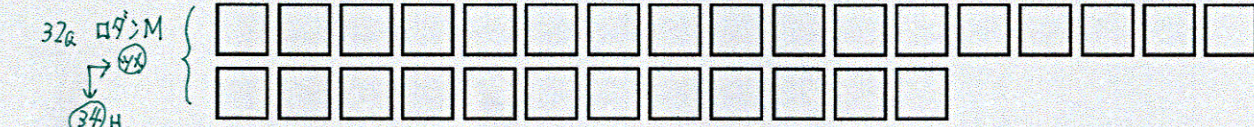


# ロボット手術 2nd Phase

## 徹底分析 シリーズ

### 医療経済、地域格差からみたロボット支援下手術



糸島 尚・國澤 進・今中 雄一 ~ 15a 新ゴM

ロボット支援下手術 robot-assisted surgery (RAS) は、その低侵襲性から臨床的価値が期待される一方、導入や維持にかかる高額なコストが問題となり、地域間の偏在という課題も認めている。本稿では、日本の普及状況と地域格差の実態を概観し、臨床データの分析やこれまでに報告されている論文の臨床的アウトカムや経済性の分析を通じて、RAS について考察する。

#### 内視鏡手術支援ロボット台数の都道府県別格差

日本の内視鏡手術支援ロボット（以下、ロボット）の普及は、da Vinci が 2025 年時点では日本で 800 台以上、全世界では約 9800 台導入されており、世界でも有数の台数が導入されている。一方で、都道府県別でみると地域差が認められる。令和 5（2023）年度の病床機能報告<sup>1)</sup>によると、内視鏡手術用支援機器（ロボット）は全国で 629 台導入されていたが、都道府県別でみると、最も多い東京都が 72 台、最も少ない道府県では 2 台となっている。さらに人口 100 万人あたりのロボット台数でみると、最も多い都道府県で約 4.4 台、最も少ない都道府県では約 0.5 台と、約 10 倍近い開きがあることがわかる（図 1）<sup>1~3)</sup>。二次医療圏間では、さらに大きな格差が想定される。

この格差は二つの大きな懸念を生む。第一は、「医療の質の不均一」である。居住地によって RAS へのアクセスが左右される事態は、国民皆保険の理念を揺るがしかねない。第二は「配分資源の非効率」である。症例数が少ないにもかかわらず、医師確保や集患目的で導入されたロボットは低稼働に陥り、

全体の費用対効果を低下させる恐れがある。

海外に目を向けると、対照的な二つのモデルがみられる。市場原理によって、爆発的に普及した米国では、資金力のある都市部の病院にロボットが集中し、地方とのアクセス格差が問題視されている。また、外科医を確保・維持するための戦略的投資として導入が進む側面もあり、症例数が少ない施設の非効率な運用が懸念されている<sup>4~7)</sup>。

