

로봇 갑상선 수술의 현재와 미래

연세대학교 의과대학 외과학교실

정 응 윤

Robotic Thyroidectomy and Modified Radical Neck Dissection: Present and Future

Woong Youn Chung, M.D., Ph.D.

Since the introduction of robotic thyroid surgery in 2007, robotic thyroidectomy has become an effective and acceptable treatment for patients with thyroid cancer. Although Conventional open thyroidectomy is safe; the operative time is short and good oncologic outcomes are attained and robotic thyroidectomy is as yet not greatly advanced, many surgeons now use the modality in routine practice. Moreover, the results of robotic thyroidectomy have generated worldwide interest in minimally invasive surgery and have encouraged several centers in Korea and the United States to develop aims identical to those set when conventional surgery is employed; the postoperative outcomes are better and cosmetic satisfaction is improved. Robotic procedures originated from open and endoscopic thyroidectomy procedures, and advances in the field should be compared with those of conventional open and endoscopic thyroidectomy. Short- and long-term oncologic outcomes must be assessed carefully, and cosmetic results and functional outcomes, such as voice and swallowing changes, require accurate objective analysis. The clinical reports on the conduct of robotic thyroid surgery via a gasless transaxillary approach showed that robotic surgery performed by experienced specialized endocrine surgeons afforded identical or superior levels of surgical radicality and oncologic safety compared to use of conventional open or endoscopic surgery in patients with thyroid carcinoma. The short-term oncologic effectiveness of thyroid surgery is assessed by measuring serum thyroglobulin (Tg) concentration via [¹³¹I] iodine (¹³¹I) scanning, whereas long-term effectiveness is evaluated via lack of tumor recurrence. Moreover, functional outcomes increasingly emphasize high scores on validated quality-of-life

(QOL) instruments. Several large-volume centers have reported the "functional and QOL" outcomes of patients who have undergone robotic thyroidectomy. In such patients, the clinical benefits of robotic thyroidectomy include excellent cosmetic results, reduced pain, improvement in swallowing function, and low morbidity rates. From the viewpoint of surgeons, robotic surgery shortens the surgical learning curve, and causes less musculoskeletal discomfort compared with the conduct of open or endoscopic surgery. The accumulated evidence to date suggests that robotic thyroidectomy and MRND are both safe and feasible in thyroid cancer patients, and can benefit both patients and surgeons. (*Korean J Endocrine Surg* 2012;12:1-10)

Key Word: Robotic thyroidectomy

중심 단어: 로봇 갑상선 수술

Department of Surgery, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

서 론

소설이나 영화에 흔히 등장하여 일반인에게도 생소하지 않은 '로봇(robot)'이라는 용어는 약 90년 전인 1921년에 체코의 극작가 Karel Capek이 쓴 희곡 "*Rossum's Universal Robots*"에서 처음 사용되었고, 당시는 반복적인 일을 하는 단순한 기계를 의미하였다. 이후 1950년 Isaac Asimov가 발표한 공상과학 소설에 최초로 지능을 가진 로봇이 등장하였으며, 이후 전세계적으로 잘 알려진 영화인 "아이로봇" 및 "스타워즈"시리즈의 R2D2라는 로봇이 관객들에게 친숙하게 접근하였고, 영화 "터미네이터"에서 "트랜스 포머" 시리즈에 이르기까지 다양한 관점에서 로봇에 대한 기대 및 상상력이 표현되고 있다. 의료영역에서도 수술적 치료에 사용되는 의료용 로봇이 크게 발전하였고, 현재는 다양한 외과영역에서 로봇 수술을 시행하여 수술의 질적 단계가 크게 향상되고 있다.

외과 수술의 기법들은 끊임없이 변화하고 있으며 이러한 변화는 최소 침습 수술이라는 큰 명제하에 복강경 수술, 이후 로봇 수술에 이르기까지 단계적인 발전을 하고 있다. 2000년대 초부터 임상적으로 활성화 되기 시작된 로봇 수

책임저자 : 정응윤, 서울시 서대문구 연세로 50
☎ 120-752, 연세대학교 의과대학 외과학교실
Tel: 02-2228-2100, Fax: 02-313-8289
E-mail: WOUNGYOUNC@yuhs.ac

접수일 : 2012년 3월 5일, 수정일 : 2012년 3월 19일,
게재승인일 : 2012년 3월 19일

술은 3차원적 확대된 시야, 정밀한 조작, 관절 운동이 가능한 편리한 수술용 기구 등의 장점들을 토대로 점차 외과 영역에서 그 활용범위가 넓어지고 있다. 이러한 로봇 수술의 장점들을 통해 2차원적 시각, 단순한 기구만을 사용하기 때문에 발생하는 기존의 내시경 혹은 복강경 수술의 여러 가지 문제점들이 해결될 수 있었는데, 즉, 내시경 혹은 복강경 수술에 비해 로봇 수술은 환자에게는 더욱 정밀한 수술적 조작, 낮은 수술조작의 오류율, 출혈량 감소, 통증 감소, 재원 기간 단축, 빠른 회복 등의 장점들을 제공할 수 있을 뿐만 아니라, 수술을 집도하는 외과외가 마스터-슬레이브 인터페이스를 통해 안정되고 정확한 시야 하에서 수술 조작 테이블(console)에 앉아서 수술을 시행하기 때문에 장시간 수술을 시행하더라도 편안하게 수술을 시행할 수 있으므로 수술에 따른 근골격계 피로도가 매우 적고, 또한, 수술 기술 습득에 필요한 기간(learning curve)이 상대적으로 짧다는 장점이 있다.

da Vinci surgical system을 이용한 로봇 갑상선 수술은 2007년 10월 한국에서 처음 시작되어 전세계적으로 확산되고 있는 추세이다. 하지만, 약 100년 전 Theodor Kocher에 의해 정립된 전통적인 경부 절개 갑상선 수술이 이미 안전하고 효과적인 수술법으로 고착되어 외과의에게 익숙해진 상태여서, 일부 외과의사들은 로봇 갑상선 수술에 대해 반대하는 입장을 고수하고 있다. 하지만, 복강경 담낭절제술이 처음 소개되었을 때 기존의 절개수술을 고수하고 복강경 수술을 반대하는 주장이 거세었으나 현재 복강경 담낭 수술이 담낭절제술의 표준적인 수술술기가 된 배경이나, 로봇 전립선암 수술이 불과 5~6년 전에 처음 도입되었으나 현재 암의 치료뿐만 아니라 삶의 질적인 면에서 우수성을 인정받아 현재는 미국에서 약 80% 이상의 전립선암 수술이 로봇으로 이루어지고 있다는 사실들을 통해서 로봇 갑상선 수술의 미래에 대한 해답을 찾을 수 있을 것이다.(1,2)

