

泌尿器科領域における ロボット支援手術の現況

2025/5/10

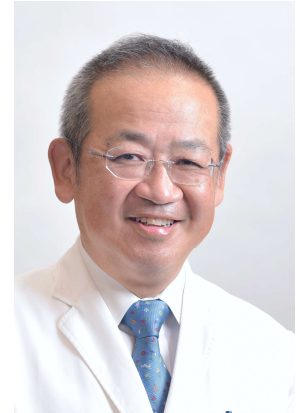
橋本市民病院市民公開講座

橋本市民病院泌尿器科

原 勲

まずは自己紹介から

- 1985年 神戸大学医学部卒業
- 1990年 神戸大学大学院卒業 医学博士取得
- 1991年 アメリカ留学
Memorial Sloan Kettering Cancer Center
- 1994年 神戸大学医学部泌尿器科助手→講師→助教授
- 2007年 和歌山県立医科大学泌尿器科教授
- 2014年 和歌山県立医科大学中央手術部部長
- 2024年 和歌山県立医科大学附属病院副院長
- 2025年 退官に伴い橋本市民病院泌尿器科に勤務



私の専門分野

- 泌尿器科疾患の中でも悪性腫瘍（腎がん、腎盂尿管がん、膀胱がん、前立腺がん、精巣がんなど）の診断治療を専門分野としています。
- 治療では手術、放射線治療、薬物治療が主体となります。中でも手術、特に腹腔鏡手術やロボット支援手術を得意としています。
- 前立腺癌では2023年に改訂された前立腺癌診療ガイドラインの改訂委員長を務めました。現在患者さん用のガイドラインを作成中です。



本日のお話の内容

- ロボット支援手術とは？
- ダヴィンチサージカルシステムの特徴
- ダヴィンチを用いた手術術式と実績
- ロボット支援前立腺全摘除術
- ロボット支援腎部分切除術（動画）

本日のお話の内容

- ロボット支援手術とは？
- ダヴィンチサージカルシステムの特徴
- ダヴィンチを用いた手術術式と実績
- ロボット支援前立腺全摘除術
- ロボット支援腎部分切除術（動画）

最初のテレプレゼンスロボットアーム

- 核物質の遠隔操作
- マスタースレイブ型マニピュレーター



CENTRAL RESEARCH LABORATORIES
A **DOVER** DIVERSIFIED COMPANY

マスタースレイブ技術の発展

- 超小型電子ロボットとコンピュータの著しい進歩(1980年代)
- ロボットテレプレゼンス技術の向上



放射線ロボットアーム ~ 1981



深海ロボット ~ 1985



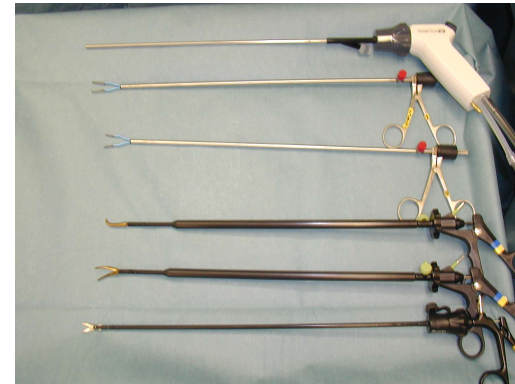
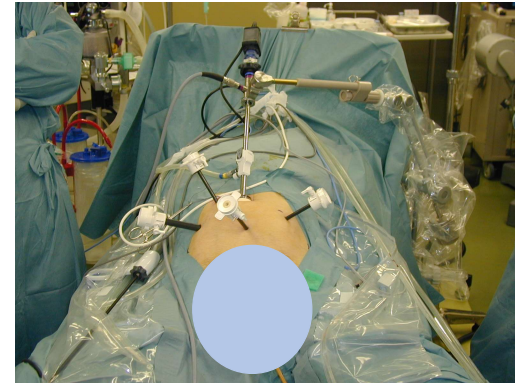
Robot "Jason Jr." タイタニック号の座礁
~ 1986



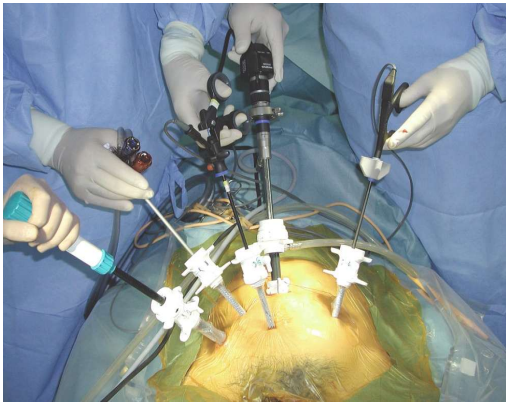
NASA ロボットアーム ~ 1981

従来の腹腔鏡手術

- 腹腔内に数本のポートを挿入する
- 腹腔内を炭酸ガスで膨らませ、専用の内視鏡を挿入して腹腔内をモニターに映し出す
- 専用の鉗子（電気メスや把持鉗子、洗浄、吸引管、持針器）を用いて手術を行う
- 従来の開腹手術に比べ出血が少なく術後の回復が早いのが特徴



内視鏡技術と遠隔ロボット技術の融合



+



=



- とともに1980年代に開発
- 腹腔鏡手術はその性質上Master-slave型の遠隔操作手術と相通じるものがある。

ダヴィンチ 機械の変遷

初代 ダヴィンチ S 2010年3月～



二代目 ダヴィンチ Si 2013年1月～



三代目 ダヴィンチ Xi 2015年5月～



ダヴィンチサージカルシステム

Surgeon Console



術者がロボットを操縦する
ためのコックピット

Patient Cart



患者さんの近くで実際に
ロボットアームが動く

Vision Cart



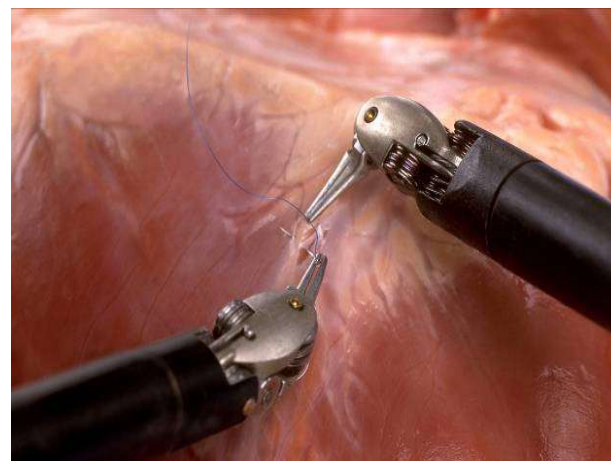
助手用のモニターと手術
の腹腔鏡手術用機械類を
搭載

ダ・ヴィンチ サージカルシステムの特徴①

■高解像度3D画像



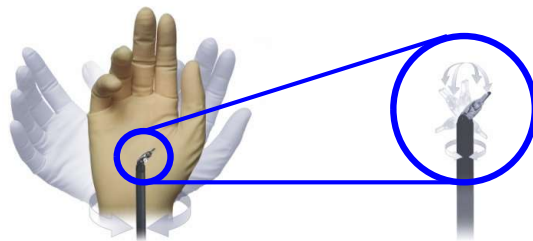
10~12 倍の拡大視野



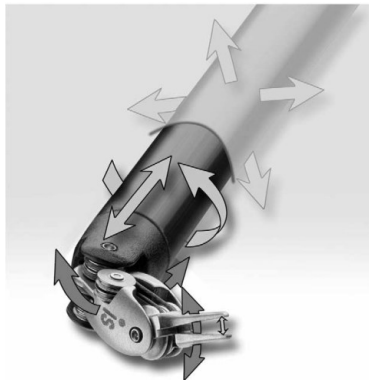
ダ・ヴィンチ サージカルシステム特徴②

■ *EndoWrist*インストゥルメント

7自由度、540度回転



普通の腹腔鏡の鉗子
(5自由度)