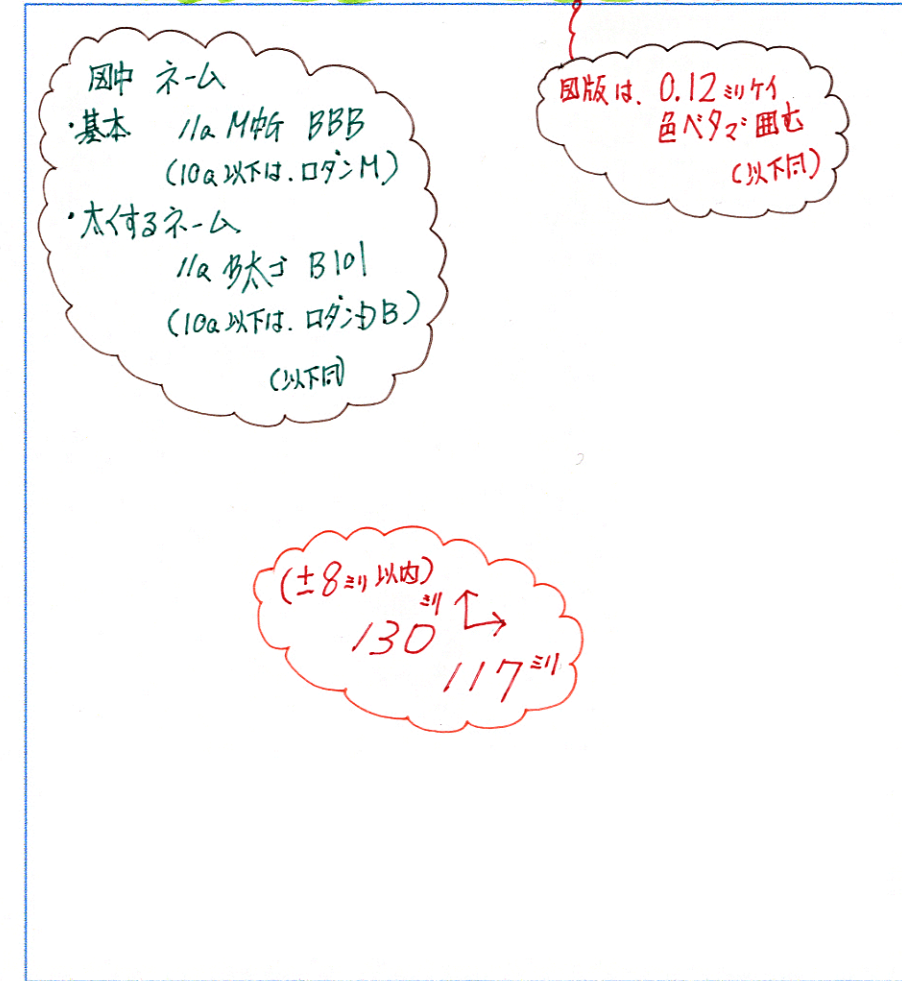
一方、National Health Service (NHS) を基盤とする英国では、計画性を欠いた拡大がもたらす非効率と不公平を是正するため、国家主導の戦略を打ち出した。その戦略は、①地域内の症例数を確保できる病院が連携するネットワークを形成し、地域全体でリソースを共有・最適化する「ネットワーク化」、②英国国内の稼働状況を可視化し、今後の需要などの「データにもとづく配置計画」の二つからなる。①の「ネットワーク化」はロボットの集約化にも関連する。具体的には、新たなロボットを導入する際の計画は個々の病院レベルではなく、地域の医療計画を担う統合ケア委員会 Integrated Care Boards (ICBs) やがん治療連携拠点 Cancer Alliances と連携して策定することが

求められる。このネットワーク内では、専門医が単一の病院に留まらず、複数の病院で手術を行ったり、遠隔での指導（テレ・プロクタリング）を活用したりすることが想定されており、地域全体でリソースを最適化し、スケールメリットを追求するとされている。②の「データにもとづく配置計画」とは NETIS（全国設備追跡・在庫システム National Equipment Tracking and Information System）と呼ばれるデータベースが中核となる。NETIS は英国国内のロボットの設置場所や稼働状況を可視化し、そのデータにもとづいてリソースの過不足を把握し、将来の最適な配置先を決定するために用いられる<sup>8)</sup>。これは市場原理に委ねる米国とは対極のアプローチである。

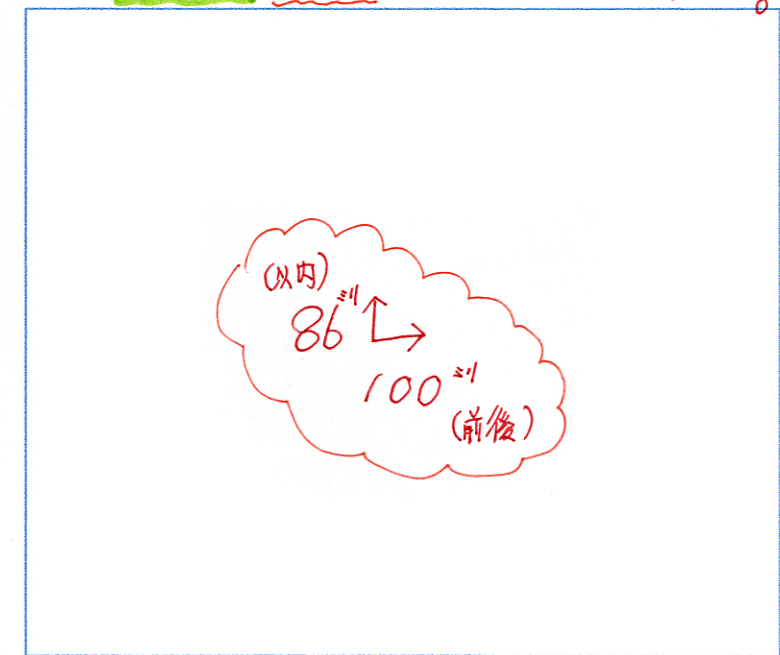
翻って日本は、都道府県単位で導入状況には明確な差が認められる。これはアクセス格差という点で問題となり得る。一方、日本では RAS の施設基準は、手術の種類や学会によって異なるものの、執刀医の経験症例数や施設内の体制などであり、地域レベルでの配置基準がなく、導入は各医療機関が判断している状況である。

