 以上になると気胸などの危険性もありますので、換気設定を従量式から従圧式 (25 mmHg) に変更し、それ以上は上げないようにしました。

今後の検討事項としては、まず  $PaCO_2$  の上昇への対策をとることです。



(\* vs挿管後 p < 0.01)

図 3 Change of PaCO<sub>2</sub>  
PaCO<sub>2</sub> は術中徐々に増加する。CO<sub>2</sub> で気腹するためと頭低位で換気効率が下がるためと思われる。

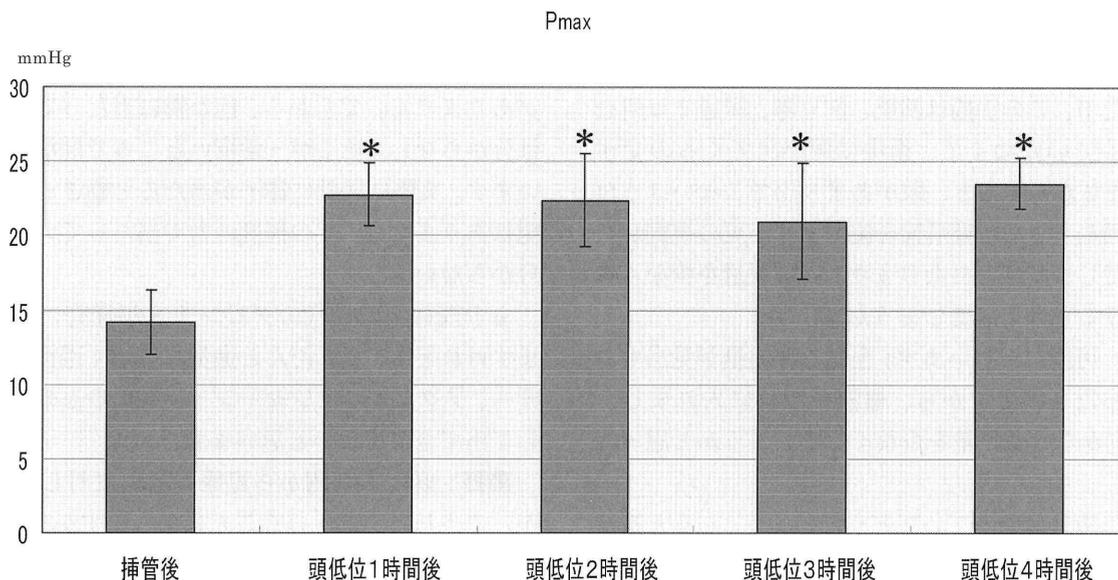


図4 Change of maximal inspiratory pressure  
気道内圧 (Pmax) は頭低位とするため上昇する。

もう1つは、術前の呼吸機能や循環機能の評価です。実際どういう症例までは麻酔可能なのか。どの程度呼吸機能、循環機能の悪い症例でも麻酔可能なのか検討が必要だろうと思われました。そこで術中呼吸や循環に対する非侵襲的なモニターでさらに検討する予定です。

秦野：ありがとうございました。

今の麻酔科の発表に関して、何かご質問ございますか。

この手術の体位をとっている時に頭がかなり下がります。30度ぐらい下がると、自分がそこに寝ていたと仮定すると、これで長時間はきつかなという気がしましたが、実際問題として、幾つかの問題があるようです。通常、頭が下がるだけならいいのですが、さらにそこにCO<sub>2</sub>でおなかの中に圧力を入れる。今、気腹圧は12 mmHgぐらいが多かったですね。

西山：11～12 mmHg位と思います。

秦野：そうすると、横隔膜全体に加わる力は、全体の大きさにすると結構な力が加わっています。それでCO<sub>2</sub>がたまりやすいという話がありました。どなたかご質問ありますか。

室園 (麻酔科)：結構眼がむくんでいましたが、脳圧に関して、どう予想されますか。

西山：それがちょっと気がかりでした。恐らく脳圧は上がっているのではないかと思います。ただ、脳圧を測る非侵襲的なモニターがなかなかありません。近赤外線酸素モニターという脳内のヘモグロビン変化

を相対的に測る装置がありまして (NIRO-100™)、臨床工学士の朝日さんをお願いして数例測定してみました。頭低位にすると総ヘモグロビン量が2割程度上昇します。脳の血液量が増えている可能性が高い。血液量の増加は、脳圧上昇の可能性が示されたと考えています。

秦野：麻酔科はモニター関係でいろいろなものを持っていますが、どの程度まで付けたほうがいいのか、通常の手術とは異なるものが必要なのかとか、その辺はいかがですか。

西山：手術が低侵襲なので麻酔科が高侵襲のモニターを付けるわけにいきません。例えばスワングアンツカテーテルは有効なモニターですが侵襲が高いので、低侵襲のモニター (体外式連続心拍出量センサー Picco™、Vigileo™) を付けて検討したいと思っています。