本日のお話の内容

- ロボット支援手術とは？
- ダヴィンチサージカルシステムの特徴
- **ダヴィンチを用いた手術術式と実績**
- ロボット支援前立腺全摘除術
- ロボット支援腎部分切除術（動画）

和歌山県立医科大学における泌尿器腫瘍手術

新規術式の導入

腹腔鏡

前立腺全摘除術

腎部分切除術

ロボット

前立腺全摘除術

膀胱全摘除術

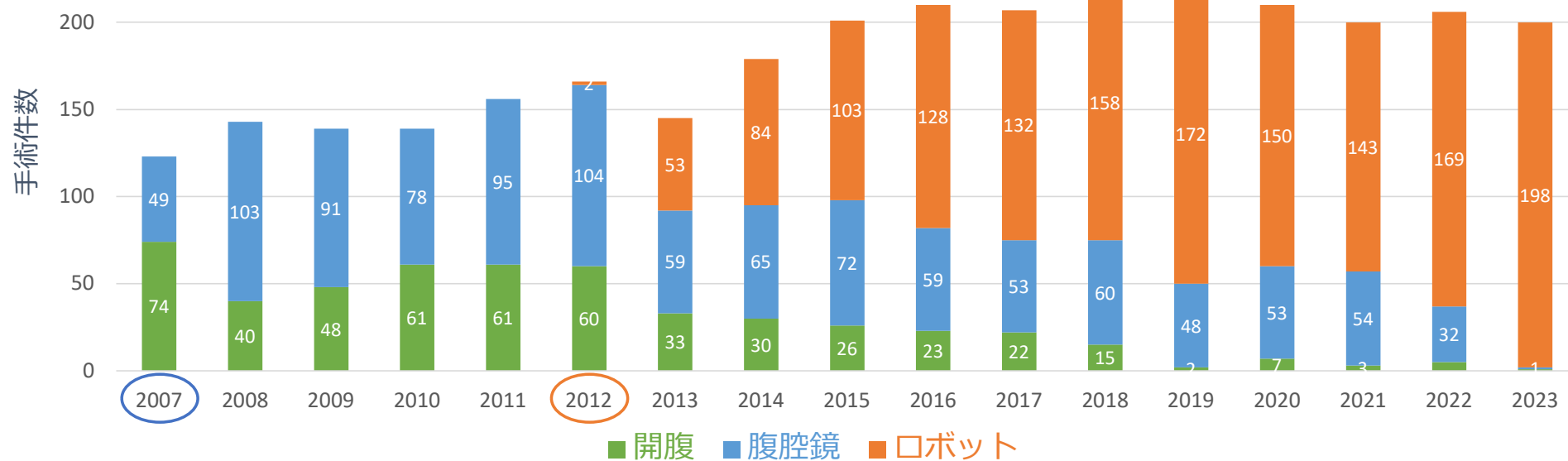
腎部分切除術

膀胱全摘除術

尿路変向術

副腎摘除術

腎摘除術



泌尿器腫瘍に対するロボット手術

前立腺全摘除術

大学導入: 2012年



保険承認: 2012年

当科累積: **1053**件

自験累積: **388**件

自験/当科: 37%

腎部分切除術

大学導入: 2014年



保険承認: 2016年

当科累積: **314**件

自験累積: **168**件

自験/当科: 54%

膀胱全摘除術

大学導入: 2016年



保険承認: 2018年

当科累積: **137**件

自験累積: **35**件

自験/当科: 26%

腎・副腎摘除術

導入: 2019年



保険承認: 2022年

当科累積: **150**件

自験累積: **25**件

自験/当科: 17%

(2024年12月まで)

泌尿器腫瘍に対するロボット手術

前立腺全摘除術

大学導入: 2012年



保険承認: 2012年

当科累積: **1053**件

自験累積: **388**件

自験/当科: 37%

腎部分切除術

大学導入: 2014年



保険承認: 2016年

当科累積: **314**件

自験累積: **168**件

自験/当科: 54%

膀胱全摘除術

大学導入: 2016年



保険承認: 2018年

当科累積: **137**件

自験累積: **35**件

自験/当科: 26%

腎・副腎摘除術

導入: 2019年



保険承認: 2022年

当科累積: **150**件

自験累積: **25**件

自験/当科: 17%

(2024年12月まで)

2024年4月から橋
本市民病院で稼働

泌尿器腫瘍に対するロボット手術

前立腺全摘除術

大学導入: 2012年



保険承認: 2012年

当科累積: **1053**件

自験累積: **388**件

自験/当科: 37%

2024年4月から橋
本市民病院で稼働

腎部分切除術

大学導入: 2014年



保険承認: 2016年

当科累積: **314**件

自験累積: **168**件

自験/当科: 54%

今後の稼働を予定

膀胱全摘除術

大学導入: 2016年



保険承認: 2018年

当科累積: **137**件

自験累積: **35**件

自験/当科: 26%

腎・副腎摘除術

導入: 2019年



保険承認: 2022年

当科累積: **150**件

自験累積: **25**件

自験/当科: 17%

(2024年12月まで)

今後の稼働を予定

本日のお話の内容

- ロボット支援手術とは？
- ダヴィンチサージカルシステムの特徴
- ダヴィンチを用いた手術術式と実績
- **ロボット支援前立腺全摘除術**
- ロボット支援腎部分切除術（動画）

わが国におけるがんの部位別罹患率

	罹患率 (2016年予測) 男女合わせて	罹患率 (2016年予測) 男性のみ
1位	大腸 (14万7千人)	前立腺 (9万3千人)
2位	胃 (13万4千人)	胃 (9万3千人)
3位	肺 (13万4千人)	肺 (9万1千人)
4位	前立腺(9万3千人)男性のみ	大腸 (8万5千人)
5位	乳房 (9万人)女性のみ	肝臓 (2万9千人)
6位	肝臓 (4万5千人)	腎・上部尿路 (2万人)

前立腺癌の増加している背景

- 社会の高齢化
- 食生活の欧米化
 - 動物性脂肪の摂取量が増加
- 診断法の進歩
 - 前立腺特異抗原（Prostate Specific Antigen: PSA）の普及

前立腺癌の診断の流れ

スクリーニング検査
(一般検査)

