

消化器外科における内視鏡の利点と期待

京都大学 消化管外科

山田 理大、坂井 義治

1 はじめに

消化器外科における内視鏡下手術（腹腔鏡、胸腔鏡）は、小さな切開創から体腔内にカメラを挿入し、モニター画面に映し出される術野を見ながら、別の数カ所の小切開創から挿入した手術器具により手術操作を行うものである。この手術は体壁破壊が小さく、また腹腔・胸腔といった閉鎖空間内で手術が遂行されるため、患者への低侵襲性（鎮痛剤の減量、早期離床、早期経口開始など）が期待され、また術野の拡大視効果により、従来の開腹手術では不可能であった外科局所解剖の解明にも貢献している。

本稿では消化器外科領域における内視鏡下手術の現状と利点および今後の展望について概説する。

2 消化器外科における内視鏡下手術の歴史と現状

消化器外科領域における内視鏡下手術は、1980年9月13日にドイツの婦人科医 Kurt Semm により行われた腹腔鏡下虫垂切除術が始まりといわれている¹⁾。1985年には初めて腹腔鏡下胆嚢摘出術がドイツで行われたが、1987年にフランスの外科医 Philippe Mouret が行った **electronic laparoscopy** を用いた胆嚢摘出術、すなわち内視鏡にビデオカメラを取り付けテレビモニターで映し出された映像で行われた手術は、その後の内視鏡下手術の発展に多大な影響を及ぼしたといえる^{2, 3)}。日本では1990年に初めて腹腔鏡を使った胆嚢摘出術が施行された。その後1992年に健康保険対象となり爆発的に普及し、現在では胆石症の標準術式となっている。

癌治療に関しては、20世紀後半までは術後の生

体機能、QOL を犠牲にしてまでもしっかりとした根治切除を最優先とする拡大切除全盛の時代であった。しかしやがて個々の病態にあった必要最低限の外科的切除と、補助療法としての化学療法、放射線療法（今や補助とは言えない効果を見せている）などを組み合わせた集学的治療へと時代は変遷し、低侵襲手術への社会のニーズが高まった。そこへ登場した内視鏡下手術は、時代のニーズにマッチし、瞬く間に世界へ広がった。

腹腔鏡下大腸手術は、1991年に Jacobs M らが世界で初めて紹介し⁴⁾、日本では渡邊らが1993年に導入し紹介された⁵⁾。1996年には早期大腸癌が保険適応となり、2002年には進行癌に対しても認可された。症例数は大腸癌患者の増加とともに年々増加の一途をたどり、日本内視鏡外科学会 (JSES) による第11回アンケート調査によると⁶⁾、2011年に施行された小腸、大腸疾患の内視鏡下手術は24,802例であり、腹腔鏡下胆嚢摘出術の25,001例とはほぼ肩を並べるに至った (図1)。その

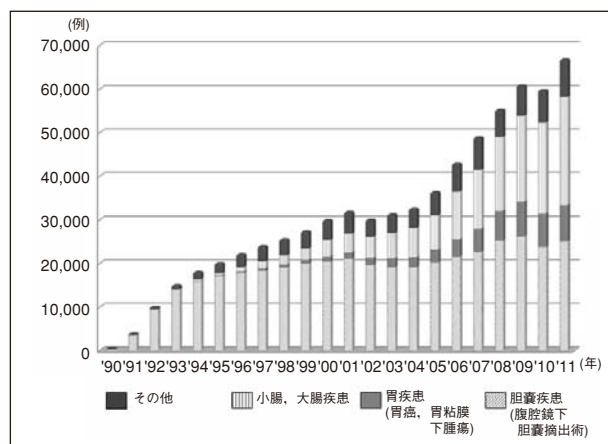


図1 腹部外科領域の疾患別症例数の推移
(JSES 第11回アンケート調査⁶⁾より引用、一部改変)

内、大腸癌手術は16,417例（66%）を占め、早期癌と進行癌の割合では進行大腸癌手術が実に11,487例（69%）を占めている。また2011年の大腸癌症例に占める内視鏡下手術の比率は46.8%（16,417/35,048）であり、開腹手術とはほぼ同数にまで増加している。ただし、本アンケートは内視鏡下手術に積極的に取り組む施設が多く含まれ、全国で施行されている大腸癌手術件数の20%にも満たないと推測される。大腸癌に対する内視鏡下手術が標準治療としての地位を獲得するにはまだ時間がかかりそうである。

