

## Minimally Invasive Spine Surgery: Past, Present, and Future

Sang-Min Park, M.D., Jae-Young Hong, M.D.<sup>\*</sup>, Si-Yeong Park, M.D.<sup>†</sup>, Eun-Seok Son, M.D.<sup>‡</sup>, Soo Taek Lim, M.D.<sup>§</sup>,  
Korean Minimally Invasive Spine Surgery (K-MISS) Study Group

J Korean Soc Spine Surg 2023 Dec;30(4):171-181.

Originally published online December 31, 2023;

<https://doi.org/10.4184/jkss.2023.30.4.171>

Korean Society of Spine Surgery

27, Dongguk-ro, Ilsandong-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea

Tel: +82-31-966-3413

©Copyright 2017 Korean Society of Spine Surgery

pISSN 2093-4378 eISSN 2093-4386

The online version of this article, along with updated information and services, is  
located on the World Wide Web at:

<http://www.krspine.org/DOIx.php?id=10.4184/jkss.2023.30.4.171>

---

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

# Minimally Invasive Spine Surgery: Past, Present, and Future

Sang-Min Park, M.D., Jae-Young Hong, M.D.<sup>\*</sup>, Si-Yeong Park, M.D.<sup>†</sup>, Eun-Seok Son, M.D.<sup>‡</sup>, Soo Taek Lim, M.D.<sup>§</sup>,  
Korean Minimally Invasive Spine Surgery (K-MISS) Study Group

Spine Center and Department of Orthopaedic Surgery, Seoul National University College of Medicine and Seoul National University Bundang Hospital, Seongnam, Korea

<sup>\*</sup>Department of Orthopaedic Surgery, Korea University Ansan Hospital, Korea University College of Medicine, Ansan, Korea

<sup>†</sup>Department of Orthopaedic Surgery, College of Medicine, Yonsei University, Seoul, Korea

<sup>‡</sup>Department of Orthopaedic Surgery, Keimyung University Dongsan Hospital, Keimyung University School of Medicine, Daegu, Korea

<sup>§</sup>Department of Orthopaedic Surgery, Yeseon Hospital, Bucheon, Korea

**Study Design:** Review article.

**Objectives:** To introduce the past and present of minimally invasive spine surgery, as well as future developments.

**Summary of Literature Review:** Spine surgery has evolved into a minimally invasive surgical procedure that requires skin incisions that are as small as possible. This has become a topic of interest for both patients and doctors, as it not only solves cosmetic problems by reducing skin incisions, but also reduces postoperative pain and complications by preserving as much normal tissue as possible while reducing blood loss, shortens the recovery period, and facilitates the return to normal life. At the same time, the surgical instruments required for minimally invasive surgery are being actively developed.

**Materials and Methods:** Review of the relevant articles

**Results:** The history of minimally invasive techniques is well described in the evolution of the surgical treatment of lumbar disc herniation. Minimally invasive lumbar discectomy began in the early 20th century, and many advances were made with the development of microscopes and tubular retractors. The development of endoscopes also led to the popularization and use of minimally invasive surgery. Minimally invasive surgery is also used in the thoracic and cervical spine, but many advances remain to be made in the lumbar spine. More recently, technologies such as navigation, robotics, and augmented reality have been developed and are helping to improve the safety of minimally invasive spine surgery.

**Conclusions:** Minimally invasive spine surgery is rapidly evolving with recent technological advances. Advances in technology are expected to compensate for the limitations of minimally invasive surgery, and it is likely to become an alternative to traditional surgery for a variety of spinal diseases.

**Key Words:** Minimal invasive surgery, History, Present, Future

## 서론

최근 30년간 해부학과 생리학 분야의 학문적 진보와 함께 수술 장비, 현미경 및 내시경 기술, 영상 촬영 기법의 발전해 감에 따라 최소침습 척추 수술이 크게 발전했다. 작은 절개로도 수술이 가능하게 된 덕분에 미용적 효과는 물론, 출혈량을 줄이면서 가능한 한 정상 조직을 보존하여 수술 후 통증과 합병증을 감소시키고, 재원 기간을 줄이며 정상 생활로의 복귀가 용이한 여러 장점으로 인해 많은 환자들이 최소침습 수술을 선호하게 되었다.<sup>1)</sup> 이러한 환자들의 요구가 기술적 진보와 함께 하여 최소침습 수술의 발전이 큰 원동력이 되었다.