- PSA検査（血液検査）
- 直腸診（触診）
- 経直腸的超音波（エコー）検査



確定診断
がんを確定するための検査

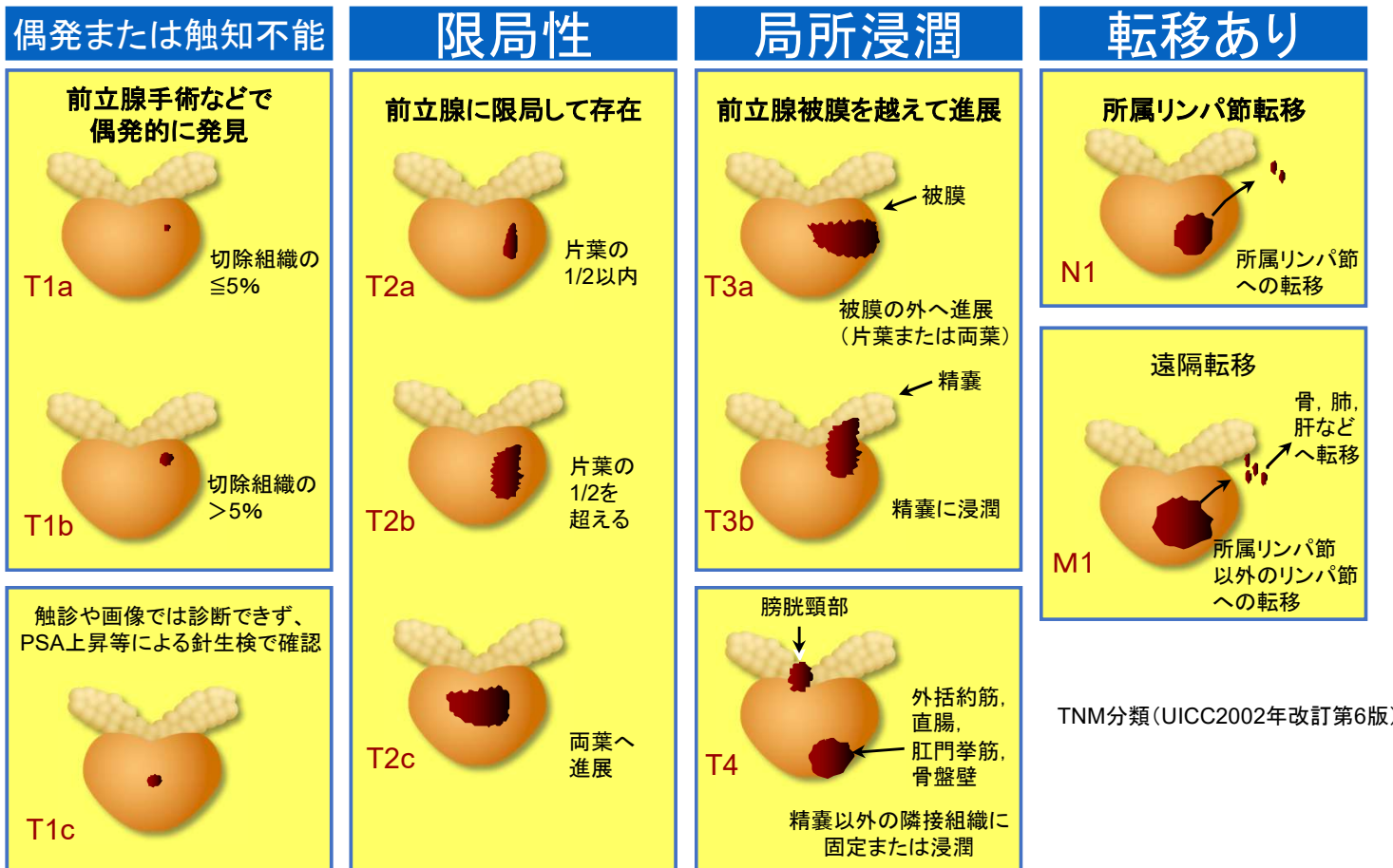
- 生検
（前立腺組織を採取）



病期診断
がんの進行度（広がり）を
確認するための検査

- 画像検査（CT・MRIなど）
- 骨シンチグラフィ

TNM分類【T:原発腫瘍 N:リンパ節転移 M:遠隔転移】



TNM分類(UICC2002年改訂第6版)

前立腺癌に対する治療選択

前立腺がんの治療選択

前立腺がんの治療選択									
前立腺の被膜内に留まっているがん						被膜外に浸潤しているがん		リンパ節・骨・臓器等に遠隔転移のあるがん	
限局性前立腺がん						局所進行性前立腺がん		転移性前立腺がん	
超低リスク		低リスク	中間リスク		高リスク			少数転移	多発転移
監視療法									
フォーカルセラピー（注記参照）									
全摘除術（ロボット支援、腹腔鏡、開腹）				★	★	★	★		
注）★ リンパ節郭清を推奨									
外照射	X線（標準分割照射、寡分割照射）			*	*	*	*	原発巣照射	緩和照射
	粒子線（重粒子線、陽子線）			*	*	*	*	原発巣照射	緩和照射
注）* ホルモン療法併用									
小線源療法	低線量率（シード埋込）組織内照射			◎	◎	◎			
	高線量率組織内照射			△	△	△			
注）◎ 外照射併用＋ホルモン療法併用									
注）△ 外照射併用 ± ホルモン療法併用									
薬物療法（ホルモン療法、抗がん剤、他）			期待余命が10年以下なら選択肢となる					「薬物療法」参照	

・ 適応の度合いを示す

適応あり

>

境界域

>

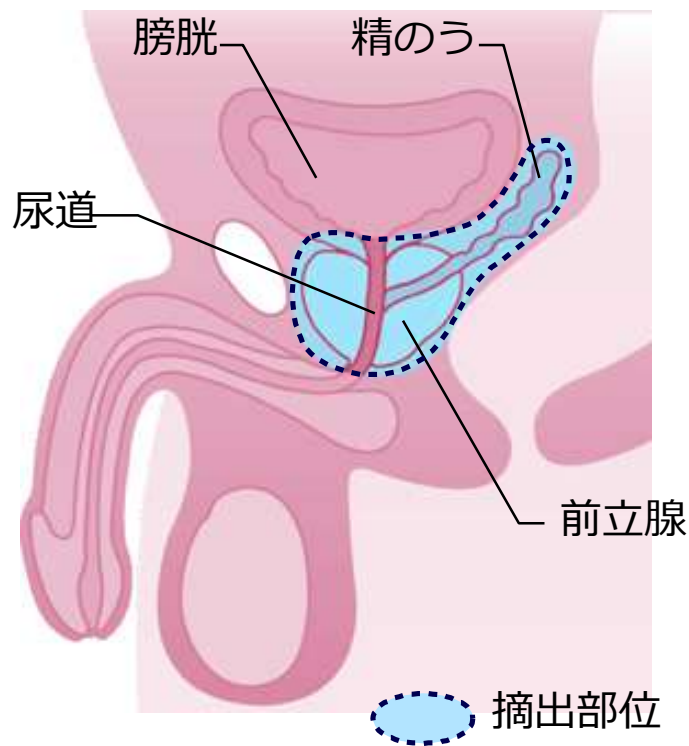
限定的

・ フォーカルセラピー

（部分：フォーカル＋治療：セラピー）

前立腺全体ではなくその一部（健康上影響のあるがんが存在する部分）を治療対象とするもので、監視療法と根治治療の中間的位置付けとなる治療法

前立腺全摘除術



特 徴

- 早期であれば根治が期待できる
- 手術時間は通常 3 ～ 4 時間程度
- → 2週間程度の入院
- ロボット支援下前立腺全摘除術の施行率は本邦で80%以上

適応（目安）

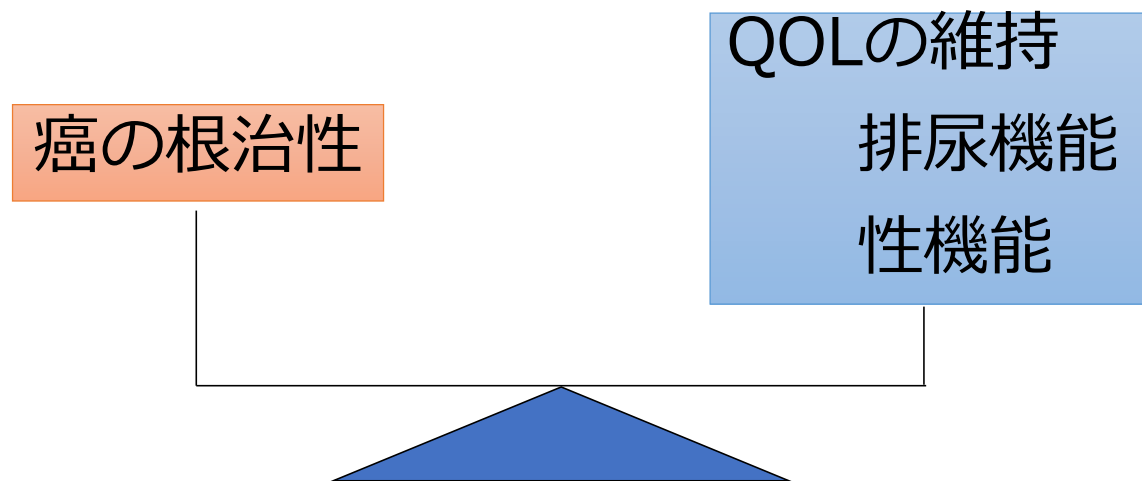
- 限局期（T1b～T2）の患者さんが主体
- 全身状態が良好で、75歳以下の方