胃癌に対する内視鏡下手術は1991年に北野らにより初めて腹腔鏡補助下幽門側胃切除が報告された⁷⁾。2002年には保険収載され症例数は年々増加している。JSES第11回アンケート調査によると⁶⁾、2011年に行われた内視鏡下胃癌手術は7,596例であり、消化器癌手術としては大腸癌に次ぐ症例数となっているが、胃癌症例に占める内視鏡下手術の比率は27.9%（7,596 / 27,201）に過ぎない。胃癌に対する内視鏡下手術の成績に対するエビデンスはまだ十分とはいえず、胃癌治療ガイドライン⁸⁾においても日常診療としてではなく臨床研究の一方として位置づけられている。

消化器外科領域における内視鏡下手術の適応疾患は、術式や手術機器の開発・改良と共に拡大している。表1に、内視鏡下手術が行われている主な消化器疾患を挙げた（臨床研究レベルを含む）。

表1 内視鏡下手術が行われている主な消化器疾患（臨床研究レベルを含む）

- 胆嚢疾患 (胆石症, 胆嚢炎, 胆嚢ポリープ) - 虫垂炎 - 小腸・大腸疾患 (結腸癌, 直腸癌, 小腸腫瘍) - 胃疾患 (胃癌, GIST, 胃十二指腸潰瘍穿孔) - 食道疾患 (食道癌, アカラシア, 裂孔ヘルニア, 逆流性食道炎) - 炎症性腸疾患 (潰瘍性大腸炎, クロウン病) - 鼠径ヘルニア, 腹壁ヘルニア - 腸管癒着症, 腸閉塞 - 脾疾患 (ITP, HS, AIHA, 脾機能亢進症) - 肝疾患 (肝腫瘍, 肝臓癌, 生体肝移植ドナー手術) - 脾臓疾患 (良性腫瘍, 低悪性度腫瘍)
--

はいえない段階にある肝臓・脾臓といった分野まで様々であるが、次第に挑戦の時代を経て検証と評価を求められる時代へ移行しつつある。

3 消化器外科における内視鏡下手術の利点と課題

内視鏡下手術のメリットと考えられている項目を挙げてみた。

- (1) 痛みが軽く、身体への負担が比較的少ない。
- (2) キズが小さく、整容性に優れている。
- (3) 術後の回復が早く、退院が早い。
- (4) 癒着が少なく腸閉塞になりにくい。
- (5) 拡大鏡を使って肉眼では見えない物が確認できるため、より精緻な手術が可能。
- (6) 手術映像の記録と共有により、若手外科医への手術手技の伝承と教育が可能。
- (7) 様々な内視鏡手術関連の医療機器開発にともない、医療と科学技術の連携が進み、多岐にわたる産業の振興と技術革新に貢献。

一方、デメリットと考えられる項目や課題も多く残されている。

- (1) 手術時間が長くなる傾向がある。
- (2) 全身麻酔、頭低位などの特別な体位を必要とする。
- (3) 気腹を必要とし、呼吸・循環器への合併症が危惧される。
- (4) 指などで直接臓器に触れることができず、特殊な機器を扱うためための習熟した技術と高度なテクニックが要求される。
- (5) 修練途上の手技であり、施設格差や外科医の技術格差は少なからず存在する。
- (6) 視野が狭く、画面に映らない部分で起こる隣接臓器損傷や出血などの合併症。
- (7) 高価な医療機器によるコスト増とディスプレイ製品による医療廃棄物の増加。

内視鏡下手術の利点と欠点、課題として挙げられるこれらの項目については、正しい評価方法に基づいた検証が必要であり、それは社会に対する内視鏡外科医の使命でもある。内視鏡下手術の低侵襲性や妥当性、短期・長期成績に関しては、様々なランダム化比較試験（RCT）やメタアナリシスが行われている。

3.1 低侵襲性のエビデンス

「内視鏡下手術」＝「低侵襲性」は、世間が最も期待する結果であることは疑う余地はない。しかし「低侵襲性」という定義は曖昧であり、その評価法は、生体反応などの基礎研究から、手術時間、出血量、疼痛、術後在院日数といった臨床データまで多岐にわたる。また低侵襲性ばかりを重視し、手術の根治性（確実性）や安全性が損なわれてはならず、少なくとも従来の開腹手術と同等以上の短期・長期成績が求められる。