기존의 갑상선 절개 수술, 혹은 내시경 갑상선 수술과 비교하여 로봇 갑상선 수술의 수술 방법, 적응증 및 수술 성적에 대해서는 국내에서 이미 여러 차례 발표되었고, 근래에는 미국을 시작으로 전세계에서 우수한 연구 결과들이 보고되고 있다. 그러나 새로운 수술 술식이 소개되어 실제 환자에게 활발하게 적용되기 위해서는 다음 몇 가지 요소에 대한 평가를 통하여 안전성과 효용성이 입증된 이후에 가능하다. 첫째, 수술 안전성(합병증 발생률과 수술 사망률), 둘째, 암수술이라면 종양학적인 관점에서의 수술 적정성(암의 완전 절제, 림프절 절제 범위, 재발률과 생존율 등), 셋째, 의사간의 수술 난이도 차이를 표준화시키는 문제(수술 시간 및 학습곡선), 넷째, 환자 삶의 질에 미치는 영향(수술 후 통증, 불편감, 다양한 기능 회복 속도 등), 다섯째, 수술 비용 문제이다. 현재까지 로봇 갑상선 수술에 대해서는 국내를 중심으로 전세계에서 다양한 연구 성과들이 발표되고 특히 다기관 연구가 활성화되고 있어 로봇 수술의 상기

한 여러 문제들에 대한 해답이 제시되고 있다. 또한, 현재 이용되고 있는 로봇 수술 기법들도 끊임없이 변화하고 있으며, 이러한 변화는 장단기적인 수술 성적의 향상뿐 아니라 환자의 삶의 질의 향상을 위한 방향으로 진행되고 있다.

저자는 최근 다양한 외과 질환의 치료에 적용이 되고 있는 da Vinci system의 갑상선 수술에서의 임상적 의의 및 현 상태를 문헌고찰을 통해 기술하고, 로봇 갑상선 수술에 대한 필자의 광범위한 경험을 토대로 향후 전망에 대해 기술하고자 한다.

본 론

1) 갑상선 수술 술기

(1) **수술전 검사 및 수술대상:** 수술전 환자의 이학적 검사 후 경부 초음파 검사 및 세침 흡인 검사 등을 시행하여 갑상선 종괴의 종류를 확인한다. 암종의 경우 림프절 전이 여부를 알아보기 위해 경부 컴퓨터 단층 촬영, 초음파 등의 추가적인 영상학적 검사를 시행한다. 갑상선 종괴의 크기, 위치, 암종의 경우 주위 침습 정도, 다발성, 양측성, 경부 림프절 전이 여부 등의 병기를 확인하고, 각각의 수술방법에 대한 장, 단점, 및 비용 등을 환자와 상의하여 수술방법을 결정한다.

로봇 갑상선 수술의 초기에는 5 cm 이하의 양성 종양, 여포상 종양, 1 cm 이하의 미세 유두암 등 초기암만 적응증에 포함시켰으나, 학습곡선을 극복하고 많은 경험이 쌓인 후에는 다음과 같은 경우를 제외하고는 대부분 로봇 갑상선 수술이 가능하였다. 로봇 수술 제외 대상은 과거에 두경부 수술을 받은 경우, 갑상선 항진증이 심해서 투약으로 조절이 불가능한 경우, 갑상선암이 회귀신경, 기도, 식도 등의 주요기관을 침범한 국소진행상태, 및 원격전이가 발견된 경우 등이다.

(2) **무기하 액와 접근법을 이용한 로봇 갑상선 수술 (robotic thyroidectomy using gasless transaxillary approach):** 로봇 갑상선 수술의 수술 술기에 대해서 이미 다양한 문헌에 발표되었고, 로봇 수술 표준 술기 지침서(da Vinci thyroidectomy procedure guide)도 이미 두 차례 발간되었으므로 여기서는 자세한 설명은 생략하였다. 로봇 갑상선 수술은 액와부 절개창을 이용하여 액와에서 전경부(갑상선 위치)까지 근육 및 피하지방 사이 절편(flap)을 만들어 수술공간을 확보하여 수술을 진행하였다. 액와부 절개창은 팔을 자연스럽게 내렸을 때 액와부에 완전히 가려지는 위치를 선택하여 액와부에 5~6 cm 정도의 수직 피부절개를 한다. 최초에는 4개의 로봇팔 중 3개는 액와부 절개부위를 이용하여 수술 공간에 위치시키고, 0.6~0.8 cm 정도의 두 번째 절개창(유두에서 상부로 2 cm, 내측으로 8 cm 떨어진 위치)을 전흉부에 만들어 마지막 로봇팔인 prograsp forcep을 삽입하였다(Fig. 1). 하지만 경험이 쌓이면서, 저자는 두 번째 절개

창을 없애고 단일 액와부 절개창을 이용하여 수술이 가능하도록 수술방법을 약간 변형하였다. 단일 액와부 절개창을 이용한 수술은 수술 시 Docking stage에서 기구들의 부딪힘을 방지하기 위해서 로봇팔들의 장착위치가 중요하며, 단일 절개창을 이용한 수술의 술기에 대해서 2번째 로봇 갑상선 수술 술기 지침서(da Vinci thyroidectomy procedure guide-Single incision technique)에 자세히 기술하였다. 또한, 숙련자에 의해서 시행된 경우에는 이러한 단일 액와부 절개창을 이용한 로봇 갑상선 수술이 이전의 두개의 절개창에 의한 수술과 비교하여 수술결과 즉, 안정성 및 적정성에

는 차이가 없음이 입증되었다(Fig. 2).(3)