主な副作用

- 尿漏れ、勃起不全など

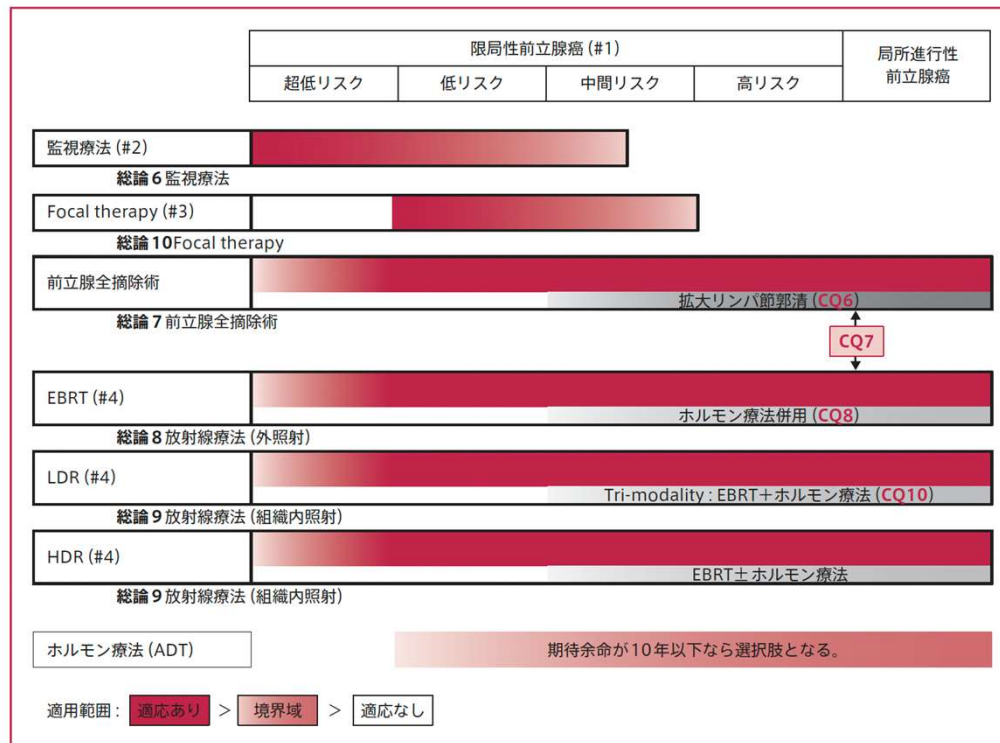
前立腺がんに対する前立腺全摘除術

- 多くのがんの手術においてはがんに対する根治性と機能温存が対立した手術手技を要求する。
- 今日では機能温存を重視する傾向にある。
 - 乳房温存術、腎部分切除術



RARPの位置付け

2. 限局性・局所進行性前立腺癌の治療アルゴリズム



EBRT: 外照射, LDR: 永久挿入密封小線源療法, HDR: 高線量率組織内照射, ADT: アンドロゲン遮断療法

CQ7

局所進行性前立腺癌や高リスク前立腺癌の一次治療として、手術療法とホルモン療法併用放射線療法のどちらが推奨されるか？

推奨文

局所進行性前立腺癌や高リスク前立腺癌の一次治療として、手術療法とホルモン療法併用放射線療法の優劣は明らかでなく、患者の状態や状況、希望等を考慮し選択する。
[推奨の強さ: 推奨なし エビデンスの確実性 (強さ): C (弱)]

委員会 投票 結果		行うことを 強く推奨する	行うことを 弱く推奨する	行わないことを 弱く推奨する	行わないことを 強く推奨する	推奨なし
1回目		0名 (0%)	3名 (15%)	2名 (10%)	0名 (0%)	15名 (75%)
2回目		0名 (0%)	2名 (10%)	1名 (5%)	0名 (0%)	17名 (85%)

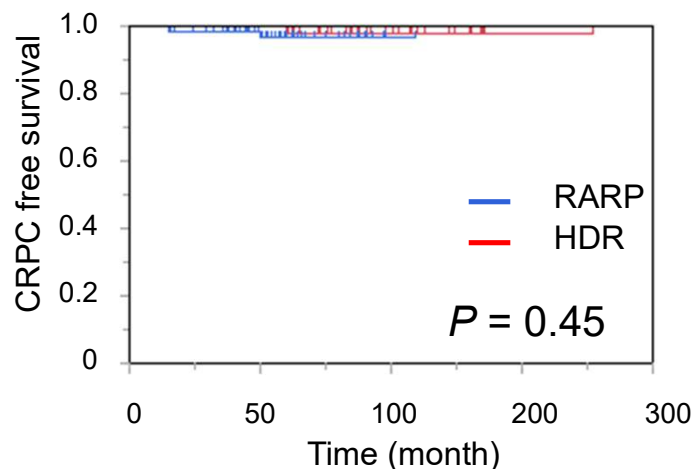
限局性・局所進行性前立腺癌の幅広い症例における標準治療の1つ

高リスク前立腺癌に対するRARP vs HDR

	PSM前			PSM後		
	RARP 群	HDR 群	P 値	RARP 群	HDR 群	P 値
症例数, n	233	179		71	71	
年齢, 歳	69 (65-72)	73 (69-76)	<0.01	70(67-73)	70(65-76)	0.44
iPSA, ng/ml	10.7 (7.1-16.7)	22 (12.1-41.2)	<0.01	14.5(8.9-21.5)	12.2(8.0-22.7)	0.74
生検GS, n(%)			<0.01			0.10
6	5(2.2)	9(5.1)		0(0)	4(5.6)	
7	39(16.7)	57(31.8)		25(35.2)	20(28.2)	
8-10	189(81.1)	113(63.1)		46(64.8)	47(66.2)	
cT stage, n(%)			<0.01			0.61
cT1	25(10.7)	7(3.9)		3(4.2)	5(7.0)	
cT2	153(65.7)	38(21.2)		24(33.8)	27(38.0)	
cT3	55(23.6)	134(74.9)		44(62.0)	39(54.9)	
治療前 SF-8, 点(%)						
PCS	52.8(48.2-54.9)	50.5(44.7-54.1)	<0.01	52.1(45.6-54.7)	52.2(46.1-54.8)	0.90
MCS	50.3(45.2-53.9)	48.9(44.0-52.8)	0.21	48.4(41.9-53.9)	48.3(44.1-54.0)	0.58
治療前EPIC, 点(%)						
Urinary domain	93.5(85.4-100)	87.5(70.8-95.8)	<0.01	89.6(81.3-97.9)	88.5(73.6-95.8)	0.18
Bowel domain	96.4(91.1-100)	92.9(83.9-98.2)	<0.01	96.4(92.0-98.2)	92.9(82.6-100)	0.15
Sexual domain	37.2(30.8-53.2)	30.8(30.8-36.8)	<0.01	33.3(30.8-46.2)	30.8(30.8-39.9)	0.48
Hormonal domain	95.5(88.6-100)	93.2(84.0-100)	0.02	93.2(86.4-100)	93.2(83.0-100)	0.30
治療前SHIM, 点(%)	6(3-4)	3(1-7)	<0.01	4(2-9)	3(1-9)	0.05