본 종설에서는 최소침습 수술의 과거와 현재를 살펴보고, 미

**Received:** October 11, 2023

**Revised:** October 23, 2023

**Accepted:** November 10, 2023

**Published Online:** December 31, 2023

**Corresponding author:** Soo Taek Lim, M.D.

**ORCID ID:** Sang-Min Park: <https://orcid.org/0000-0001-6171-3256>

Jae-Young Hong: <https://orcid.org/0000-0003-4948-4539>

Si-Young Park: <https://orcid.org/0000-0002-1216-901X>

Eun-Seok Son: <https://orcid.org/0000-0002-8831-093X>

Soo Taek Lim: <https://orcid.org/0000-0003-0583-3557>

Spine Center and Department of Orthopaedic Surgery, Yeseon Hospital, 206, Bucheon-ro, Bucheon-si, Gyeonggi-do, 14555, Korea

**TEL:** +82-1666-7582, **FAX:** +82-32-674-8276

**E-mail:** ostlim@naver.com

래에 이어질 최소침습 수술의 방향을 알아보고자 한다.

## 본론

### 1. 요추

#### 1) 경피적 술기

1964년 Smith가 파파야에서 추출한 효소인 chymopapain을 활용하여 추간판탈출로 인한 좌골신경통을 치료하기 위해 디스크 경피 주입술을 시도한 것이 척추 분야의 경피적 술기의 시초이다.<sup>2)</sup> 1980년대 초 Fraser, Javid, Dabezies 등이 각각 무작위 대조 연구를 통해 좋은 결과를 발표하면서 널리 시행되게 되었다. 화학 수핵 용해술은 파파야 유액에서 추출한 chymopapain이라는 단백분해효소(proteolytic enzyme)를 이용한 것으로 수핵의 한 성분인 연골뮤코단백질(chondromucoprotein)의 신속한 가수분해(hydrolysis)를 유도하는 촉매 작용에 의해 이루어진다. 그러나 직접적 신경감압이 이루어지지 않고, 매우 드물게 발생하지만 아나필락시스에 의한 사망이나 심각한 신경 손상 등의 부작용이 보고된 바 있어서 최근에는 거의 사용되지 않고 있다.

1984년 Galibert와 Deramond가 polymethyl methacrylate (PMMA)를 척추경을 통해 척추체에 주입하는 경피적 척추성형술(Percutaneous vertebroplasty)을 처음 소개하였다.<sup>3)</sup> 이후 1990년대에 많은 연구자들에 의해 골다공증성 척추 골절이나, 척추의 양성 혹은 악성 종양에서 사용되기 시작하였다. 이후 2001년에는 팽창 가능한 풍선을 이용하여 척추에 PMMA를 주입하는 경피적 풍선 척추 성형술(Balloon kyphoplasty)이 개발되었다.<sup>4)</sup>

1990년대 후반에는 Saal이 디스크 질환으로 인한 요통 치료를 위해 고주파 수핵 성형술(Intradiscal electrothermal therapy)을 소개하여 현재도 사용되고 있지만, 명확하게 통증이 감소한다는 근거는 아직 부족하다.<sup>5)</sup>

#### 2) 추간판 절제술 및 감압술

척추 수술 영역에서의 최소침습적 수술의 역사는 요추 추간판 탈출증의 수술적 치료에 대한 발전 과정을 살펴보면 알 수 있다. 1857년 Virchow가 외상성 요추추간판 탈출증을 처음 언급하여 디스크병변과 좌골신경통의 인과 관계를 처음 밝힌 이래, Oppenheim과 Krause가 처음 요추 후궁절제술과 디스크 절제술이 시행하면서 척추 수술의 시대가 열렸다.<sup>6)</sup> 그 후 1939년 Love는 후궁 간 공간을 활용하여 요추 추간판 절제술을 시행하며 최소침습 수술의 개념을 도입하여 미세 현미경적 추간판 절제술의 기본 원리를 확립하였다.<sup>7)</sup> 1950년대에 Malis는 양안 미세 현미경과 이극 소작기(Bipolar coagulator)를 도입하여