(3) **로봇 광범위 측경부 림프절 청소술(robotic modified radical neck dissection; MRND)**: 유두상 갑상선암은 예후가 양호하지만, 국소 재발을 특히 경부 림프절 전이는 약 30% 까지 발생할 수 있다고 보고되고 있다.(4) 유두상 갑상선암 환자에서 측경부 림프절 전이가 있는 경우에는 level II에서 level V까지 치료적인 목적의 광범위 경부 림프절 청소술을 시행하는 것이 원칙이며, 전통적인 경부 절개술을 시행할 경우 약 10~15 cm 이상의 긴 경부 흉터가 남게 되는 단점과, level II 쪽의 림프절 절제술 시 시야 확보 및 접근에 어려움이 있을 수 있다. 하지만, 로봇 광범위 측경부 림프절 청소술의 경우에는 경부 절개술과 비교하여 목의 긴 수술 흉터를 없애서 미용적인 측면을 최대로 하고, 로봇 카메라를 통해 확대된 수술시야에서 정교한 로봇 팔로 수술을 시행하므로 level II 쪽의 림프절 절제술도 용이하다는 큰 장점들이 있다(Fig. 3). 저자는 최근 유두상 갑상선암의 측경부 림프절 전이가 있는 환자를 대상으로 약 140에 이상의 로봇 광범위 경부 림프절 청소술을 안전하게 시행하였다. 최초의 로봇 광범위 경부 림프절 청소술을 시행한 33예의 환자들의 수술결과에 대해서 이미 발표하였으며, 합병증 및 암의 완전 제거, 림프절 절제 범위 등의 치료 결과가 전통적인 경부 절제술과 차이가 없음이 입증되었다.(5) 또한 아직 미 발표 결과로 경부 절개 및 로봇 광범위 측경부 림프절 청소술을 시행한 환자들의 본원 자료를 비교해 보았을 때 수술 결과, 합병증 및 림프절 절제 정도 등 수술의 안정성 및 적정성 모두 양군에서 동일한 결과를 보였으며, 미용적인 측면에서는 로봇 수술이 월등히 만족도가 높았다. 향후 로봇 경부 림프절 청소술은 갑상선 암뿐만 아니라 다양한 두경부 암에서 주요한 수술 술기의 하나로 적용이 가능할 것으로 생각한다.

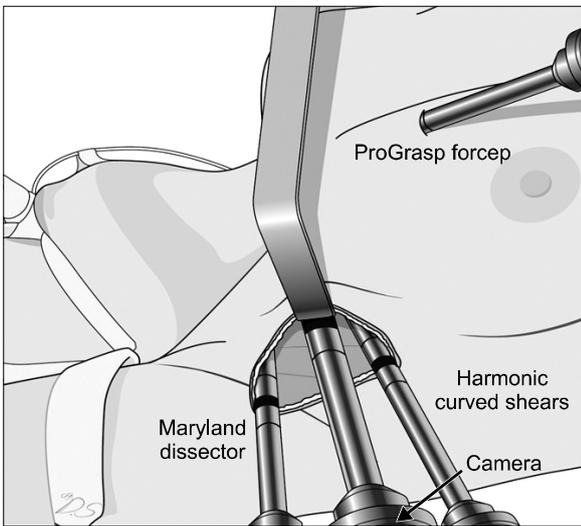


Fig. 1. Two-incision robotic thyroidectomy; A second 0.6~0.8 cm-long skin incision was created on the tumor side of the anterior chest wall to allow insertion of the fourth robotic arm (with a ProGrasp forceps).

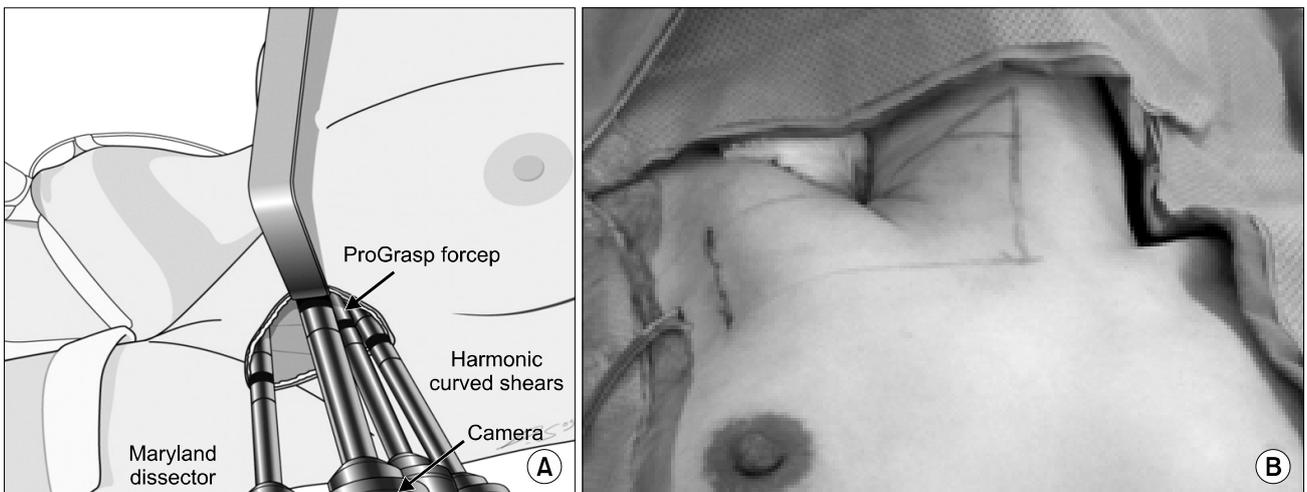


Fig. 2. Single-incision robotic thyroidectomy. (A) All four robotic instruments and the camera were placed through the axillary incision. (B) Immediate postoperative scar after robotic thyroidectomy.



Fig. 3. Postoperative scar immediate after bilateral robotic modified radical neck dissection (MRND) in papillary thyroid carcinoma (PTC) patient showing bilateral lateral neck node metastasis.

2) 로봇 갑상선 수술의 안정성 및 적정성

(1) **국내 및 해외 로봇 갑상선 수술 현황:** 2007년 10월에 전세계에서 저자가 최초로 로봇 갑상선 수술을 시행한 이후 현재까지 본원에서만 약 2,500예의 로봇 갑상선 수술이 시행되었다. 또한 2009년 이후 미국을 중심으로 유럽, 아시아 등에서도 로봇 갑상선 수술 술기를 습득하여 다양한 연구성과를 발표하고 있다. 이러한 무기하 액와부 절개를 이용한 로봇 갑상선 수술에 대해서는 2009년 말부터 현재까지 약 2년간의 기간 동안 30개 이상의 논문이 우수한 저널들에 발표되었고, 최근에 저자는 이러한 자료를 자세하게 분석한 review 저널을 발표하였다.(6) 또한, 미국의 M.D. Anderson 내분비 외과 그룹에서는 미국내에서의 로봇 갑상선 수술의 활성화 및 성공적인 정착을 위해서 로봇 갑상선 수술의 가이드라인 및 적용지침서를 최근 발표하였다.(7) 현재까지 국내 및 해외에서 단일 기관뿐 아니라 다기관 연구에서도 로봇 갑상선 수술의 안정성(합병증, 사망률 등) 및 적정성(재발률 등)에 대한 다양한 연구결과는 모두 양호하였다(Table 1).(3,5,8-25).