内視鏡下手術は開腹手術と比較して体壁破壊が小さく、創痛が軽度であることは間違いないであろう。術後の生体反応については、HLA-DR、IL-6、CRPなどを指標とし、開腹手術と比較した内視鏡下手術の免疫能やストレス反応に対する優位性が報告されている^{9, 10)}。また、内視鏡下手術は気腹・気胸という密閉空間の中で手術が行われるため、温度・湿度といった腹腔内の環境変動が少なく¹¹⁾、中皮細胞への障害が少ないことも示されている¹²⁾。

内視鏡下手術と開腹手術の手術成績を比較した大規模臨床試験は、大腸癌手術の領域での報告が比較的多い。欧米で行われた進行大腸癌に対する腹腔鏡手術と開腹手術を比較した大規模 RCT、Barcelona study^{13, 14)}、COST^{15, 16)}、CLASICC^{17, 18)}、COLOR^{19, 20)}では、早い術後回復、疼痛の減少、入院期間の短縮、創感染発生率の低下などが報告され、また全生存期間、無再発生存率に差を認めないと報告されている。一方、本邦では2004年から開始された国内 RCT、JCOG0404「進行大腸癌に対する腹腔鏡手術と開腹手術の根治性に関するランダム化比較試験」（研究代表者：北野正剛）²¹⁾が症例登録を終了し、2012年の ASCO (American Society of Clinical Oncology 48th Annual Meeting 2012) にてその早期成績が報告され、腹腔鏡手術の安全性が示された。今後、長期成績における腹腔鏡手術の開腹手術に対する非劣性が証明されれば、腹腔鏡手術の普及はさらに進むと考えられる。

3.2 内視鏡による拡大視効果

内視鏡手術の発展には、映像デバイスをはじ

めとした様々な医療機器の発展によるところが大きい。消化器外科の手術操作の大半は、摘出すべき臓器の周囲組織からの剥離・切離であり、剥離面が背側になることも多い。開腹手術の視野は上からの見下ろしであるが、内視鏡下手術では水平あるいは見上げの視点から術野を作ることでもでき、臓器の側面や背側での視野が良好であることは大きなメリットとなる。また内視鏡の近接・拡大視効果により、狭い空間でも精緻な観察と手術が可能となった。特に狭い骨盤内での結腸・直腸領域における局所解剖の解明は著しく、新たな外科解剖に則した精度の高い大腸癌手術が可能となった^{22, 23)}。より精緻な操作が可能となった結果、出血量は極めて減少し、例えば、当科で行われる直腸癌に対する定型手術（腹腔鏡下低位前方切除術）の平均出血量はおおよそ 30 ml 程度である。また、癌の根治とともに自律神経温存等による生体機能温存への寄与も期待されている。内視鏡下手術は、単に小さなキズで低侵襲ということだけでなく、より優れた手術法、治療法として発展していかなければならない。

3.3 内視鏡下手術の教育

内視鏡下手術は、取り扱う機器の多様性や操作の特殊性などから、トレーニングによる習熟が必要とされ、そのラーニングカーブが問題とされることもある。しかし、モニター画像により術者・助手が視野を共有でき（図2）、また手



図2 内視鏡下手術風景

術者・助手が同じモニター画像による視野を共有し手術を行う。

術映像の記録・共有による教育への利用・手術の定型化が行いやすいといった利点がある。また基本動作、手技の獲得には、ドライラボ（ドライボックス（図3）、バーチャルリアリティトレーニングシステム（図4）、アニマルラボなどを利用したトレーニングが可能であり、手術



図3 ドライボックスによる縫合・結紮トレーニング



図4 バーチャルリアリティ内視鏡手術トレーニングシミュレーター (LapVR™: CAE ヘルスケア社)
内視鏡下手術に必要な基本スキル、縫合・結紮や手術手順のトレーニングまで可能

経験を補うことができると考えられている。日本内視鏡外科学会では教育セミナーや縫合・結紮手技講習会、技術認定制度などを設け、内視鏡外科手術の健全な普及と啓蒙に努めている。