미세 현미경 수술을 가능하게 하였다. 이후 Williams는 요추 추간판 탈출증을 미세 현미경을 이용하여 1인치 이하의 피부절개와 미세 현미경하 추간판 절제술을 시도하여 2주 이내에 직업 복귀가 가능하게 하여 본격적인 미세 현미경 수술을 시도하였다.<sup>8)</sup> 관절경을 이용한 경피적 추간판 절제술은 1975년 Hijikata가 후외측 접근을 통한 경피적 추간판 절제술 (Percutaneous nucleotomy)에 대해 발표하였다.<sup>9)</sup> 이후 Kambin이 경피적 후외측 접근법을 더욱 발전시켜 5 mm 직경의 캐놀라를 이용한 추간판 절제술을 발표하여 본격적으로 경피적 추간판 절제술이 사용되었다.<sup>10)</sup> 1980년대 후반에 Schreiber 등은 내시경을 이용한 경피적 추간판 절제술에 대해 보고하며 “Discoscopy”라는 단어를 사용하였으며, Mayer와 Brock은 여러 내시경 수술 도구를 개발하여 내시경을 이용한 경피적 추간판 절제술에 대한 임상 결과를 보고 하였다. Ascher는 1984년 18개이지 바늘을 통한 Nd:YAG 레이저로 추간판을 제거하는 경피적 레이저 추간판 절제술을 시행하였다.<sup>11)</sup> 1990년대에 Kambin은 후외측 접근시 신경손상 없이 안전하게 접근할 수 있도록 안전구역(Kambin's safe zone)에 대한 개념을 확립하였다. 이를 통해 더 큰 수술 기구와 작업채널을 개발하여 내시경 수술이 빠르게 발전하는 촉매제가 되었다.<sup>12)</sup> 1996년에는 Matthews가 추간공 경막외 척추내시경 술식(Foraminal epidural endoscopic surgery)에 대해서 기술하였고,<sup>13)</sup> 1998년에는 Ditsworth가 내시경적 경추간공 술식(endoscopic transforaminal procedure)에 대해 기술하였다.<sup>14)</sup> 광학 및 조명 기술 등이 개선되어 1990년대 말 Yeung은 다중 채널 내시경을 이용한 내시경 추간판 절제술을 발표하였다.<sup>15)</sup> 하지만, 요추 제 5번-천추 1번 사이의 경추간공 접근은 다소 어려운 점이 있어 2000년대 초반 Rütten에 의해 추궁관간 도달법이 개발되었다.<sup>16)</sup> 요추 수술에서 내시경적 수술이 증가하고, 그 효용성이 높아지면서, 다양한 척추 병변에 적용되게 되었다. Khoo는 요추 협착증 환자 치료에서 전통적인 반후궁절제술과 내시경을 이용한 반후궁절제술을 비교한 연구에서 차이가 없음을 보고했으며, 이후 다양한 각도의 내시경이 개발되고 수술적 접근법 또한 개선되면서 여러 기구와 드릴, 레이저 등이 내시경 척추 수술에 적용되게 되었다.<sup>17)</sup> 2000년대 이후로 내시경 기구의 발전 및 수술 도구들의 발전으로 내시경적 감압술 및 추간판 절제술이 더욱 발전하였으며, 복잡한 수술이 수행되며 계속해서 발전하고 있다(Fig. 1).

또한 최근에는 기존의 내시경의 한계에서 벗어나 관절경을 척추에 이용하기 시작하여 양손으로 내시경수술을 하는 양방향 내시경도 사용되고 있다.<sup>18)</sup> 이 방법은 수술도구와 내시경 카메라를 서로 다른 입구를 통해 병변부위로 접근하며 후궁 절제술, 추간판 절제술 등 수술을 시행하며 최근에 많이 사용되고 있다(Fig. 2).

