

TOPICS

Robotic Surgery



神戸大学 食道胃腸外科 掛地 吉弘

ロボット三原則

SF作家アイザック・アシモフのSF小説¹⁾において、ロボット三原則(表1)が提唱されたのは1963年である。人間への安全性、命令への服従、自己防衛を目的とする3つの原則から成る。現実のロボット工学にも影響を与え、ソニーのペットロボット「アイボ」や重作業・介護補助用ロボットスーツ「HAL」も倫理上の拠り所としている。近年、外科手術の分野でもロボット手術が現実化している。基本的に現在のロボット手術支援装置の主流は術者の手の動きを忠実にロボット鉗子が再現する Master-Slave 型であり、手術操作をするのはあくまで術者である人間である。この型式は自動化された動きや、機械のみの動作は無く、人間の制御のもとに安全性が確保されている。ロボット三原則が適用されるのは自意識や判断能力を持つ自律型ロボットに限られており、自意識や判断能力を持たない乗り物や道具としてのロボットに三原則は適用されない。しかしながら命令への服従を掲げている第二条はそのまま手術ロボットに当てはまる。さらに、安全性をうたっている第一条も手術ロボットの倫理観として重要であり、術野の危険な区域(傷つけてはならない正常臓器や脈管)には立ち入らないような機能を将来的には求められる。第三条については自己防衛を耐久性という考えに置き換えることもできる。

da Vinci surgical system

90年代に米国西海岸のベンチャー企業である Intuitive Surgical 社が手術ロボット“da Vinci surgical system”を開発した。da Vinci は全世界の中規模以上の病院に2012年までに約2500台が導入され、泌尿器、心臓外科、一般外科領域で既に150万例を超す手術実績がある。日本には、da Vinci は2000年に九州大学と慶應大学に導入され、2009年に厚生労働省薬事・食品衛生審議会“da Vinci S Surgical System”の国内の製造販売が承認され、2012年に“da Vinci Si Surgical

System”も承認された。保険適応に関しては2012年4月から前立腺全摘術に対するロボット加算が保険収載されている。現在国内の da Vinci 保有台数は70台を突破し、日本は世界第2位の内視鏡手術支援ロボット保有国となっているが、前立腺手術が主体で1台あたりの手術施行件数は世界最少であり、前立腺全摘以外の術式の先進医療登録、保険収載が望まれる。

消化器外科のロボット手術

神戸大学病院では“da Vinci S Surgical System”が2010年に導入された。食道胃腸外科ではこれまでに食道癌、胃癌、直腸癌に対して Robotic Surgery を行い、その有用性を検討している。内視鏡外科手術の課題と限界を克服する三次元画像の「目」と自由度が高く精密操作が可能な「手」を駆使した Robotic Surgery は、難易度の高い手術も安全に確実に、次世代の外科手術の一分野として期待される。前立腺全摘術では、前立腺を摘出した後に、尿道と膀胱を全周性に縫合する操作で、da Vinci の良く動く「手」が絶対的な技量を発揮する。特に6時方向と12時方向の運針は腹腔鏡手術の持針器では高度の技術が要求され、難易度が高いとされている。消化管癌のリンパ節郭清を伴う手術を行ってみて、まず郭清範囲の視野展開が3Dで良好に可能である。カメラはぶれずに固定されており、組織を牽引する鉗子もぶれずに一定の力を加えることができるため、脂肪組織の境目まで良くわかり、血管、リンパ管、神経の区別も付く。さらに、da Vinci の鉗子の自由度は7であり、人間の手以上に良く動き、大きさは7mm程度とはるかに小さい。手首が良く動くため、術野の組織を裏側(背側)からも操作できる。腹腔鏡手術で用いる鉗子の自由度は4~5であり、動きが制限された状態でどう動かすかを考えて工夫しながら表側(腹側)からの操作になる。もちろん結紮や縫合操作に関しては格段の操作性があり、術者の手の動きを忠実に再現してく

表1 ロボット三原則

第一条	ロボットは人間に危害を加えてはならない。また、その危険を看過することによって、人間に危害を及ぼしてはならない。
第二条	ロボットは人間にあたえられた命令に服従しなければならない。ただし、あたえられた命令が、第一条に反する場合は、この限りでない。
第三条	ロボットは、前掲第一条および第二条に反するおそれのないかぎり、自己をまもらなければならない。
—2058年の「ロボット工学ハンドブック」第56版， 『われはロボット』 ¹⁾ より。	

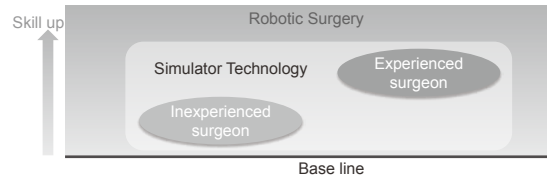


図1 Robotic Surgery における術者の経験と手術の技量

れ、動きの成分を考えたりする必要が無く、直観的な (intuitive) 操作を可能にしてくれる。

ロボット手術の特徴と将来性

手術の learning curve をみると、手術時間や出血量などの点から一定の技術レベルに達するまで、腹腔鏡手術が数十例を必要とするのに対して、ロボット手術では十例程度で学習できるようである。da Vinci の操作性が優れており、技術の習得が容易であることは、手術経験の少ない若手にとっては福音であり、手術経験の豊富な熟練者にとってもさらに上のレベルへの向上を目指すことができる (図1)。手術の技量が向上する度合いは手術経験の少ない若手の方が熟練者よりも大きいと推測される。ロボット手術の優越性を検証する臨床試験で、熟練者が手術を行うと、従来の手術とロボット手術の差が出難いことが考えられ、優越性の証明が難しいのかもしれない。百数十年の手術の歴史の中で、人間の比較的大きな手を体腔内に入れる手術から、より小さな内視鏡と鉗子を用いる内視鏡外科手術へと移行してきており、より良く動くロボットの手を用いた Robotic Surgery へと将来的に発展することが望ましい。現状で、保険適応の問題や高額なコストの問題など、ロボット手術を取り巻く環境には解決すべき課題も多い。使用できる device にも制限があり、装置の大きさや駆動・制御などの工学的技術にも改良の余地はあると思われる。

次世代の外科学

手術用ロボットに代表される医療機器の革新に伴

い、今までになかった外科解剖や生理機能の理解が深まり、遠隔手術という新しい医療形態も発展しつつある。局所療法であった手術療法が、肥満・糖尿病・高血圧の治療など、全身的な治療と結びついてきている分野もある。外科手術はさまざまな可能性を持って次世代へと発展を続けることが予想され、期待される。病態を理解した上で直接手を触れて疾患の治療をする外科学の可能性は Science Fiction をも Non-fiction に変えていく醍醐味があり、興味がつきない。アシモフが著作の中で述べている SF 小説に必要な要素、価値観の転倒による驚き、sense of wonder を大切にしていきたい。

文献

- 1) アイザック・アシモフ「われはロボット」小尾美佐訳、早川書房〈ハヤカワ文庫〉、1983年1月(原著1963年6月)、5頁。