3.4 医療機器開発と課題

内視鏡下手術は、関連する医療機器の開発・進歩と共に大きな発展を遂げた。映像関連技術をはじめとした各種デバイスの進化は、手術そのものを変えたといっても過言ではない。当初は電気メスだけであったエネルギーデバイスに加え、超音波切開凝固装置やベッセルシーリングシステムなどの登場により、切開剥離・脈管処理・止血といった手術の基本操作の安全性が高まり、手術時間の短縮にも貢献している。また、自動縫合器・吻合器、鉗子の細径化、単孔・**Reduced Port Surgery** 関連機器など、様々な分野で更なる低侵襲化と新しい手術を目指した開発競争も繰り広げられている。

こうした機器開発の裏で、内視鏡下手術の欠点として常に取り上げられるコストの問題がある。内視鏡下手術では高価な手術器具を使用するため、手術コストは増加する。またこうした多くの機器がディスポ製品であるため、医療廃棄物の増加も社会問題となっている。しかし一方では、術後の回復が早く入院期間の短縮が見込めるため、治療成績が安定し手術の安全性が確保されれば、医療費全体としては相殺される可能性もある。このような負の側面も考慮に入れつつ、今後更に医工連携と産業振興の重要性は増していくであろう。

4 内視鏡下手術への期待と展望

映像技術の飛躍的な発展は、手術の眼となる内視鏡カメラやモニター、記録デバイスといった内視鏡下手術システムの根幹に多大な恩恵もたらした。特に近年の光学系機器の進歩とハイデフィニション (HD) 技術の内視鏡手術への応用には目を見張るものがある (図5)。ここでは、内視鏡下手術に関連したいくつかの新しい技術を紹介し今後の展望について解説する。



図5 HD内視鏡システム (10 mm フレキシブルスコープ (LTF-S190-10)、VISERA ELITE (OTV-S190) : オリンパス社)
HD による画質向上に加え、カメラ先端が自在に屈曲するため、狭空間での視野作りに優れている。



図6 内視鏡下手術用ロボット (da Vinci[®] S HDTM SURGICAL SYSTEM: Intuitive Surgical 社/株式会社アダチ)
術者の手術風景: 術者の操作コンソール。

4.1 ロボット支援手術

da Vinci[®] S HDTM SURGICAL SYSTEM (Intuitive Surgical 社) の世界的な普及と、2012 年 4 月に根治的前立腺全摘除術における内視鏡下手術用ロボット「da Vinci S」支援が健康保険の給付対象となったことを契機に、本邦でも急速に「da Vinci S」の導入が進んでいる。消化器外科領域におけるロボット支援手術は、胃・大腸・食道が多く、その他、肝・脾などでも始まっている²⁴⁾。「da Vinci S」ロボット支援手術が通常の腹腔鏡手術より優れている点は、

- (1) 3次元画像であること (奥行き感がわかる)。
- (2) 自由度の高い多関節鉗子により、あたかも自分の手のように器具の先端を回したり曲げたりでき、手ぶれも除去できること。
- (3) 術者が使う器具以外の支える器具やカメラがぶれないこと。

などである。

現段階でのロボット支援手術は、ロボットが自走するわけではなく、あくまでも術者の遠隔操作によって稼働する支援システムに過ぎない (図6, 図7)。したがって、特に3次元空間での術野展開が重要となる消化器外科領域では、ロボット支援手術に先立ち、通常の内視鏡下手術で十分なトレーニングを積む必要があると我々は考えている。ただし、「ロボット支援手術は開腹手術と内視鏡下



図7 内視鏡下手術用ロボット「da Vinci S」
術野の風景: 助手は外部 3D モニターを介して手術をサポートする。

手術の間の技術 (手術手技) の架け橋になる。」との意見もあり、手技習得、教育法についての評価は一定しない。ロボット支援手術に対する評価はこれからであるが、この領域の機器開発は日進月歩であり、数年後の情勢を予測することも難しい。医療コストの面を含め、克服すべき問題も多いが、それゆえにチャンス秘めた魅力的な分野であるといえる。

4.2 3D HD 内視鏡システム

通常の内視鏡下手術は、腹腔や胸腔といった3次元空間の手術野を2次元のテレビモニターに映し出して行うものである。ここでは術野の奥行き感は術者のトレーニングとカメラアングルの工夫 (術野の見下ろし “bird view”、斜めか