(2) **로봇 갑상선 수술: 전통적인 경부 절개술(혹은 내시경 갑상선 수술)과의 비교:** 국내에서는 다양한 기관에서 로봇 갑상선 수술 및 전통적인 경부 절개술 혹은 내시경 갑상선 수술에 대한 비교연구가 활발히 이루어졌다(Table 2).(21,26-35) 저자의 경험을 기준으로 하여 570예의 내시경 갑상선 수술과 580예의 로봇 갑상선 수술을 비교하여 보았을 때 수술 시간 및 림프절 절제 범위가 로봇 수술에서 내시경 수술에 비해서 훨씬 우수한 결과를 보였다.(35) Lee 등(34)이 발표한 내시경 갑상선 수술과 로봇 갑상선 수술의 분석 결과도

저자의 경험과 동일하며 림프절 절제 범위 및 수술시간, 하흉곽선에서 로봇 수술이 더 우수하다는 결과를 보였다. 저자들은 또한 최근에 192예의 로봇 갑상선 수술 및 266예의 경부 절개 수술의 수술결과를 발표하였다.(29) 결론적으로 로봇 수술이 경부 절개술에 비해 평균 수술 시간은 약간 길었지만, 수술 합병증 및 적절성에 대해서는 양군간에 차이가 없었다. 최근에 미국 및 홍콩에서도 로봇 갑상선 수술과 경부 절개 갑상선 수술 혹은 내시경 갑상선 수술에 대한 비교 연구 논문들이 발표되고 있으며, 결과는 저자의 경우와 큰 차이가 없었다.(21,30,31) 지금까지 로봇 갑상선 수술의 안정성 및 단기간 치료 효과는 이미 입증되었으나, 향후 장기간 추적 관찰은 반드시 필요할 것으로 생각한다.

3) 환자의 입장에서 로봇 갑상선 수술의 장점

갑상선 수술후 환자의 입장에서 본 가장 중요하게 고려되는 측면은 크게 통증 정도, 감각 이상, 목소리 변화, 삼킬 때 불편한 증상 등이다. 이러한 기능적인 측면에 대해서는 국내 여러 기관에서 다양한 전향적인 연구들을 시행하여 최근에 그 결과를 보고하고 있다(Table 2).(21,26-35) 대부분의 연구 결과에서 경부 절개 갑상선 수술과 로봇 갑상선 수술을 비교해 보았을 때 수술 후 통증 정도는 양군간에 크게 차이가 없었으나, 목의 감각 이상은 로봇 수술이 경부 절개 갑상선 수술에 비해서 훨씬 감각회복 정도가 빨랐다. 또한, 수술 흉터에 대한 만족도는 로봇 수술이 경부 절개 갑상선에 비해서 월등히 높았다.(26-28) 수술 후 흔히 호소하는 삼킬 때 불편한 증상의 경우에는 로봇 수술이 경부 절개 갑상선 수술에 비해 우수한 결과를 보였고, 일부 보고에서는 로봇 수술에서 수술후 목소리 변화 역시 더 빠른 회복을 보였다.(26-28,32,33) 이러한 감각이상, 삼킬 때 불편감, 및 목소리 변화 등 기능적인 측면에서 로봇 갑상선 수술이 우수한 결과를 보이는 이유는 다양하게 설명할 수 있을 것이다. 한가지 견해는 경부 절개술의 경우 횡근육(strap muscle)의 중앙선을 절개하고, 직접 기도, 식도, 근육, 식도 옆공간(paraesophageal area) 등 경부의 주요구조물을 직접 박리하고 견인시켜야 하며, suture, tie 등의 이물질(foreign body)을 수술중에 사용하게 되므로, 수술후 경부의 유착이 심해지는 경향이 있다. 하지만, 로봇 수술은 횡근육을 절개하지 않으므로 근육의 손상이 적고 주위의 주요구조물에 대한 박리 역시 로봇을 이용하여 부드럽고 정교하게 시술하며, 이물질인 suture, tie 등도 사용하지 않으므로 수술후 유착 정도를 비교적 줄일 수 있다. 즉, 수술 공간을 만들기 위한 과정은 경부 절개 갑상선 수술에 비해 당연히 침습적이지만 실제 로봇 시스템을 이용한 갑상선 절제술 및 림프절 청소술은 상대적으로 더 정교하고 비침습적이라고 생각할 수 있다. 이러한 로봇수술의 장점이 기존의 경부 절개술에 비해서 목소리, 삼킴, 감각이상 등의 기능이 빨리 회복되는 이유중의 하나라고 생각한다.

Table 1. Published data for robotic thyroidectomy and MRND using a gasless transaxillary approach