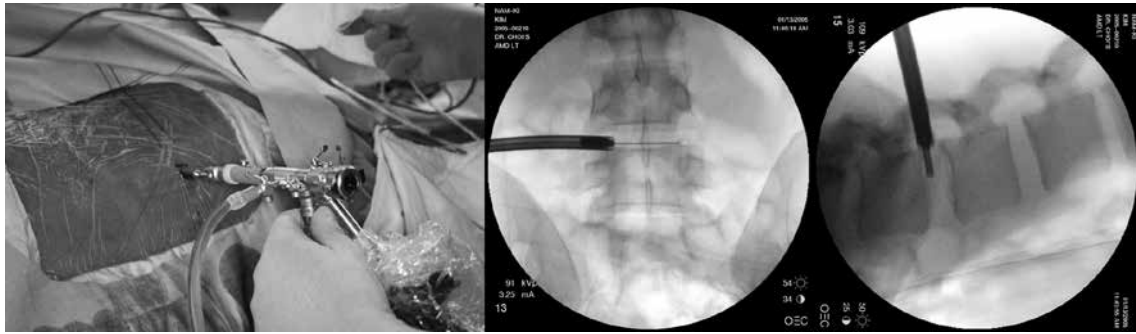


Fig. 1. Fully endoscopic lumbar transforaminal discectomy.

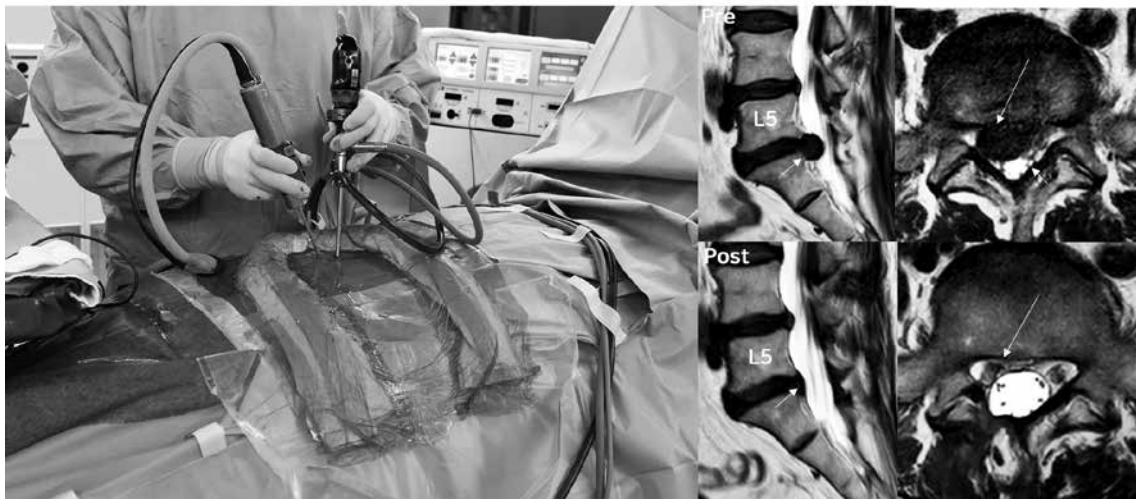


Fig. 2. Biportal endoscopic lumbar discectomy.

### 3) 척추 유합술

1995년에 Matthews와 Long은 척추경 나사들과 근막 위에 위치하는 금속판을 연결하는 경피적 후고정법을 처음 도입하였고, 2000년에는 Lowery가 경피적 후고정법을 척추경 나사와 로드를 이용하여 연결하는 방식으로 개발하였다.<sup>19)</sup> 그러나 이러한 초기의 경피적 후고정법은 제한된 범위내에서 적용되었으며, 환자들에게 불편함을 주고 불유합과 같은 합병증으로 인해 추후 제거가 필요한 경우가 많았다.<sup>20)</sup> 2002년에는 Foley가 경피적 나사와 로드를 삽입하는 경피적 척추경 나사 시스템을 개발하였으며, 그 후 이를 바탕으로 여러가지 기능이 개선된 최소침습 후고정 제품들이 출시되었다.<sup>21)</sup> 여러 부위에 대한 후고정, 신연, 압박, 전방전위의 정복도 가능해 졌으며, 많은 척추질환이 작은 절개로 경피적 나사 고정법을 통해 치료될 수 있게 되었다.<sup>20)</sup>

근래의 최소침습수술 기법에서 획기적 변화의 하나는 원통형 견인기와(tubular retractor) 이를 수술 테이블에 부착하는 고정장치를 사용하기 시작한 것이라 할 수 있다. Foley와 Smith