らの視野作りといったスコピストの気配り) などにより克服されてきた。内視鏡下手術への 3D 技術の導入は、術者の勘を補い、より精緻で安全な手術が可能になると考えられている。3D システムはロボット支援手術「da Vinci S」にいち早く導入・実用化され、その優位性は立証されつつある。この 3D システムを通常の内視鏡スコープに搭載したシステムの開発も一部メーカーで進んでおり、我々が実際の手術に試用したオリンパス社の試作機の評価は概ね良好であった。ロボット支援手術と比較すればコスト的には遙かに有利であり、医療機関の導入も容易であるため、その有用性が証明されれば普及のチャンスは大いにある。

4.3 CMOS イメージセンサー

デジタルカメラのイメージセンサー (撮像素子) は、主流であった CCD から CMOS へと移りつつある。CMOS イメージセンサーは従来から不利と言われていた画質や感度といった基本的な性能が CCD に追いつき始め、ローコスト化が進む一方、消費電力が低く、システムインテグレートがしやすいという特徴があり、携帯電話用カメラとしての地位を確立した²⁵⁾。医療用内視鏡システムにおいては、従来から CCD が使用されてきたが、今後 CMOS 搭載内視鏡システムの発売が予定されている (図 8)。CMOS イメージセンサーは、医療用内視鏡システムにおい



図 8 CMOS 搭載 HD 内視鏡システム (1488 HD 3-Chip Endoscopic Camera: Stryker / 日本ストライカー社)

ても主流となっていくものと思われる。光学技術全般にいえることだが、この分野においては、高画質・高性能・高品質に強みを持つ日本のメーカーに期待したい。

4.4 ICG 蛍光内視鏡システム

インドシアニンググリーン (ICG) の蛍光特性を利用し、ICG を静脈注射した上で内視鏡の光源で特定の波長により励起することで、通常の白色光では視認が困難な血管の血流評価、リンパ管、胆管の同定などが可能となる (図 9)。内視鏡下手術への応用としては、縫合不全の原因と考えられる腸管吻合部の血流評価、肝胆膵領域における胆管の描出、センチネルリンパ節の同定などが期待される。



図 9 ICG 蛍光内視鏡システム (D-Light P System: カールストルツ社/エムシー・メディカル社)

5 おわりに

まだまだ発展途上にある消化器外科領域における内視鏡下手術の現状を概説した。我が国の内視鏡下手術のレベルは、世界のトップクラスにあることは間違いないが、新興国の追い上げは勢いを増している。製造立国の日本にとって「匠の技」の子孫であることを忘れずに世界をリードしていく心意気が求められる一方、国民の命を預かる医療という性質上、薬事法などによ

る制約もあり、国内での医療機器開発は困難と言わざるを得ない²⁶⁾。国内の医療機器産業の空洞化が懸念される昨今、医工連携・産学間連携の推進や強力な国家的サポートも必要と考える。