Author (year)	Cases	Pathology (patients)	Operation type	Operative time (mean, min)	Major complications* (conversion to open)	Hospital stay (days)	Recurrence	Character
<i>In Korea</i>								
Kang et al.(8) (2009)	100	PTMC [†] (100)	TT [†] &CCND [§] (16) LTT &CCND (84)	Total: 136.5±36.6 Console: 59.9±25.9	0/80 (0%) (none)	3.0±0.45	None	Single surgeon experience
Kang et al.(9) (2009)	200	PTC [¶] (200)	TT&CCND (45) LTT&CCND (155)	Total: 141.1±38.8 Console: 57.6±23.8	1/200 (0.5%) (none)	3.2±0.6	None	Single surgeon experience
Kang et al.(10) (2010)	338	PTC (332) Benign (6)	TT&CCND (104) LTT&CCND (234)	Total: 144.0±43.5 Console: 59.1±25.7	5/338 (1.5%) (none)	3.3±0.8	None	Single surgeon experience
Ryu et al.(3) (2010)	1,047	PTC (1042) FTC ^{**} (2) MTC ^{††} (3)	TT&CCND (371) LTT&CCND (676)	Total: 114.94±27 Console: 48.26±11.88	5/1,047 (0.5%) (none)	3.13±0.58	None	Single surgeon experience (single incision technique)
Kang et al.(11) (2011)	1,000	PTC (996) FTC (1) HCC (1) MTC (2)	TT&CCND (337) TT&MRND (36) LT&CCND (627)	Total: 136.7±44.4	8/1,000 (0.8%) (none)	3.0±0.45	None	Single center
Lee et al.(12) (2011)	1,043	PTC (1041) FTC (2)	TT (366) LTT (677) CCND (940) MRND ^{††} (35)	Total: 132.4±48.5 Console: 63.9±39.5	10/1,043 (1.0%) (none)	2.9±0.8	None	Multicenter study
Lee et al.(13) (2011)	2,014	PTC (1947) FTC (6) HTC ^{§§} (1) MTC (5) Benign (55)	TT (740) LTT (1274) CCND (1865) MRND (61)	Total: 119.7±61.8 Console: 65.8±29.2	21/2,014 (1.0%) (1/2,014) [0.05%] (conversion: one case)	3.4±2.3	None	Multicenter study (surgeon's ergonomic consideration)
Kang et al.(5) (2011)	33	PTC (33)	TT&MRND (33)	Total: 280.8±40.6	0/33 (0%) (none)	5.4±1.6	None	Single surgeon experience (robotic MRND)

*Major complications defined permanent damages such as recurrent laryngeal nerve injury, permanent hypocalcemia, hematoma of the muscle flap requiring a reoperation, hemorrhage of a major vessel requiring a reoperation, tracheal injury, Honor's syndrome, major chyle leakage, and brachial plexus neuropraxia (not including minor complications such as transient hypocalcemia, transient hoarseness, wound seroma, wound infection, and hematoma of the muscle flap requiring conservative management, etc.); [†]PTMC = papillary thyroid microcarcinoma; ^{††}TT = total thyroidectomy; [§]CCND = central compartment node dissection; ^{||}LTT = less than total thyroidectomy; [¶]PTC = papillary thyroid carcinoma; ^{**}FTC = follicular thyroid carcinoma; ^{†††}MTC = medullary thyroid carcinoma; ^{§§}HTC = hurthle cell carcinoma; ^{|||}DTC = differentiated thyroid carcinoma.

Table 1. Continued

Author (year)	Cases	Pathology (patients)	Operation type	Operative time (mean, min)	Major complications* (conversion to open)	Hospital stay (days)	Recurrence	Character
<i>In Other countries</i>								
Landry et al.(14) (2010)	12	PTC (1) FTC (1) Benign (9)	LTT (12) Completion TT (1)	Total: 142	0/12 (0%) (none)	1	None	M.D. Anderson surgery group initial experience
Lewis et al.(15) (2010)	5		LTT (5)	Total: 30~90				M.D. Anderson ENT group cadaver dissection
Berber et al.(16) (2010)	2		TT (1) LTT (1)		0/2 (0%) (none)	1		Cleveland surgery group initial experience
Kuppersmith et al.(17)(2011)	31	PTC (3) Benign (28)	TT(11), LTT(20)	Total: 196→109 Console: 131→51	0/31 (0%) (none)	1	None	M.D. Anderson ENT group
Berber et al.(18) (2010)	1	PTC (1)	TT&CCND (1)		0/1 (0%) (none)	1		Cleveland surgery group (surgical completeness)
Brunaud et al.(19) (2010)	1	Benign (1)	TT (1)		0/1 (0%) (none)	1		France initial experience
Ishikawa et al.(20) (2011)	1	PTC (1)	LT&CCND (1)	Total: 228	0/1 (0%) (none)	2		Japan initial experience
Lang et al.(21) (2011)	7	DTC (1) Benign (6)	TT (4), LTT(3)	Total: 149 Console: 80	1/7 (14.3%) (none)	2	None	Hong Kong initial experience
Kandil et al.(22) (2011)	5	Graves' disease (5)	TT (5)	Total: 159±17.82	0/5 (0%) (none)	1		New Orleans (Graves disease)
Kandil et al.(23) (2012)	50		TT (13), LTT(37)	Total: 122.5 Console: 55.5	0/50 (0%) (none)	1	None	New Orleans
Massasati et al.(24) (2012)	1	Benign	LTT (1)	Total: 69 Console: 21	0/1 (0%) (none)	1		New Orleans (video clip-neuromonitoring)
Kandil et al.(25) (2012)	100		TT (22), LTT (69) Completion TT (9)	Total: 108.1±60.5	1/100 (1%) (conversion: two cases)	1	None	New Orleans (BMI, learning curve)

*Major complications defined permanent damages such as recurrent laryngeal nerve injury, permanent hypocalcemia, hematoma of the muscle flap requiring a reoperation, hemorrhage of a major vessel requiring a reoperation, tracheal injury, Honor's syndrome, major chyle leakage, and brachial plexus neuropraxia (not including minor complications such as transient hypocalcemia, transient hoarseness, wound seroma, wound infection, and hematoma of the muscle flap requiring conservative management, etc.); †PTMC = papillary thyroid microcarcinoma; ‡TT = total thyroidectomy; §CCND = central compartment node dissection; ||LTT = less than total thyroidectomy; ¶PTC = papillary thyroid carcinoma; **FTC = follicular thyroid carcinoma; ††MTC = medullary thyroid carcinoma; †††MRND = modified radical neck dissection; §§HTC = hurthle cell carcinoma; |||DTC = differentiated thyroid carcinoma.