秦野：この手術について、我々泌尿器科医に対して、こういう場合はやめてほしいというものはありますか。あるいは、一般的な前立腺全摘とほとんど同じと考えていいのか。我々が患者さまを選択する時にどこに注意すればよいか、その辺があればよろしくお願い致します。

西山：循環器系ではコントロールの悪い高血圧虚血性心疾患、呼吸器系では巨大ブラや肺気腫症例、あと高度の肥満ですね。呼吸、循環の合併症のある方は一度相談させていただければと思います。

秦野：術者側から麻酔科の先生に聞きたいことは

ありませんか。

**吉岡**：先ほど術中の輸液量のことをおっしゃっていましたが、この手術は膀胱、前立腺、尿道2カ所を切らなくていけなくて、術中に尿が出てくるのですが、私たちからすると、尿があまり出てこないほうが術野が汚れず、また吸引管を使用すると更に視野が妨げられてしまうことになります。術中尿量を少なくするという事は可能でしょうか。

**西山**：可能だと思います。当初は出血量が見当もつかなかったものですから、輸液を多めに入れましたが、これからは輸液量を少なくしていこうかと思っています。

**秦野**：術者はやっています。わりと抵抗なくこれに移れたか、それとも最初のうちは結構落差というか、普通の手術と違う何かがありましたか。

**吉岡**：今までの開放手術と術式自体はほとんど一緒ですので、どこを切ったらいいかとか、どこが危ないのかということは分かっているつもりで手術に臨んではいるのですが、開放手術で上から見ている視野と、実際のおなかの中に入って、10倍の拡大視野で近接して見ている視野というのは明らかに違うので、まずそれに慣れるのに苦労しました。あとは、自分の手と同じように動くといっても、鉗氏がとても小さくて、自分が剥離したいところも小さい手で剥離しているのと同じなので、思ったとおりにいかなかったということも多々ありました。ただ、車と一緒にこういった機械は使っているとだんだん慣れてきて、自分の手と同じような感覚で使えるようになってきているのではないかと思います。

**秦野**：使っていて、機械の信頼性とか、そういうのは先生の感じではどうでしょうか。

**吉岡**：私が言うことでもないのかもしれませんが、アメリカで7万件以上もされていて、このロボットが暴走したりとか、ロボットの動きが原因で有害事象が起こったということは1例も報告されていません。ですから、安全性は非常に高いと思います。

ただ、このロボットは非常に力が強いんです。折り紙をつくる時もちょっと力を入れると破けてしまいます。オペされている方がいらっしゃったら、1-0のモノクリルがいかに固いか、自分で引っ張ってちぎろうとすると相当手が痛い思いをすることは御存知だと思いますが、ロボットだと簡単にちぎれてしまうわけ

です。

また、ロボットのコントローラーには、圧センサーがありません。ですから、何か物に当たっていても実は分からない。そこが一番怖いところではないかと思っています。実際に恥骨に鉗子が当たると動きが止まる感覚はありますが、どの程度の力で当たっているのかが分からない。

もう既に第二世代のダビンチSが発売になっていますけれども、だんだんと進歩していく過程で圧センサー、タクトイルセンセーションというものが付加として出てきてほしいと思います。

**秦野**：麻酔科の側から泌尿器科医に対して要望とか、こうしてくれということはありませんか。

**西山**：手術室には大きな液晶画面があって、3Dではないんですが、先生方が見ている画像が大写しになります。それを見ていると手術の進行がよく分かって、安心して管理できます。

開腹手術の場合は、術野が麻酔科から見れない場合が多く、ダビンチの手術は麻酔科にとっては管理しやすい感じを受けました。

**秦野**：泌尿器科の医者に対して、こうして欲しいという点はありませんか。

**西山**：トラブルもなく、手術時間も開腹より早い印象を持っています。

**秦野**：だんだん早くなってきましたね。

**西山**：麻酔科の術後回診で気が付いたのですが、術後疼痛が非常に少なく、やはり低侵襲の手術はよいと思います。

**秦野**：ありがとうございます。

今日は、心臓外科の先生にも加わっていただいて、ダビンチの手術のいろいろな科から見た状況をお話ししてもらおうと思ったんですが、手術がまだ終わらなくて、残念ながら間に合いませんでした。また後日何かの機会があったらお願いしたいと思います。

今のアメリカの状況では、現在は4割ですが、来年には7割ぐらいの前立腺全摘術がロボットで行われると予想されています。すべてのオープンの手術がこれに切り替わるわけではないと思いますが、相当普及するのではないかという気がします。

それでは、今日はこれで終わりたいと思います。

(三木 保 編集委員査読)