利益相反:なし

参考文献

- 1) Semm K.: Endoscopic Appendectomy. *Endoscopy* 1983; **15**: 59-64.
- 2) Mouret P: How I developed laparoscopic cholecystectomy. *Ann Acad Med Singapore* 1996; **25**: 744-747.
- 3) Litynski GS: Mouret, Dubois, and Perissat: The Laparoscopic Breakthrough in Europe (1987-1988). *J Soc Laparosc Surg* 1999; **3**: 163-167.
- 4) Jacobs M, Verdeja JC, Goldstein HS: Minimally invasive colon resection (laparoscopic colectomy). *Surg Laparosc Endosc* 1991; **1**: 144-150.
- 5) 渡邊昌彦, 大上正裕, 寺本龍生, 他: 早期大腸癌に対する低侵襲手術の適応. 日消外会誌 1993; **26**: 2548-2551.
- 6) 日本内視鏡外科学会: 内視鏡外科に関するアンケート調査—第11回集計結果報告—. 日鏡外会誌 2012; **17**: 571-694.
- 7) Kitano S, Iso Y, Moriyama M, *et al*: Laparoscopy-assisted Billroth I gastrectomy. *Surg Laparosc Endosc* 1994; **4**: 146-148.
- 8) 日本胃癌学会編: 胃癌治療ガイドライン (第3版). 2010; 金原出版
- 9) Delgado S, Lacy AM, Filella X, *et al*: Acute phase response in laparoscopic and open colectomy in colon cancer: randomized study. *Dis Colon Rectum* 2001; **44**: 638-46.
- 10) Veenhof AA, Vlug MS, van der Pas MH, *et al*: Surgical stress response and postoperative immune function after laparoscopy or open surgery with fast track or standard perioperative care: a randomized trial. *Ann Surg* 2012; **255**: 216-21.
- 11) 徳村弘実, 梅澤昭子, 坂本宜英, 他: 気腹下の腹腔内温度・湿度と加温加湿気腹器の効果. 日鏡外会誌 2000; **5**: 526-529.
- 12) Suematsu T, Hirabayashi Y, Shiraishi N, *et al*: Morphology of the murine peritoneum after pneumoperitoneum vs laparotomy: a scanning electron microscopy study. *Surg Endosc* 2001; **15**: 954-958.
- 13) Lacy AM, García-Valdecasas JC, Delgado S, *et al*: Laparoscopy-assisted colectomy versus open colectomy for treatment of non-metastatic colon cancer: a randomised trial. *Lancet* 2002; **359**: 2224-2229.
- 14) Lacy AM, Delgado S, Castells A, *et al*: The long-term results of a randomized clinical trial of laparoscopy- assisted versus open surgery for colon cancer. *Ann Surg* 2008; **248**: 1-7.
- 15) Clinical Outcomes of Surgical Therapy Study Group: A comparison of laparoscopically assisted and open colectomy for colon cancer. *N Engl J Med* 2004; **350**: 2050-2059.
- 16) Fleshman J, Sargent DJ, Green E, *et al*: Laparoscopic colectomy for cancer is not inferior to open surgery based on 5-year data from the COST Study Group trial. *Ann Surg* 2007; **246**: 655-662; discussion 662-664.
- 17) Guillou PJ, Quirke P, Thorpe H, *et al*: Short-term endpoints of conventional versus laparoscopic-assisted surgery in patients with colorectal cancer (MRC CLASICC trial): multicentre, randomized controlled trial. *Lancet* 2005; **365**: 1718-1726.
- 18) Jayne DG, Guillou PJ, Thorpe H, *et al*: Randomized trial of laparoscopic-assisted resection of colorectal carcinoma: 3-year results of the UK MRC CLASICC Trial Group. *J Clin Oncol* 2007; **25**: 3061-3068.
- 19) Veldkamp R, Kuhry E, Hop WC, *et al*: Laparoscopic surgery versus open surgery for colon cancer: short-term outcomes of a randomised trial. *Lancet Oncol* 2005; **6**: 477-484.
- 20) Colon Cancer Laparoscopic or Open Resection Study Group, Buunen M, Veldkamp R, *et al*: Survival after laparoscopic surgery versus open surgery for colon cancer: long-term outcome of a randomised clinical trial. *Lancet Oncol* 2009; **10**: 44-52.
- 21) Kitano S, Inomata M, Sato A, *et al*: Randomized controlled trial to evaluate laparoscopic surgery for colorectal cancer: Japan Clinical Oncology Group Study JCOG 0404. *Jpn J Clin Oncol* 2005; **35**: 475-477.
- 22) Hasegawa S, Nagayama S, Nomura A *et al*: Autonomic nerve-preserving total mesorectal excision in the laparoscopic era. *Dis Colon Rectum* 2008; **51**: 1279-1282.
- 23) Sakai Y, Nomura A, Masumori K *et al*: Recent interpretations of Denonvilliers' fascia and the lateral ligament of the rectum. *Asian J Endosc Surg* 2009; **2**: 8-12.
- 24) 宇山一郎, 須田康一, 吉村文博, 他: 消化器外科領域における Robotic surgery の現状と展望. 日外会誌 2012; **113**: 384-387.
- 25) 湯之上 隆: CMOS が CCD を上回ったイメージセンサ市場. *Electronic Journal* 2010 年 10 月号 34-37; 電子ジャーナル
- 26) 橋爪 誠: 臨床研究の基礎と講座 手術支援ロボットの開発. 日外会誌 2012; **113**: 38-39.

山田 理大 (やまだ まさひろ)

京都大学 消化管外科 助教



坂井 義治 (さかい よしはる)

京都大学 消化管外科 教授