Table 2. Published data comparing robotic versus endoscopic (or open) thyroidectomy

Author (year)	Cases	Operation time	Complication rate	Oncologic safety*	Functional outcomes	Comments
<i>Open thyroidectomy (OT) versus robotic thyroidectomy (RT)</i>						
Lee et al.(26) (2010)	OT (43) vs. RT (41)	Operation time (RT>OT)	No difference	No difference	Cosmetic satisfaction (RT>OT), hyper or paresthesia on neck (OT>RT) Voice handicap index (OT=RT) Swallowing impairment score (OT>RT) Cosmetic satisfaction (RT>OT), Pain (OT=PT) Cosmetic satisfaction (RT>OT), hyper or paresthesia on neck (OT>RT) hyper or paresthesia on chest (RT>OT) No data	First comparative study of functional outcomes Cosmetic outcomes, sensory change Swallowing discomfort: RT>OT Cosmetic outcomes RT>OT Cosmetic outcomes, sensory change: RT>OT Oncologic safety, complication rates: RT=OT
Tae et al.(27) (2010)	RT (41) vs. OT (163)	Operation time (RT>OT)	No difference	No difference	No data	RT=OT
Tae et al.(28) (2011)	RT (75) vs. OT (226)	Operation time (RT>OT)	Transient - hypoparathyroidism (OT>RT)	No difference	Brachial plexus injury (RT>OT)	Oncologic safety: RT=OT Safety: RT=OT
Lee et al.(29) (2012)	RT (192) vs. OT (266)	Operation time (OT>RT)	No difference	No difference	No data	RT=OT
Landary et al.(30) (2011)	RT (25) vs. OT (25)	Operation time (RT>OT)	Brachial plexus injury (RT>OT)	No difference	No data	Oncologic safety: RT=OT
Foley et al.(31) (2012)	RT (11) vs. OT (16)	Operation time (RT>OT)	No difference	No difference	No data	Safety: RT=OT
Tae et al.(32) (2011)	RT (50) vs. OT (61)	Operation time (RT>OT)	No difference	No difference	Voice function (RT>OT) Swallowing function (RT=OT)	Voice function: RT>OT
Lee et al.(33) (2012)	RT (42) vs. OT (46)	No data	No difference	No difference	Objective voice function (RT=OT)	Voice function recovery: RT=OT
<i>Endoscopic thyroidectomy (ET) versus robotic thyroidectomy (RT)</i>						
Lee et al.(34) (2011)	RT (163) vs. ET (96)	Operation time (ET>RT) Learning curve (ET>RT) advanced cancer (RT>ET)	No difference	Retrieved LN [†] (RT>ET)	No data	First comparative study of RT and ET, showing that RT was superior in operation time, LN retrieval, and learning curve
Lang et al.(21) (2011)	RT (7) vs. ET (39)	Operation time (RT>ET)	No difference	No data	No data	Reported initial experience of RT in Hong Kong
Lee et al.(35) (2011)	RT (580) vs. ET (570)	Operation time (ET>RT) Advanced cancer (RT>ET)	Transient - hypoparathyroidism (RT>ET)	Retrieved LN (RT>ET)	No data	RT was superior to ET in operation time, and number of LNs retrieved

*Oncologic safety = surgical completeness and radicality which represented the results of ¹³¹I scans, serum thyroglobulin level, post-operative neck ultrasound, and number of retrieved lymph nodes; [†] LN = lymph node.

Table 3. Summary of advantages and disadvantages of robotic compared with open (or endoscopic) thyroidectomy

	Robotic thyroidectomy	vs.	Open thyroidectomy	Robotic thyroidectomy	vs.	Endoscopic thyroidectomy
Operation time		>			<	
Cost		>			>	
Morbidity		=			≤	
Cosmetic satisfaction		>>			NA*	
Pain		≤			NA	
Neck discomfort		<			NA	
Swallowing discomfort		≤			NA	
Voice change		≤			NA	
Learning curve		NA			<	
Surgeon's ergonomic consideration		<			<<	

*NA = no available data.

4) 외과 의사의 입장에서 로봇 갑상선 수술의 장점

새로운 수술 술기의 도입에 있어서 주요한 요인 중의 하나는 의사간의 수술 난이도 차이를 가능한 줄이고 표준적인 수술 술식을 정립하는 것이다. 즉, 수술시간을 단계적으로 줄여서, 학습 곡선을 가능한 단축시키는 방향으로 나아가는 것이다. 로봇 갑상선 수술의 학습 곡선에 대해서는 이미 여러 차례 발표되었다. 저자가 최초 로봇 갑상선 수술을 시행하고 경험하였던 학습 곡선은 대략 40~45예에서 정도였고,(10) Lee 등은 단일 술자의 경우 로봇 수술의 경우 35~40예에서, 내시경 갑상선 수술의 경우 55~60예에서 학습 곡선이 극복된다고 발표하였다.(34) 또한 Lee 등(36)은 한국의 다기관 연구를 통해 로봇 초보 외과의와 로봇에 숙련된 외과의의 로봇 갑상선 수술의 학습곡선을 비교하였다. 즉, 초보의사가 숙련된 의사와 동일하게 학습곡선을 극복하여 수술시간 및 합병증 정도에 차이가 없어지는 시점을 분석하였고, 로봇 갑상선엽절제술(lobectomy)의 경우 약 40예에서, 로봇 갑상선전절제술(total thyroidectomy)의 경우 약 50예에서 학습곡선이 극복되었다. 최근 미국의 한 기관에서는 100예의 로봇 갑상선 수술을 경험한 결과 로봇 갑상선 수술의 학습 곡선은 약 45예라고 발표하였다.(25)

또한, 저자들은 외과의사의 입장에서 절개술, 내시경 수술 및 로봇 수술 후 발생하는 의사의 통증 및 불편감을 비교하기 위해 설문조사를 통한 다기관 연구를 시행하였다.(13) 갑상선 절개 수술은 좁은 시야에서 정밀한 수술을 집도해야 하므로 외과의가 어깨 및 등을 구부린 상태에서 대부분의 수술이 진행된다. 따라서 장시간 수술 후 대부분의 외과의들은 목 및 어깨 통증을 호소하게 된다. 내시경 갑상선 수술의 경우에는 기다란 내시경 기구를 이용하여 가끔 틀어진 자세로 역시 수술을 진행해야 하므로, 수술 후 외과의들은 어깨 통증뿐 아니라 허리 통증을 자주 호소하였다. 하지만, 로봇 갑상선 수술의 경우에는 책상에서 책을

읽듯이 혹은 컴퓨터 작업을 하듯 편안한 상태에서 수술이 진행된다. 따라서 외과의가 각각의 수술 후 느끼는 불편감, 통증을 비교하는 설문 조사를 시행한 결과 수술 후 외과의사가 느끼는 통증이나 불편감이 가장 적은 술식은 로봇 갑상선 수술이었다. 또한, 외과의사가 수술 후 느끼는 통증 및 불편감이 가장 큰 술식부터 순서대로 나열해 보았을 때 가장 많은 빈도의 답변은 내시경 갑상선 수술, 경부 절개술, 및 로봇 갑상선 수술의 순서였다. Table 3에서는 지금까지 알려진 로봇 갑상선 수술의 장단점을 내시경 갑상선 수술 및 경부 절개 수술과 비교하여 요약 정리하였다.