厚生労働省の資料<sup>9)</sup>によれば、2025 年から 40 年にかけての患者推計では、疾患ごと、地域ごとに予想される患者数は異なっている。例えば図 2 のように、消化器悪性腫瘍は患者が増加する二次医療圏と減少する二次医療圏が示されている。ロボットは、導入だけでなく維持にも高いコストがかかることが示されており、地域で予想される患者数の推移を考慮してロボット導入の有無を検討するような仕組みがない状況については、今後どのような仕組み

▼図 1 都道府県別の人口 100 万人あたりの手術支援ロボット台数（文献 1~3 をもとに作成）



▼図 2 二次医療圏単位の入院患者数および手術件数の将来推計：消化器悪性腫瘍（文献 9 より）



ITOSHIMA, Hisashi・KUNISAWA, Susumu  
京都大学大学院医学研究科  
社会健康医学系専攻医療経済学分野  
IMANAKA, Yuichi  
京都大学大学院医学研究科  
社会健康医学系専攻医療経済学分野/  
ヘルスセキュリティセンター  
健康危機管理システム学分野



徹底分析  
シリーズ

ロボット手術 2nd Phase

表中 41 指除外  
0.25 以上 41 未満  
(以下同)

色ベタ + ス 20%  
文は 白ス 11a ロダ B (以下同)

88 ↑  
140 ↓

色ベタ  
対象とした RAS の一覧

	診療行為コード	手術名
呼吸器外科領域	150405910	胸腔鏡下縦隔悪性腫瘍手術（内視鏡手術用支援機器使用）
	150414010	胸腔鏡下拡大胸腺摘出術（内視鏡手術用支援機器使用）
	150406010	胸腔鏡下良性縦隔腫瘍手術（内視鏡手術用支援機器使用）
	150447610	胸腔鏡下肺切除術（区域切除）（内視鏡手術用支援機器使用）
	150447710	胸腔鏡下肺切除術（肺葉切除又は 1 肺葉超）（内視鏡手術用支援機器）
	150406110	胸腔鏡下肺悪性腫瘍手術（肺葉切除、1 肺葉超・手術用支援機器使用）
	150414410	胸腔鏡下肺悪性腫瘍手術（区域切除）（内視鏡手術用支援機器使用）
心臓血管外科領域	150406410	胸腔鏡下弁形成術（1 弁）（内視鏡手術用支援機器使用）
	150406510	胸腔鏡下弁形成術（2 弁）（内視鏡手術用支援機器使用）
	150448710	胸腔鏡下弁置換術（1 弁）（内視鏡手術用支援機器使用）
	150448810	胸腔鏡下弁置換術（2 弁）（内視鏡手術用支援機器使用）
婦人科領域	150451610	腹腔鏡下腔断端挙上術（内視鏡手術用支援機器使用）
	150409210	腹腔鏡下腔式子宮全摘術（内視鏡手術用支援機器使用）
	150409710	腹腔鏡下腔式子宮全摘術（性同一性障害・内視鏡手術用支援機器使用）
	150409310	腹腔鏡下子宮悪性腫瘍手術（子宮体がんに限る・手術用支援機器使用）

色ベタ  
20%  
11a  
MFG BBB  
↓  
17H  
(以下同)