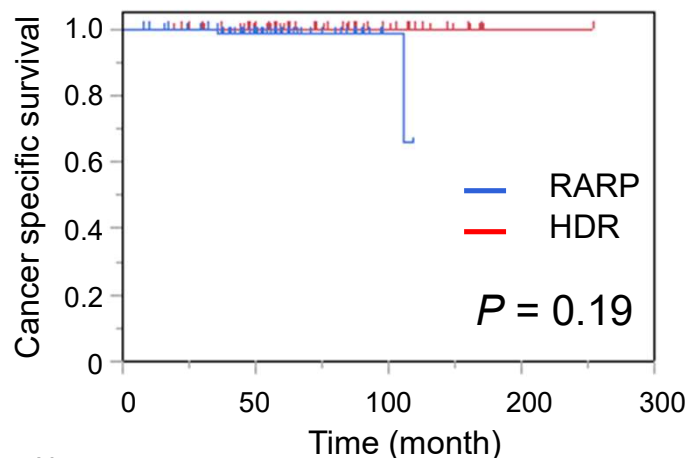
癌制御に関する比較 RARP vs HDR

【CRPC free survival】



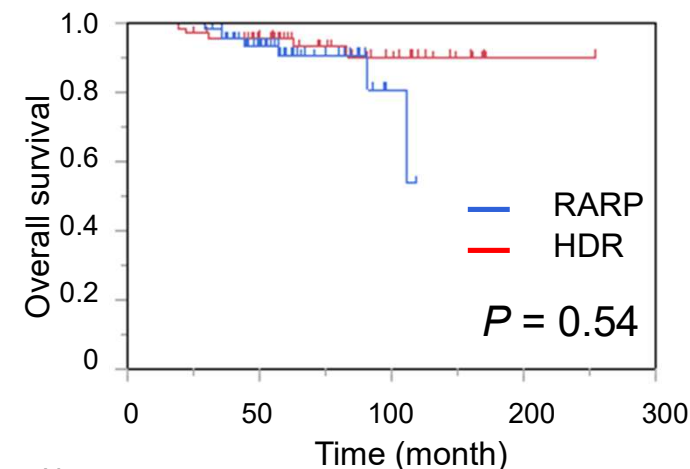
No. at risk					
RARP	71	48	3	0	0
HDR	71	52	23	1	0

【Cancer specific survival】



No. at risk					
RARP	71	47	4	0	0
HDR	71	52	23	1	0

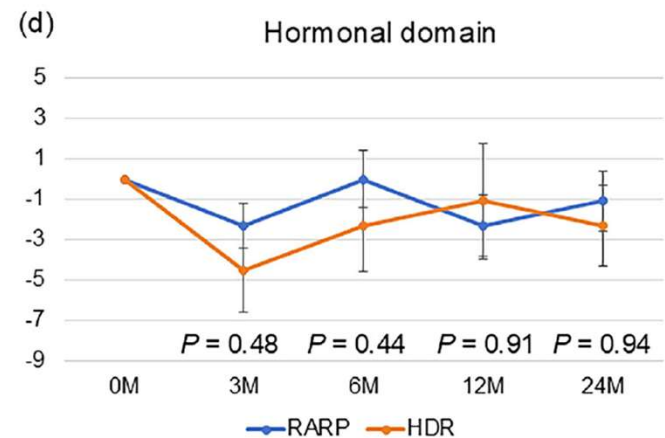
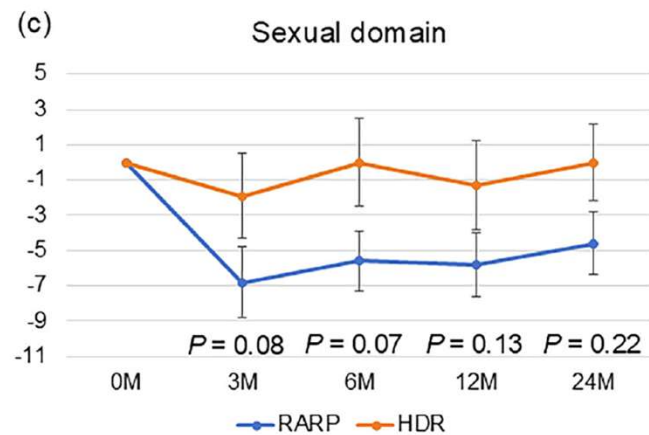
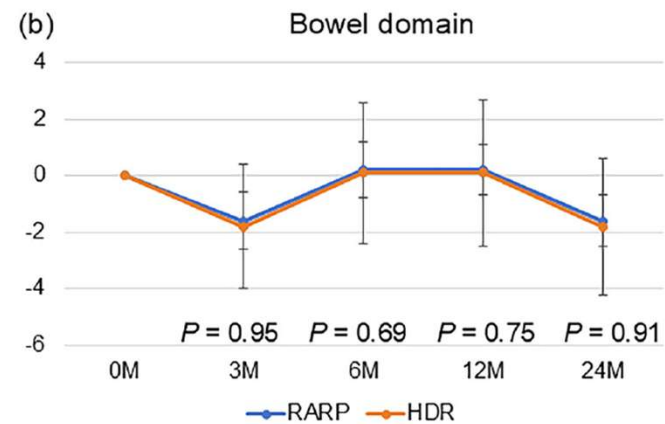
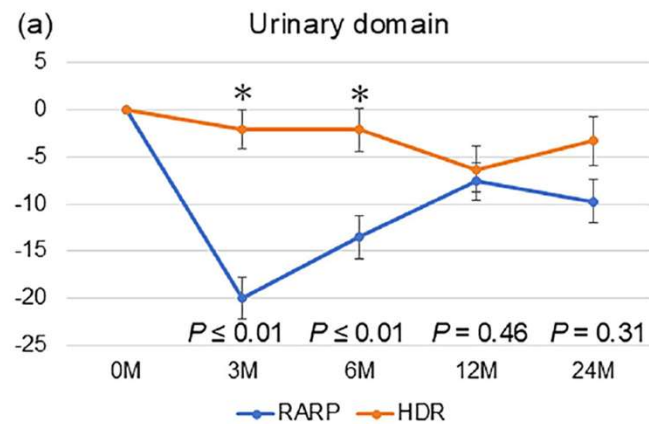
【Overall survival】