5) 로봇 갑상선 수술의 제한점 및 해결방안

로봇 수술 술기의 첫 번째 단점은 로봇 팔을 통해 외과의사가 촉각(tactile sensation)을 감지하기 힘들다는 것이다. 따라서, 로봇 수술의 초보자는 기구가 익숙해지기 전에는 이러한 점을 감안하지 않고 시술하게 되면 주요 구조물에 손상을 주거나, suture나 tie가 실패하거나 불안정해질 수 있다. 하지만, 충분한 연습과 수술의 경험이 쌓이면서(visual-motor response) 대부분 외과의들은 이 문제를 극복하여 수술에 거의 영향을 주지 않게 된다. 로봇 갑상선 수술의 경우에는 수술 중 suture나 tie는 거의 필요 없어 초기에도 수술에 큰 어려움은 없으나, 드물게 촉각 감지의 실패로 기도 손상이 발생할 수 있으므로 초보자는 주의해야 한다.

둘째, 수술비용에 따른 문제이다. 의료 환경 및 의료보험은 국가마다 큰 차이를 보이며 우리나라에서는 전통적인 경부 절제술에 비해 로봇 갑상선 수술비에 큰 차이가 있다. 하지만, 국내에서는 많은 국민들이 국민의료보험 및 개인보험(사보험)이 동시에 적용되어 혜택을 보고 있어서, 로봇 수술 선택에 있어서 환자의 의료비 부담은 비교적 크지 않은 실정이며, 이러한 보험제도로 국내에서 로봇 갑상선 수술이 가장 먼저 빠르게 활성화될 수 있었던 요인이라고 생각한다. 하지만, 외과의사의 입장에서 지금까지 발표된

연구 결과를 토대로 하여 국가적인 지원아래 로봇 수술에 대한 적절한 의료 범위의 적용이 확대되어, 향후 더 많은 환자가 혜택을 받을 수 있었으면 한다.

셋째는 기존과 다른 형태의 training program의 정착이다. 국내에서는 로봇 갑상선 수술이 흔하게 진행되므로 수술습득 및 수술참관에 큰 문제가 없지만, 로봇 갑상선 수술을 배우고 싶어하는 많은 외국 의사들에 대한 training이 절실히 필요한 시점이다. 저자는 현재 외국 의사를 위한 다양한 training program을 시행하고 있지만, 향후 국가차원에서의 지원 및 활성화 방안이 모색되었으면 한다.

결론 및 전망

현재까지의 연구성과로 보아서 로봇 갑상선 수술 및 로봇 경부 림프절 청소술은 갑상선암환자의 치료에 있어서 유용하고 안전한 술식이다. 특히 갑상선의 완전한 제거 및 주위 림프절 절제 범위 등에 있어서 로봇 갑상선 수술은 경부 절개술이나 내시경 수술과 비교하여 우수한 결과를 보이며, 따라서 암치료에 있어서도 적절한 술식임이 입증되었다. 환자 만족도에 있어서 미용적 측면 뿐 아니라, 감각 이상, 삼킬 때 불편한점, 목소리 변화 등에 있어서도 기존의 경부 절제술에 비해서 더 우수한 결과를 보였다. 외과 의사의 입장에서도 수술시간 및 학습곡선이 비교적 짧은 수술 난이도 차이를 쉽고 빠르게 극복할 수 있는 술식이며, 수술 후 외과 의사가 느끼는 통증 및 불편감도 기존 술식에 비해서 가장 양호하였다.

아직은 초기 단계인 로봇수술이 갖는 외과적 수술에서의 의미를 최종적으로 단정하기는 어렵다. 그러나 로봇 수술 시스템이 기존의 내시경수술시스템에 비해 갖는 우월성은 많은 외과의사들이 임상에 적용하고자 하는 동기를 갖게 하는 것은 명백하다. 또한 갑상선 수술후 미용적인 측면 뿐 아니라 기능적인 회복속도에 현저한 장점이 있다는 사실이 더 많은 연구 보고를 통해서 확실히 입증된다면 더욱 많은 부분의 갑상선 수술이 로봇 수술로 대체될 수 있을 것이다. 그러나 현재의 로봇 수술 시스템이 갖고 있는 문제점인 고가의 수술 기구 및 이에 따른 비용의 발생은 향후 필수적으로 해결이 필요한 문제이다.

REFERENCES

- Holsinger FC, Terris DJ, Kuppersmith RB. Robotic thyroidectomy: operative technique using a transaxillary endoscopic approach without CO2 insufflation. *Otolaryngol Clin North Am* 2010;43:381-8.
- Reichenbach DJ, Tackett AD, Harris J, Camacho D, Graviss EA, Dewan B, et al. Laparoscopic colon resection early in the learning curve: what is the appropriate setting? *Ann Surg* 2006;243:730-5.
- Ryu HR, Kang SW, Lee SH, Rhee KY, Jeong JJ, Nam KH, et al. Feasibility and safety of a new robotic thyroidectomy through a gasless, transaxillary single-incision approach. *J Am Coll Surg* 2010;211:e13-9.
- Schlumberger MJ. Diagnostic follow-up of well-differentiated thyroid carcinoma: historical perspective and current status. *J Endocrinol Invest* 1999;22(11 Suppl):3-7.
- Kang SW, Lee SH, Ryu HR, Lee KY, Jeong JJ, Nam KH, et al. Initial experience with robot-assisted modified radical neck dissection for the management of thyroid carcinoma with lateral neck node metastasis. *Surgery* 2010;148:1214-21.
- Lee J, Chung WY. Current status of robotic thyroidectomy and neck dissection using a gasless transaxillary approach. *Curr Opin Oncol* 2012;24:7-15.
- Perrier ND, Randolph GW, Inabnet WB, Marple BF, VanHeerden J, Kuppersmith RB. Robotic thyroidectomy: a framework for new technology assessment and safe implementation. *Thyroid* 2010;20:1327-32.
- Kang SW, Jeong JJ, Yun JS, Sung TY, Lee SC, Lee YS, et al. Robot-assisted endoscopic surgery for thyroid cancer: experience with the first 100 patients. *Surg Endosc* 2009;23:2399-406.
- Kang SW, Jeong JJ, Nam KH, Chang HS, Chung WY, Park CS. Robot-assisted endoscopic thyroidectomy for thyroid malignancies using a gasless transaxillary approach. *J Am Coll Surg* 2009;209:e1-7.
- Kang SW, Lee SC, Lee SH, Lee KY, Jeong JJ, Lee YS, et al. Robotic thyroid surgery using a gasless, transaxillary approach and the da Vinci S system: the operative outcomes of 338 consecutive patients. *Surgery* 2009;146:1048-55.
- Kang SW, Park JH, Jeong JS, Lee CR, Park S, Lee SH, et al. Prospects of robotic thyroidectomy using a gasless, transaxillary approach for the management of thyroid carcinoma. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech* 2011;21:223-9.
- Lee J, Yun JH, Nam KH, Choi UJ, Chung WY, Soh EY. Perioperative clinical outcomes after robotic thyroidectomy for thyroid carcinoma: a multicenter study. *Surg Endosc* 2011;25:906-12.
- Lee J, Kang SW, Jung JJ, Choi UJ, Yun JH, Nam KH, et al. Multicenter study of robotic thyroidectomy: short-term postoperative outcomes and surgeon ergonomic considerations. *Ann Surg Oncol* 2011;18:2538-47.
- Landry CS, Grubbs EG, Perrier ND. Bilateral robotic-assisted transaxillary surgery. *Arch Surg* 2010;145:717-20.
- Lewis CM, Chung WY, Holsinger FC. Feasibility and surgical approach of transaxillary robotic thyroidectomy without CO(2) insufflation. *Head Neck* 2010;32:121-6.
- Berber E, Heiden K, Akyildiz H, Milas M, Mitchell J, Siperstein A. Robotic transaxillary thyroidectomy: report of 2 cases and description of the technique. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech* 2010;20:e60-3.
- Kuppersmith RB, Holsinger FC. Robotic thyroid surgery: an