が望ましいか検討する必要があるだろう。

DPC データからみる  
死亡率・合併症・麻酔時間

本稿執筆にあたり QIP (Quality Indicator/Improvement Project) 参加病院の DPC データを用いて RAS と鏡視下手術について死亡率や術後合併症、麻酔時間などについて比較検討を行った。QIP とは、当研究室が運営する医療の質を向上させるためのプロジェクトであり、趣旨に賛同した全国 500 以上の病院からデータを提供してもらい、医療の質指標などの分析を行っている。

色ベタ データソース・期間・対象  
2018 年 4 月～2024 年 12 月に RAS を行ったことがある病院に入院した 18 歳以上で、保険収載されている RAS および対となる胸腔鏡下または腹腔鏡下の手術を受けた患者 41 万

6390 例を抽出した。そこから緊急手術症例（緊急入院かつ入院日と手術日が同一のもの）および麻酔時間や医療費が 0 と入力されている症例、欠損値を含む症例は除外した。

呼吸器外科領域、心臓血管外科領域、消化器外科領域（消化管、肝・膵）、泌尿器科領域、婦人科領域に分類し、そのうち呼吸器外科領域、心臓血管外科領域、婦人科領域を分析対象とした。泌尿器科領域は前立腺手術が最多であるが、大多数が内視鏡支援ロボット手術を施行されており、消化器外科領域は当研究室から別の研究報告<sup>●</sup>がなされているため、今回はそれぞれ扱わなかった。

11a  
ロダ B (以下同)  
同じ領域でも疾患や手術ごとに性質は異なることが考えられるが、誌面の関係もあるため、今回はおおまかに臓器領域ごとに解析した。対象とした RAS の一覧は表 1、症例の抽出フローは図 3 のとおりである。