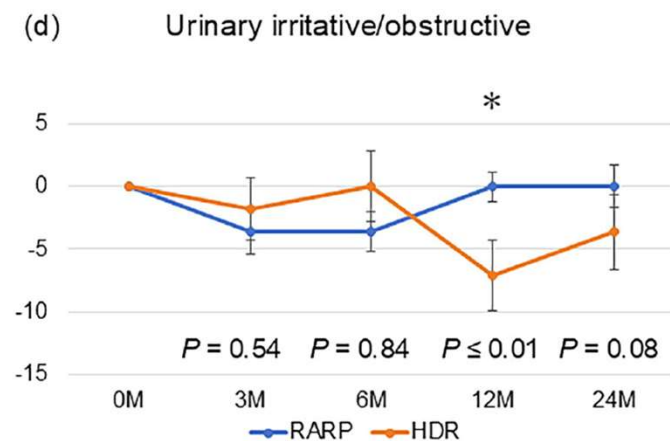
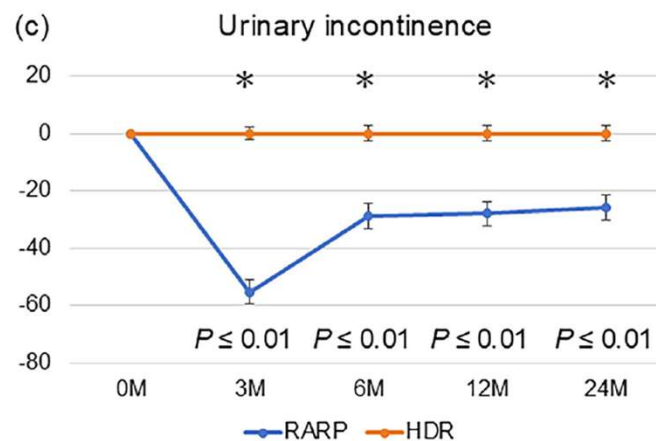
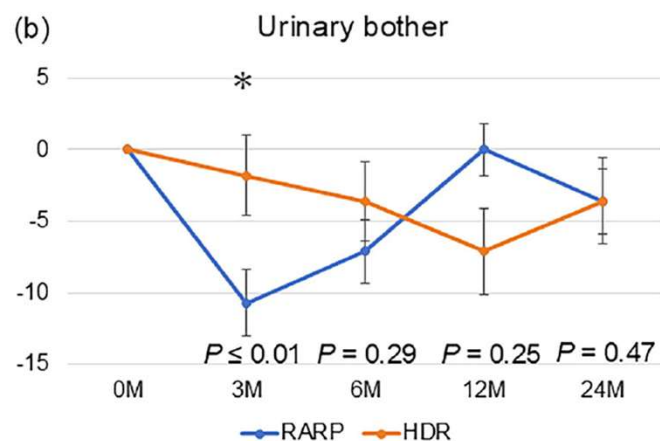
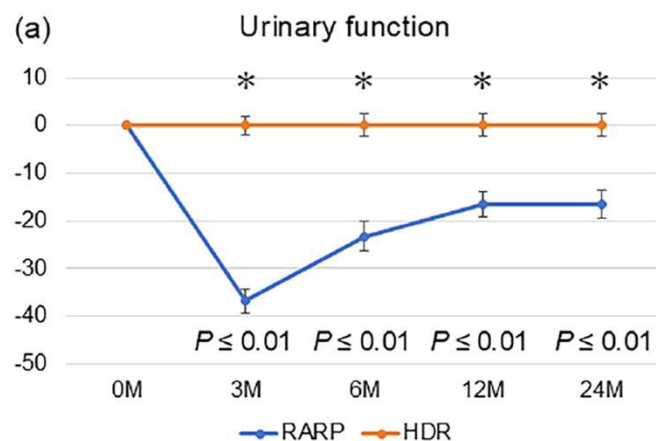
No. at risk					
RARP	71	47	4	0	0
HDR	71	52	23	1	0

腫瘍学的アウトカムは2群間で同等であった。

QOLに関する比較 RARP vs HDR



排尿関連QOLの比較 RARP vs HDR



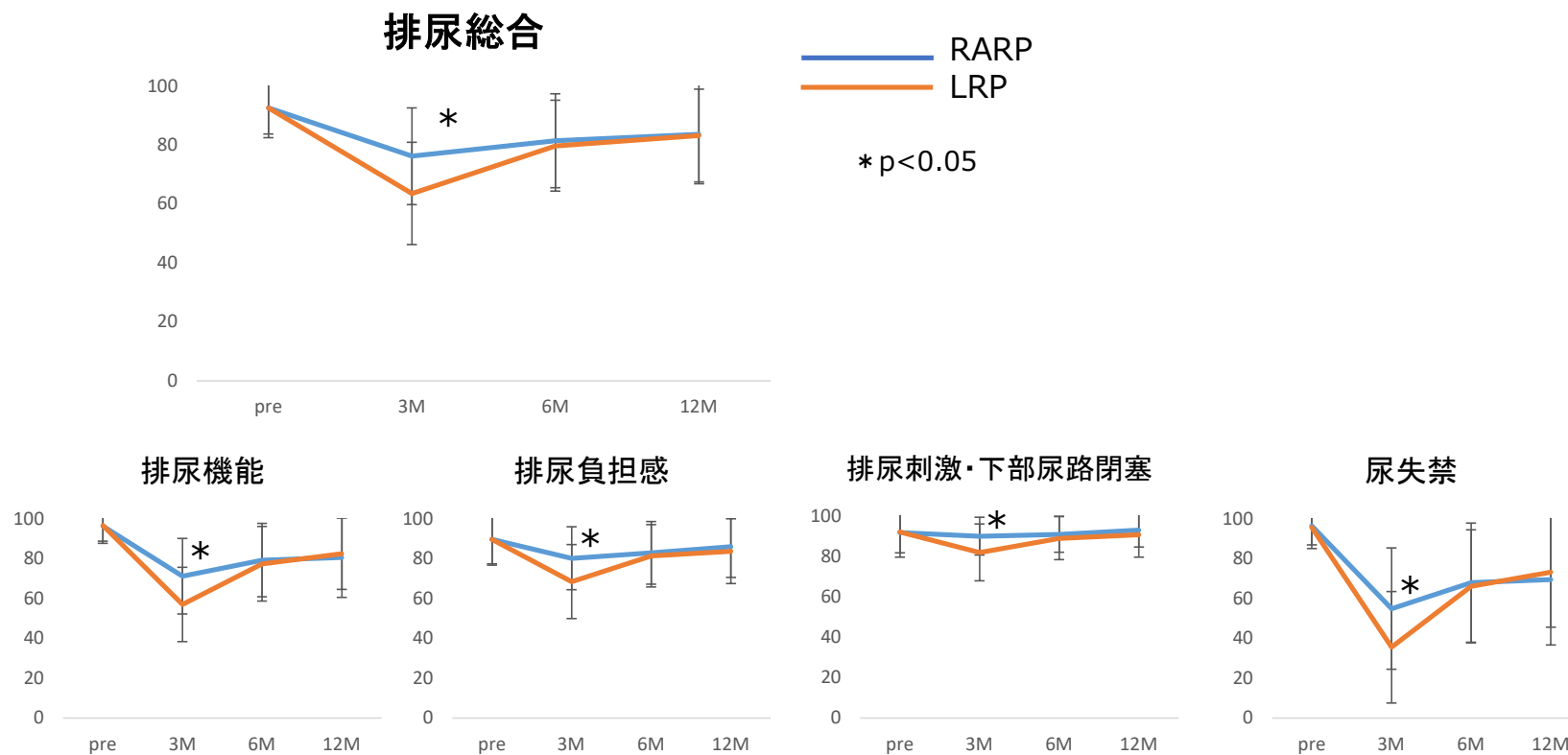
和歌山県立医科大学でのRARPの適応

- PSA <20ng/ml：前立腺の炎症等による影響を除外すること。また50ng/ml以上の場合には原則手術治療は行わない。
- cT2c以下 明らかに精嚢浸潤を伴うものや直腸への直接浸潤が疑われる場合は適応外とする。MRIでのcT3a等については他の要件も含め、手術療法の可否を検討してよい。
- cN0M0：リンパ節転移あるいは遠隔転移が明らかなものに関しては手術適応外とする。
- Gleason scoreに関しては不問（Gleason scoreが高くても年齢が若くて局所的に摘除可能と思われる場合は積極的に手術を考慮する）
- 75歳以下（ただし暦年例だけで適応を決めることは危険であり、合併症の有無や既往歴を考慮した上で慎重に考慮する。逆に75歳を超えていても期待余命が10年以上見込める場合は適応を考えてもよい）