- initial experience with North American patients. *Laryngoscope* 2011;121:521-6.
- 18) Berber E, Siperstein A. Robotic transaxillary total thyroidectomy using a unilateral approach. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech* 2011;21:207-10.
 - 19) Brunaud L, Germain A, Zarnegar R, Klein M, Ayav A, Bresler L. Robotic thyroid surgery using a gasless transaxillary approach: cosmetic improvement or improved quality of surgical dissection? *J Visc Surg* 2010;147:e399-402.
 - 20) Ishikawa N, Kawaguchi M, Moriyama H, Tanaka N, Watanabe G. First robot-assisted thyroidectomy in japan performed using a standard da Vinci surgical system. *Artif Organs* 2011. [Epub ahead of print]
 - 21) Lang BH, Chow MP. A comparison of surgical outcomes between endoscopic and robotically assisted thyroidectomy: the authors' initial experience. *Surg Endosc* 2011;25:1617-23.
 - 22) Kandil E, Noureldine S, Abdel Khalek M, Alrasheedi S, Aslam R, Friedlander P, et al. Initial experience using robot-assisted transaxillary thyroidectomy for Graves' disease. *J Visc Surg* 2011;148:e447-51.
 - 23) Kandil E, Abdelghani S, Noureldine SI, Friedlander P, Abdel Khalek M, Bellows CF, et al. Transaxillary gasless robotic thyroidectomy: a single surgeon's experience in North America. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2012;138:113-7.
 - 24) Massasati S, Noureldine S, Aslam R, Kandil E. Robotic transaxillary thyroid lobectomy of a follicular neoplasm. *Ann Surg Oncol* 2012. [Epub ahead of print]
 - 25) Kandil EH, Noureldine SI, Yao L, Slakey DP. Robotic transaxillary thyroidectomy: an examination of the first one hundred cases. *J Am Coll Surg* 2012. [Epub ahead of print]
 - 26) Lee J, Nah KY, Kim RM, Ahn YH, Soh EY, Chung WY. Differences in postoperative outcomes, function, and cosmesis: open versus robotic thyroidectomy. *Surg Endosc* 2010;24:3186-94.
 - 27) Tae K, Ji YB, Jeong JH, Lee SH, Jeong MA, Park CW. Robotic thyroidectomy by a gasless unilateral axillo-breast or axillary approach: our early experiences. *Surg Endosc* 2011; 25:221-8.
 - 28) Tae K, Ji YB, Cho SH, Lee SH, Kim DS, Kim TW. Early surgical outcomes of robotic thyroidectomy by a gasless unilateral axillo-breast or axillary approach for papillary thyroid carcinoma: 2 years' experience. *Head Neck* 2011. [Epub ahead of print]
 - 29) Lee S, Ryu HR, Park JH, Kim KH, Kang SW, Jeong JJ, et al. Early surgical outcomes comparison between robotic and conventional open thyroid surgery for papillary thyroid microcarcinoma. *Surgery* 2012. [Epub ahead of print]
 - 30) Landry CS, Grubbs EG, Morris GS, Turner NS, Holsinger FC, Lee JE, et al. Robot assisted transaxillary surgery (RATS) for the removal of thyroid and parathyroid glands. *Surgery* 2011; 149:549-55.
 - 31) Foley CS, Agcaoglu O, Siperstein AE, Berber E. Robotic transaxillary endocrine surgery: a comparison with conventional open technique. *Surg Endosc* 2012. [Epub ahead of print]
 - 32) Tae K, Kim KY, Yun BR, Ji YB, Park CW, Kim DS, et al. Functional voice and swallowing outcomes after robotic thyroidectomy by a gasless unilateral axillo-breast approach: comparison with open thyroidectomy. *Surg Endosc* 2011. [Epub ahead of print]
 - 33) Lee J, Na KY, Lee JS, Kim C, Lee J, Chung WY, et al. Postoperative functional voice changes after conventional open or robotic thyroidectomy: a prospective trial. *Ann Surg Oncol* 2012. [Epub ahead of print]
 - 34) Lee J, Lee JH, Nah KY, Soh EY, Chung WY. Comparison of endoscopic and robotic thyroidectomy. *Ann Surg Oncol* 2011;18:1439-46.
 - 35) Lee S, Ryu HR, Park JH, Kim KH, Kang SW, Jeong JJ, et al. Excellence in robotic thyroid surgery: a comparative study of robot-assisted versus conventional endoscopic thyroidectomy in papillary thyroid microcarcinoma patients. *Ann Surg* 2011;253:1060-6.
 - 36) Lee J, Yun JH, Nam KH, Soh EY, Chung WY. The learning curve for robotic thyroidectomy: a multicenter study. *Ann Surg Oncol* 2011;18:226-32.