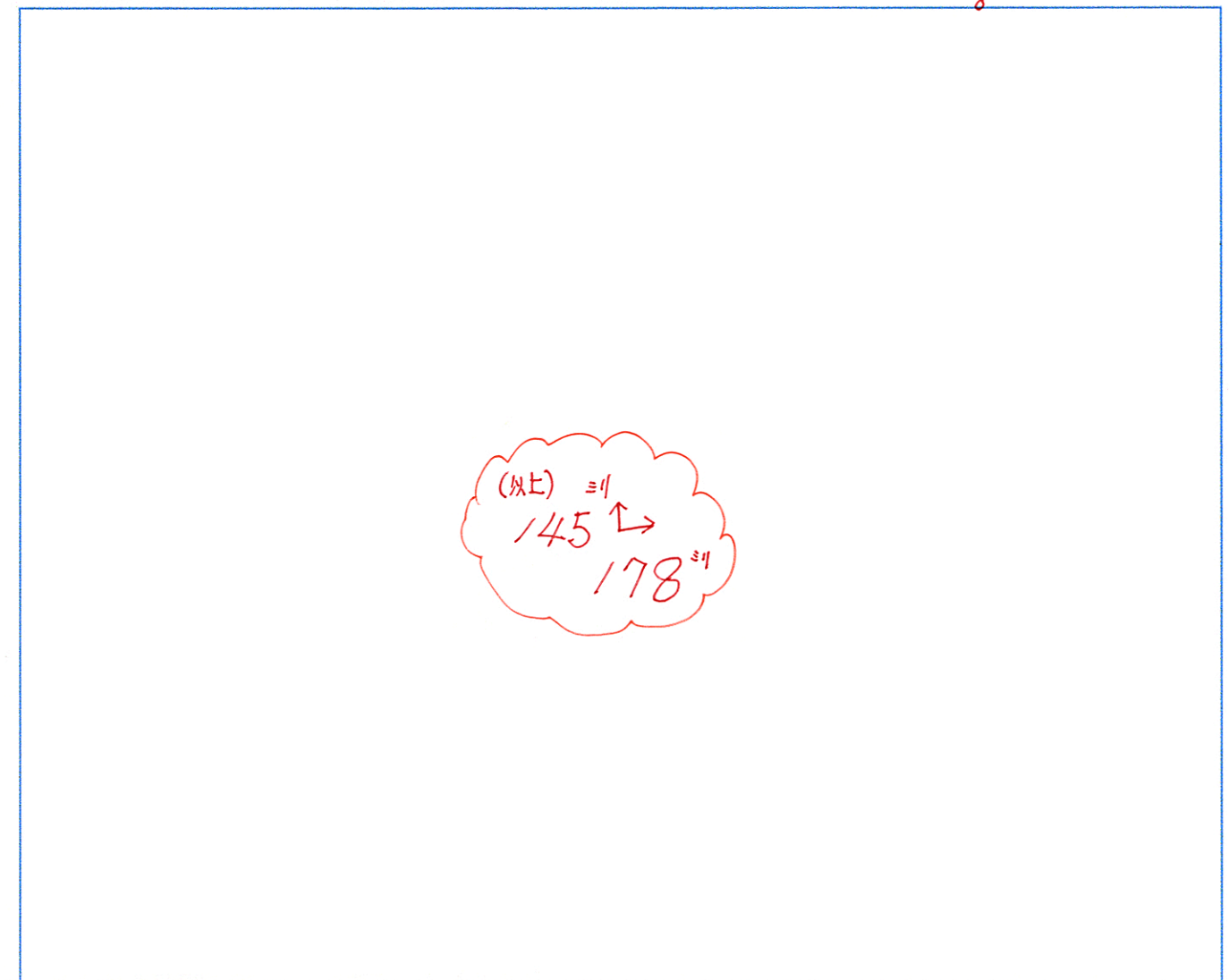
曝露・アウトカム・統計解析

色ベタ  
曝露群を RAS 群、対照群を鏡視下手術群とし、アウトカムは院内死亡、術後の ICU 管理の有無、術後在院日数、麻酔時間（麻酔時間は診療報酬データより算出）、出来高換算した総入院費用（機器のランニングコストなどは含まれていない）とした。統計モデルは傾向スコアを算出して、マッチングを行い（キャリパーは 0.2、非復元抽出）、一般化推定方程式により各アウトカムに対する RAS の影響を推定した。傾向スコアは病院ごとに性質が異なることを考慮して、病院をクラスターとしたランダム切片を用いたマルチレベルモデルにより推定した。その際に調整する変数として年齢、性別、入院時 ADL (Barthel index)、入院時併存症 (combined comorbidity index)、手術実施年度 (2018～2019 年度、2020～2021 年度、2022～2023 年度、2024 年度) を用いた。アウトカムが二値変

22  
2

図 3 症例選択のフローチャート

5H  
\*開腹開胸手術症例は対象ではないが、症例数の分布の参考のために記載している。



10  
2  
数のものは、修正ポワソン回帰を用い、連続変数のものはガンマ分布を用いて、それぞれリスク比を推定した<sup>10)</sup>。

結果

色ベタ  
最終的に 13 万 8121 例から開胸・開腹手術症例を除いた 8 万 3375 例を分析の対象とした。各領域のマッチング前と後の調整変数の分布と SMD (standardized mean difference) は表 2

のとおりである。

傾向スコアによるマッチングを行うことで、おおむね調整変数の SMD が 0.1 以下となった。年齢は呼吸器外科領域が高く、婦人科領域ではほかの 2 領域より若年であった。呼吸器外科領域と婦人科領域では、年度が進むにつれて RAS の件数が増加する傾向を認めた。表 3 に、マッチングした集団での一般化推定方程式を用いた解析結果

を示す（心臓血管外科領域は性別の SMD が大きかったので解析モデルに再度含めた）。

考察

色ベタ  
今回、年齢や性別、併存症など個人レベルの変数および病院の施設特性を考慮したモデルによる解析で検討した。院内死亡や術後 ICU 管理については、いずれの領域でも両群で明らかな差は