各術式の比較

	恥骨後式前立腺摘除術	腹腔鏡下前立腺全摘除術	ロボット支援前立腺全摘除術
適応	75歳以下、T2まで	75歳以下、T2まで	75歳以下、T2まで
侵襲度	高い	低い	低い
出血量	自己血輸血必要	少ない	少ない
視野	直視可能だが、骨盤底の奥なので視野不良	視野は良好だが一般的には2D	3Dでかつ拡大された精彩な画像
手術器具の自由度	高い	動きに制限あり	高い
設備投資	通常の手術器具で対応可能	腹腔鏡手術システムが必要（2000万円）	ダビンチが必要（2億円）
腫瘍制御と排尿および性機能の維持	ほぼ同等とされていたが近年ではロボットの優位性を示す報告が多い。		

排尿機能に関する比較 腹腔鏡 vs ロボット支援手術



ロボット支援前立腺全摘除術の手順

- 郭清
- 内骨盤筋膜切開
- 膀胱頸部離断
- NVB処理（合併切除、温存）
- 尖部離断
- 尿道吊り上げ、後壁補強
- 尿道膀胱吻合

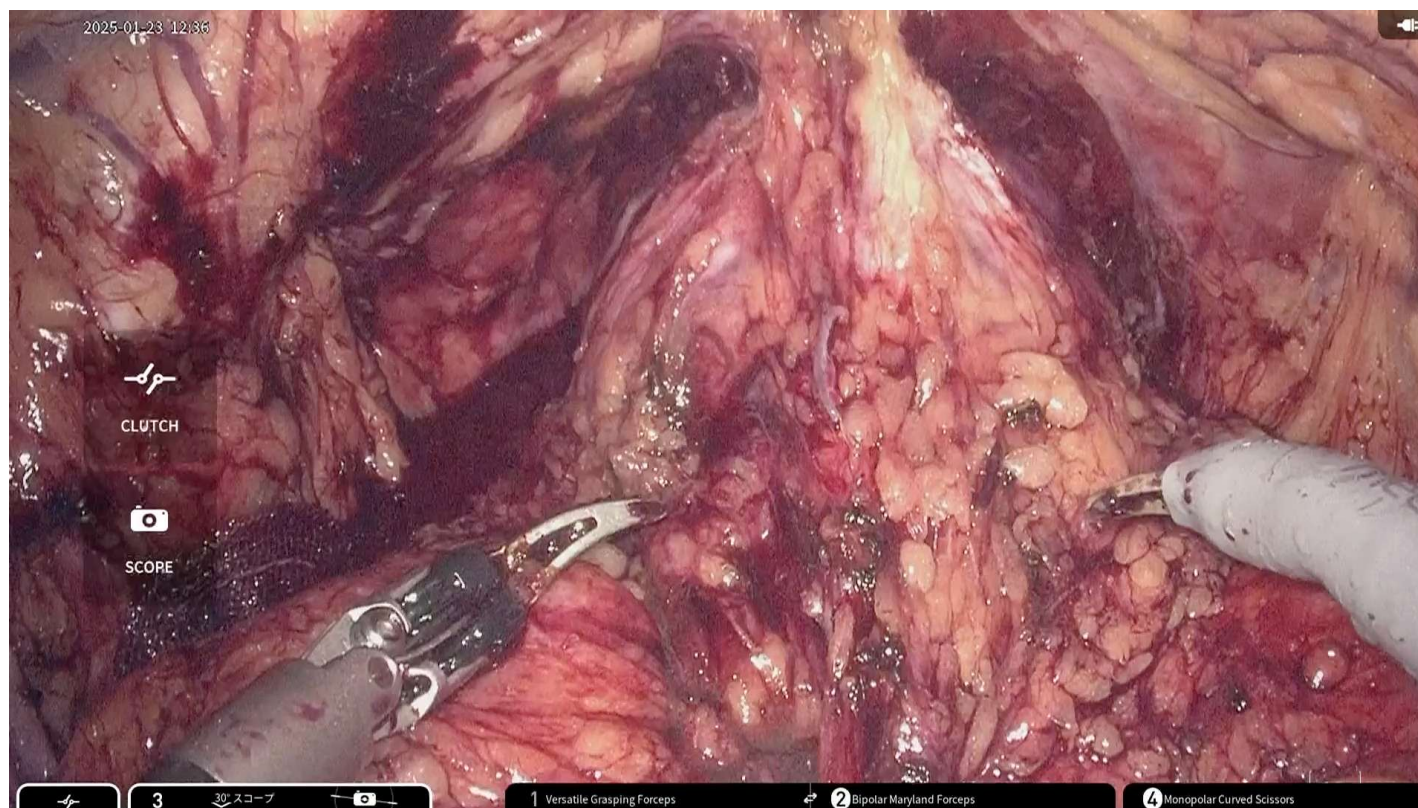
ロボット支援前立腺全摘除術の手順

- 郭清
- 内骨盤筋膜切開
- 膀胱頸部離断
- NVB処理（合併切除、温存）
- 尖部離断
- 尿道吊り上げ、後壁補強
- 尿道膀胱吻合

膀胱頸部離断

- RARPにおいて最も難しいステップ
- 前立腺の大きさ、膀胱頸部での形態が個人差に富むため症例に合わせて柔軟に対応する必要がある。
- 前方アプローチ、側方アプローチがあるが、両者を組み合わせたアプローチを行なっている。
- 内尿道口より精囊側へ剥離を行う際には前立腺と膀胱の牽引の方向が重要
- 慣れないうちは内尿道口を大きめに切離し、膀胱内腔の観察ができる方が合併症を起こしにくい。