▼表2 マッチング前後の患者特性(調整変数)の分布

調整変数		マッチング前		マッチング後		
呼吸器外科領域						
		RAS n = 3938	鏡視下手術 n = 40492	RAS n = 3938	鏡視下手術 n = 3938	SMD
年齢		71 (63, 76)	72 (65, 77)	71 (63, 76)	71 (63, 76)	0.05
性別 (男性)		2190 (56%)	23385 (58%)	2190 (56%)	2187 (56%)	- 0.08
入院時 ADL		100 (100, 100)	100 (100, 100)	100 (100, 100)	100 (100, 100)	0.02
入院時併存症		0 (0, 1)	0 (0, 1)	0 (0, 1)	0 (0, 1)	- 0.02
手術年度	2018 ~ 2019	343 (8.7%)	13555 (33%)	343 (8.7%)	314 (8.0%)	0.03
	2020 ~ 2021	857 (22%)	12235 (30%)	857 (22%)	869 (22%)	
	2022 ~ 2023	1776 (45%)	10988 (27%)	1776 (45%)	1805 (46%)	
	2024	962 (24%)	3714 (9.2%)	962 (24%)	950 (24%)	
心臓血管外科領域						
		RAS n = 317	鏡視下手術 n = 2265	RAS n = 316	鏡視下手術 n = 316	SMD
年齢		62 (53, 71)	68 (58, 75)	62 (53, 71)	67 (54, 74)	0.20
性別 (男性)		211 (67%)	1345 (59%)	210 (66%)	205 (65%)	- 1.60
入院時 ADL		100 (100, 100)	100 (100, 100)	100 (100, 100)	100 (100, 100)	- 0.03
入院時併存症		1 (0, 2)	1 (0, 2)	1 (0, 2)	1 (0, 2)	- 0.07
手術年度	2018 ~ 2019	64 (20%)	443 (20%)	63 (20%)	68 (22%)	0.10
	2020 ~ 2021	109 (34%)	661 (29%)	109 (34%)	95 (30%)	
	2022 ~ 2023	102 (32%)	839 (37%)	102 (32%)	109 (34%)	
	2024	42 (13%)	322 (14%)	42 (13%)	44 (14%)	
婦人科領域						
		RAS n = 3938	鏡視下手術 n = 28744	RAS n = 6608	鏡視下手術 n = 6608	SMD
年齢		48 (45, 59)	50 (46, 66)	49 (45, 62)	49 (45, 59)	- 0.04
入院時 ADL		100 (100, 100)	100 (100, 100)	100 (100, 100)	100 (100, 100)	- 0.01
入院時併存症		0 (0, 0)	0 (0, 0)	0 (0, 0)	0 (0, 0)	- 0.02
手術年度	2018 ~ 2019	392 (5.1%)	9162 (32%)	392 (5.9%)	385 (5.8%)	0.02
	2020 ~ 2021	1777 (23%)	8134 (28%)	1635 (25%)	1610 (24%)	
	2022 ~ 2023	3531 (46%)	8594 (30%)	3033 (46%)	3100 (47%)	
	2024	1919 (25%)	2854 (9.9%)	1548 (23%)	1513 (23%)	

連続変数は中央値、四分位範囲、カテゴリー変数は%で表す。  
SMD: 標準化平均差 standardized mean difference  
データソース: QIP 参加病院より提供の DPC データ

認めなかった。呼吸器外科および婦人科では RAS 群で麻酔時間の延長を認めた。これは、これまでの報告とも一致する結果である。一方で心臓血管外科

科では差は認めなかった。術後在院日数は婦人科では RAS 群で短い傾向を認めた。総入院費については、呼吸器外科の RAS 群では高かったものの、逆

▼表3 マッチング後のアウトカムとリスク比

	マッチング後 RAS	マッチング後 鏡視下手術	リスク比	95%信頼区間	p 値
呼吸器外科領域					
院内死亡	10 (0.3%)	9 (0.2%)	1.11	0.45 ~ 2.73	0.82
術後 ICU 管理	56 (1.4%)	52 (1.3%)	1.08	0.74 ~ 1.57	0.70
術後在院日数	6 (4 ~ 8)	5 (4 ~ 7)	1.04	0.99 ~ 1.08	0.052
麻酔時間 (分)	271 (221 ~ 332)	217 (158 ~ 277)	1.25	1.23 ~ 1.27	< 0.01
総入院費 (円)	1,737,785 (1,558,173 ~ 1,896,928)	1,634,910 (1,304,645 ~ 1,830,618)	1.06	1.05 ~ 1.08	< 0.01
心臓血管外科領域					
院内死亡	5 (1.6%)	7 (2.2%)	0.71	0.23 ~ 2.23	0.56
術後 ICU 管理	103 (32.6%)	126 (40%)	0.83	0.67 ~ 1.01	0.07
術後在院日数	11 (9 ~ 16)	12 (9 ~ 16)	0.93	0.83 ~ 1.04	0.20
麻酔時間 (分)	429 (375 ~ 495)	432 (382 ~ 494)	1.01	0.98 ~ 1.04	0.56
総入院費 (円)	4,053,865 (3,612,883 ~ 4,704,115)	4,736,010 (4,179,230 ~ 5,470,758)	0.86	0.81 ~ 0.92	< 0.01
婦人科領域					
院内死亡	0 (0%)	0 (0%)	1.00	0.97 ~ 1.03	1.00
術後 ICU 管理	6 (< 0.1%)	5 (< 0.1%)	1.20	0.36 ~ 3.93	0.76
術後在院日数	4 (4 ~ 5)	4 (4 ~ 5)	0.98	0.97 ~ 0.999	0.05
麻酔時間 (分)	263 (221 ~ 316)	257 (214 ~ 314)	1.02	1.01 ~ 1.03	< 0.01
総入院費 (円)	974,300 (900,130 ~ 1,072,205)	987,155 (900,960 ~ 1,086,933)	0.99	0.98 ~ 0.99	< 0.01

データソース: QIP 参加病院より提供の DPC データ

に心臓血管外科、婦人科では低かった。  
本検討の限界として、疾患特異的な変数の調整(例えば、がんであれば臨床ステージ)ができていないことや施設要因も検討したモデルにはなっているが、術者の経験など未測定の交絡因子となり得るものが考えられ、さらなる検討が必要であろう。

### 医療費と医療の質 (臨床アウトカム)とのバランス、 手術費と総入院費の動向

既存の論文による報告では、各診療科に共通する傾向として、まず医療費については、高額なロボット本体、維持費、手術ごとの消耗品により、従来の腹腔

鏡・胸腔鏡手術や開腹・開胸手術と比べて総費用が高くなる。ただし、入院期間の短縮や合併症の減少により、その費用の一部は相殺される可能性があり、施設の症例数が多いほどコスト効率は改善されると報告されている<sup>11~13)</sup>。

次に医療の質(臨床アウトカム)について、開腹・開胸手術との比較では、RAS は出血量が少なく、入院期間が短いなど、低侵襲手術としての利点が明確である。一方、従来の腹腔鏡・胸腔鏡手術との比較では、多くの臨床アウトカムは同等と報告されているが、骨盤内や肥満などの困難な症例で術中に開腹・開胸手術へ移行が少ないとい

う報告があり、その点は RAS の利点として考えられる。手術時間は RAS のほうが長くなる傾向があるが、学習曲線や技術の習熟度によって改善される可能性もある<sup>11~13)</sup>。

領域別にみた場合には、  
・泌尿器科: 前立腺癌手術では、がん

の根治性を高め、術後の性機能や排尿機能を温存するうえで優位性をもつ可能性が示唆されている。

・消化器外科: 特に骨盤の深い部分で行う直腸癌手術では、神経温存による排尿障害の軽減や、より精密なリンパ節郭清や切除断端陽性率の低下によるがん制御の向上が期待されて



いる。

39 2 •呼吸器外科：肺癌手術においても、従来の胸腔鏡下手術より多くのリンパ節を郭清できる可能性が報告されており、より質の高いがん手術につながると考えられている。

•婦人科や心臓血管外科：低侵襲性の恩恵は大きく、複雑な手技をより合併症が少なく安全に遂行できる可能性がある。

総じて、RAS は多くの領域で従来の低侵襲手術と同等あるいはそれ以上の臨床成績を提供し、特に複雑で精密な操作を要求される手技においてその真価を発揮する可能性がある。しかし、その普及には高コストという大きな課題が伴う。

### 以上をふまえ日本の医療は どこに向かうべきか

日本の RAS は、都道府県間で約 10 倍の導入格差が生じ、「RAS へのアクセス格差」と「医療資源の非効率」という、相反する課題を抱えている。現状は各医療機関の判断に委ねられており、市場原理に任せた米国型の格差拡大の可能性と、症例数が少ない施設での非効率な運用が懸念される。

これは私見であるが、この課題に対し、英国が国家戦略として進める「ネットワーク化」「データにもとづく計画的配置」が重要な示唆を与えよう。日本でも連携強化は長年取り組まれているが、「データにもとづく計画的配置」は明示的に取り組まれている「新たな地域医療構想」における適切な医療機能の集約・連携の流れと同様に、ロボットのような高額医療技術