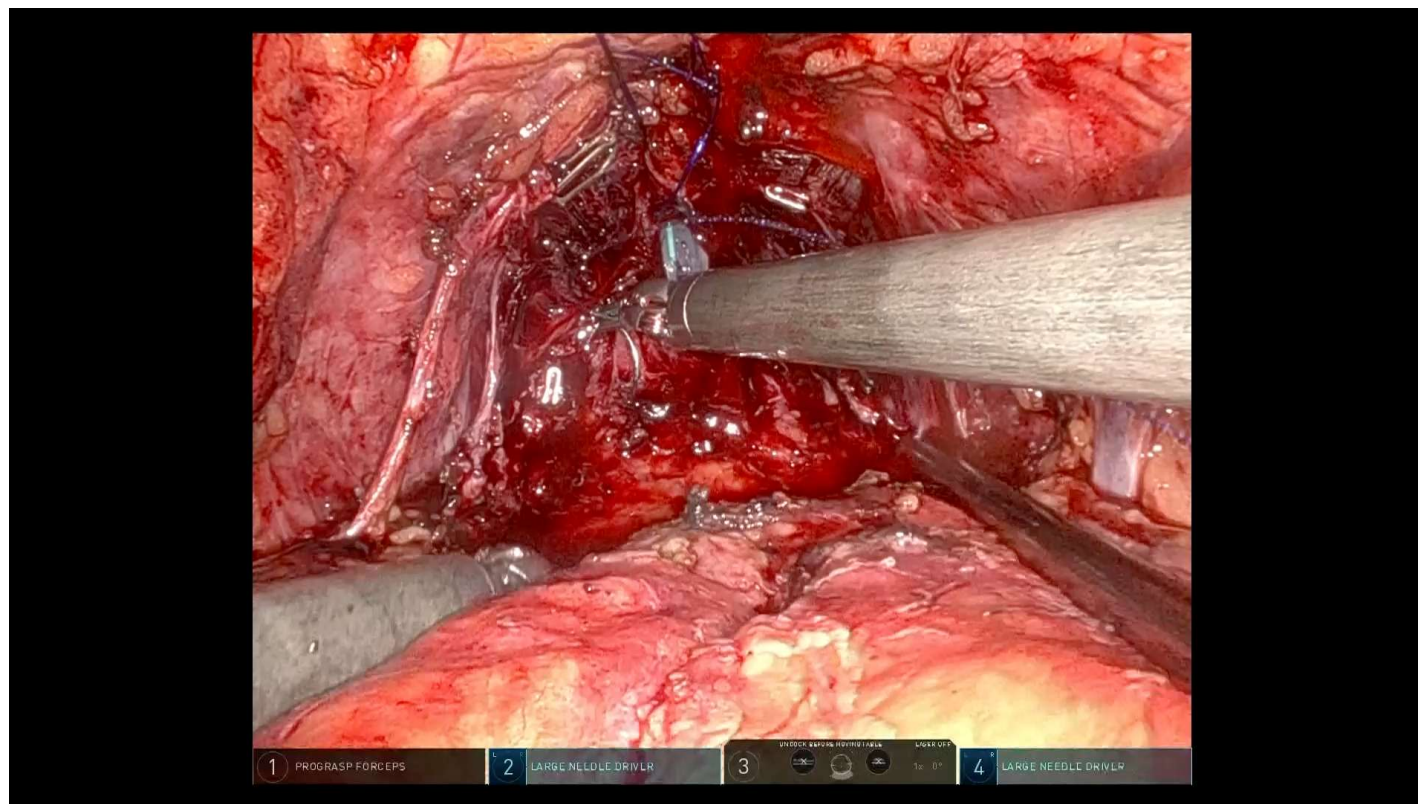
膀胱頸部離断 動画



ロボット支援前立腺全摘除術の手順

- 郭清
- 内骨盤筋膜切開
- 膀胱頸部離断
- NVB処理（合併切除、温存）
- 尖部離断
- 尿道吊り上げ、後壁補強
- 尿道膀胱吻合

後壁補強 動画

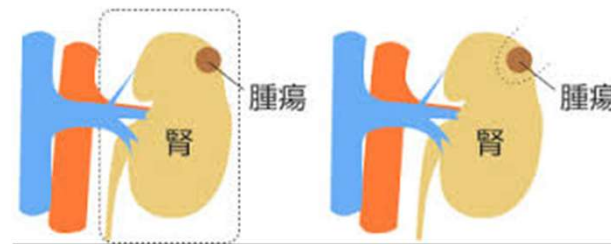


本日のお話の内容

- ロボット支援手術とは？
- ダヴィンチサージカルシステムの特徴
- ダヴィンチを用いた手術術式と実績
- ロボット支援前立腺全摘除術
- **ロボット支援腎部分切除術**

腎部分切除術の意義

- 近年ではCT、エコーの普及に伴い小径の腎癌の発見頻度が増加していきっている。
- 従来腎癌に対する標準治療は根治的腎摘除術であった。
- 小径腎癌の頻度増加に伴い腎機能保護の観点から部分切除術が施行されるようになってきている。
- 腫瘍径4cm以下で外方突出型の腫瘍は良い適応とされている。



腎部分切除術の変遷

- 腎動脈を一時的に遮断しできるだけ短時間（理想的には30分以内）に腫瘍を切除し、尿路系の修復および腎実質の縫合による止血コントロールを行う必要がある。
- 腎摘除術より難易度は高く、従来は開腹による手術が主体であった。近年では腹腔鏡下での腎部分切除術が行われつつあるが技術的にはハードルが高い。
- ロボット支援腎部分切除術は従来の腹腔鏡下手術での不利益な点をカバーしてくれる点で今後が期待されている。

腎部分切除術 腹腔鏡 vs ロボット支援手術

	ロボット支援 (n=10)	腹腔鏡 (n=58)	P
開腹移行	0 (0%)	10 (17%)	0.18
腎摘除	0 (0%)	1 (1.7%)	0.85
	RAPN (n=10)	LPN (n=47) *	P
手術時間 (分)	196±57.4	210±54.8	0.57
コソール(分)	155±47.0	—	—
出血量(ml)	42.5 ±87.3	50.0±125.6	0.74
輸血	0	0	
腎動脈阻血時間 (分)	24±8.7	36±19.1	0.01
eGFR変化率 (%) (術後3か月)	-16.0±11.4 (n=7)	-10.0±14.2 (n=39)	0.40

症例供覧

【主訴】 PSA高値

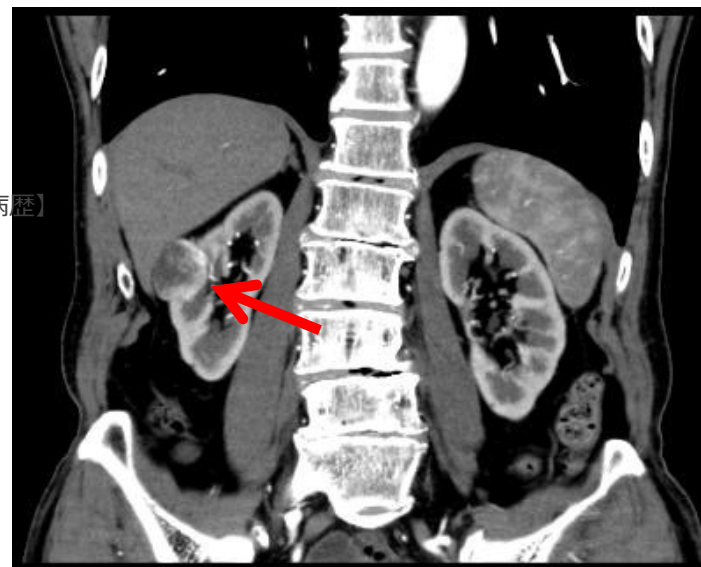
【現病歴】 PSA10.3ng/mlと高値であったため当科で2014年10月前立腺生検施行。10箇所中1箇所より前立腺癌が検出された。転移の検索の腹部CTで右腎腫瘍を指摘され加療目的にて当科入院となる。

【既往歴】 喘息、睡眠時無呼吸症候群で当院呼吸器内科で治療中

腹部CT画像



【現病歴】



動画供覧

ロボット支援 腎部分切除術

和歌山県立医科大学泌尿器科

原 勲

術後経過

POD7 術後のCTで動脈瘤の形成なし

POD12 退院

前立腺癌に対しては放射線治療予定となる。

術後腎機能 Cr 1.3 (術前1.2)

eGFR42.8 (術前 47.8)

【病理組織】 淡明細胞癌、G1>2,
INFa, v0, ly0

切除断端は陰性



さいごに

- 泌尿器科悪性腫瘍に対する手術はほとんど開腹から腹腔鏡そしてロボット支援手術に置き換わってきています。
- 橋本市民病院では2024年4月に手術支援ロボット ダヴィンチを導入しました。
- 現在までに前立腺がんに対するロボット支援前立腺全摘除術を33例施行しました。
- 今後は腎がんに対する根治的腎摘除術および腎部分切除術にも適応を拡げていきたいと考えています。
- 泌尿器科では前立腺肥大症や尿路結石症に対する手術も積極的に行なっています。