の配置においても集約・連携を考慮することが必要になるのではないだろうか。そしてこの視点は個々の医療経営においても同時に重要であり、協調・連携を促進した地域全体のマネジメントやデータ・情報の活用が不可欠となる<sup>14)</sup>。

具体的には、将来の疾患別患者数推計等のデータを活用し、地域ごとに必要な台数を計画的に配置する。必要な症例数を確保できるよう地域内のいくつかの病院へ集約しつつ、スタッフやリソースのネットワーク化を進めることで、質の高い医療への公平なアクセスを保障し、医療資源の最適化を図ることが考えられる。持続可能な医療提供体制を構築するためにも今後議論が進むことが期待される。

文献 1/3a 見出し MB 31

- 厚生労働省．令和 5 年度病床機能報告．[https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/open\\_data\\_00016.html](https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/open_data_00016.html) (2025 年 7 月 18 日閲覧)
- e-Stat 政府統計の総合窓口．令和 2 年国勢調査．人口等基本集計．2021. <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00200521&tstat=000001136464&cycle=0&tclass1=000001136466&tclass2val=0> (2025 年 7 月 18 日閲覧)
- Natural Earth. <https://www.naturalearthdata.com/> (2025 年 7 月 18 日閲覧)
- Brylkov M. Hospital Adoption of Surgical Robotics in 2025: Key Drivers & Challenges. iData Research. 2025. <https://idataresearch.com/hospital-adoption-of-surgical-robotics-in-2025/> (2025 年 7 月 21 日閲覧)
- Mastrokostas PG, Mastrokostas LE, Emara AK, et al. Geographic and socioeconomic disparities in robotic spine surgery access in the continental United States: a cross-sectional ecological analysis. Global Spine J 2025 Jun 24; 21925682251356218. [Online ahead of print]
- McCartney J. The need to prepare more surgeons for rural practice is urgent. ACS 2024; 109. <https://www.facs.org/for-medical-professionals/news-publications/news-and-articles/bulletin/2024/march-2024-volume-109-issue-3/the-need-to-prepare-more-surgeons-for-rural-practice-is-urgent/> (2025 年 7 月 21 日閲覧)
- McCartney J. Robotic surgery is here to stay—and so are surgeons. ACS 2023; 108. <https://www.facs.org/for-medical-professionals/news-publications/news-and-articles/bulletin/2023/may-2023-volume-108-issue-5/robotic-surgery-is-here-to-stay-and-so-are-surgeons/> (2025 年 7 月 21 日閲覧)
- National Health Service England. Implementation of robotic-assisted surgery (RAS) in England. 2025. [https://gettingitrightfirsttime.co.uk/wp-content/uploads/2025/07/FINAL\\_NHS-England-and-GIRFT-implementation-of-robotically-assisted-surgery-in-England\\_17-07-2025.pdf](https://gettingitrightfirsttime.co.uk/wp-content/uploads/2025/07/FINAL_NHS-England-and-GIRFT-implementation-of-robotically-assisted-surgery-in-England_17-07-2025.pdf) (2025 年 8 月 20 日閲覧)
- 厚生労働省．資料一第 7 回第 8 次医療計画等に関する検討会．令和 4 年 3 月 4 日．[https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage\\_24045.html](https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_24045.html) (2025 年 7 月 15 日閲覧)
- Shiba K, Kawahara T. Using propensity scores for causal inference: pitfalls and tips. J Epidemiol 2021; 31: 457-63.
- Rivero-Moreno Y, Echevarria S, Vidal-Valderrama C, et al. Robotic surgery: a comprehensive review of the literature and current trends. Cureus 2023; 15: e42370.
- Sadri H, Fung-Kee-Fung M, Shayegan B, et al. A systematic review of full economic evaluations of robotic-assisted surgery in thoracic and abdominal pelvic procedures. J Robot Surg 2023; 17: 2671-85.
- Lai TJ, Roxburgh C, Boyd KA, et al. Clinical effectiveness of robotic versus laparoscopic and open surgery: an overview of systematic reviews. BMJ Open 2024; 14: e076750.
- 今中雄一．序論．In:「病院」の教科書．第 2 版．東京：医学書院，2023；2-11.