등이 이 방법을 1997년 처음 요추 추간판 절제술에 사용하기 시작하였으며, 연이어서 2002년 척추관 협착증과 경추 신경근증의 신경 감압술에 사용한 결과들이 보고되었다.<sup>20)</sup> 원통형 견인기를 사용하는 수술은 점차 발달하여 후방추체간유합술(Posterior lumbar interbody fusion, PLIF)과 경추간공추체간유합술(Transforaminal lumbar interbody fusion, TLIF) 같은 요추 유합술도 원통형 견인기를 통하여 시행 하게 되었다(Fig. 3).

원통형 견인기는 전통적인 후방접근에 의한 유합술 뿐만 아니라 척추의 외측으로 접근하여 추체간 유합술을 하는 데에도 사용되기 시작하였는데, 2001년 Pimenta는 이 방법을 사용하여 요근을 통하여 유합술을 시행하여 그 결과를 보고하였고, 점차 다양한 요추 질환의 치료에 사용되고 있다. 이 수술법은 지속적으로 발전하여 최소침습 수술을 가능하게 하는 견인기의 개발과 유발전위와 근전도를 이용한 신경감시(neuromonitoring) 등의 새로운 기술을 추가적으로 도입하여 Ozgur 등이 최소침습 극외측 추체간유합술로(extreme lateral interbody fusion, XLIF, NuVasive Inc., San Diego, USA) 보고하였다.<sup>22)</sup> 복막을 절개하



Fig. 3. Tubular retractor-assisted transforaminal lumbar interbody fusion.

지 않으므로 장 폐색을 일으킬 수 있는 복강내의 유착을 일으키지 않으며, 요근을 통해서 비교적 뒤쪽의 공간으로 접근하므로 큰 혈관 손상에 의한 출혈과 교감신경절의 손상, 역행성 사정 등의 합병증을 최소화할 수 있다. 또한, 후관절 관통 나사나 경피적 척추경 나사못으로 후방 고정을 추가 시행하여 후방 장력대도 만들어 줄 수 있다. 또한 이 방법은 요추 협착증뿐 아니라 최소침습적 척추 변형 교정에도 사용된다. 최근에는 측와위에서 좌하복부 전상장골극 전하방부에 횡으로 절개를 하고 척추의 전외측으로 접근하는 OLIF (Oblique Lumbar Interbody Fusion) 술기가 개발되어서 사용되고 있다(Fig. 4).

최근에는 내시경을 이용한 경추간공 추체간 유합술도 이용되고 있으며 단방향 내시경 뿐만 아니라 양방향 내시경 모두에서 유합술의 결과가 보고된다.<sup>1)</sup> 내시경을 이용한 방법은 기존의 원통형 견인기를 이용한 방법과 유사하며 임상 결과에서도 기존의 원통형 견인기와 유사하다고 보고된다.

전방접근에 대한 내시경 법은, 1997년에 McAfee가 요추 내

시경적 후복막 접근법을 처음 시도하였으며, 복강경을 이용한 요추 접근법 (transperitoneal lumbar discectomy)은 1991년에 Obenchain에 의해 처음 소개되었다.<sup>23)</sup> 이 후 자가골 혹은 인공 삽입물을 이용한 추체간 유합술이 시행되었으며 1993년 Zucherman과 Zdeblick에 의해 금속 케이지(cage) 삽입물을 이용한 요추추간 유합술이 시행되었다.<sup>24)</sup> 시간이 흐름에 따라 복강경을 이용한 수술에 더욱 편리하게 사용할 수 있는 기구들이 특별히 고안되었으며 이로 인해 술기의 숙련에 걸리는 시간도 짧아지고 적응증도 보다 넓어졌다. 또한 경복막 복강경(transperitoneal laparoscopy) 뿐 아니라 특별히 고안된 확장기를 이용하여 후복막을 통한 복강경 수술(retroperitoneal laparoscopic surgery)도 시도되었다.

## 2. 흉추

1779년, Pott이 처음으로 흉추의 결핵성 척추염을 치료하기 위해 흉추 수술을 시행했고, 1838년에는 Key가 흉추 디스크 질

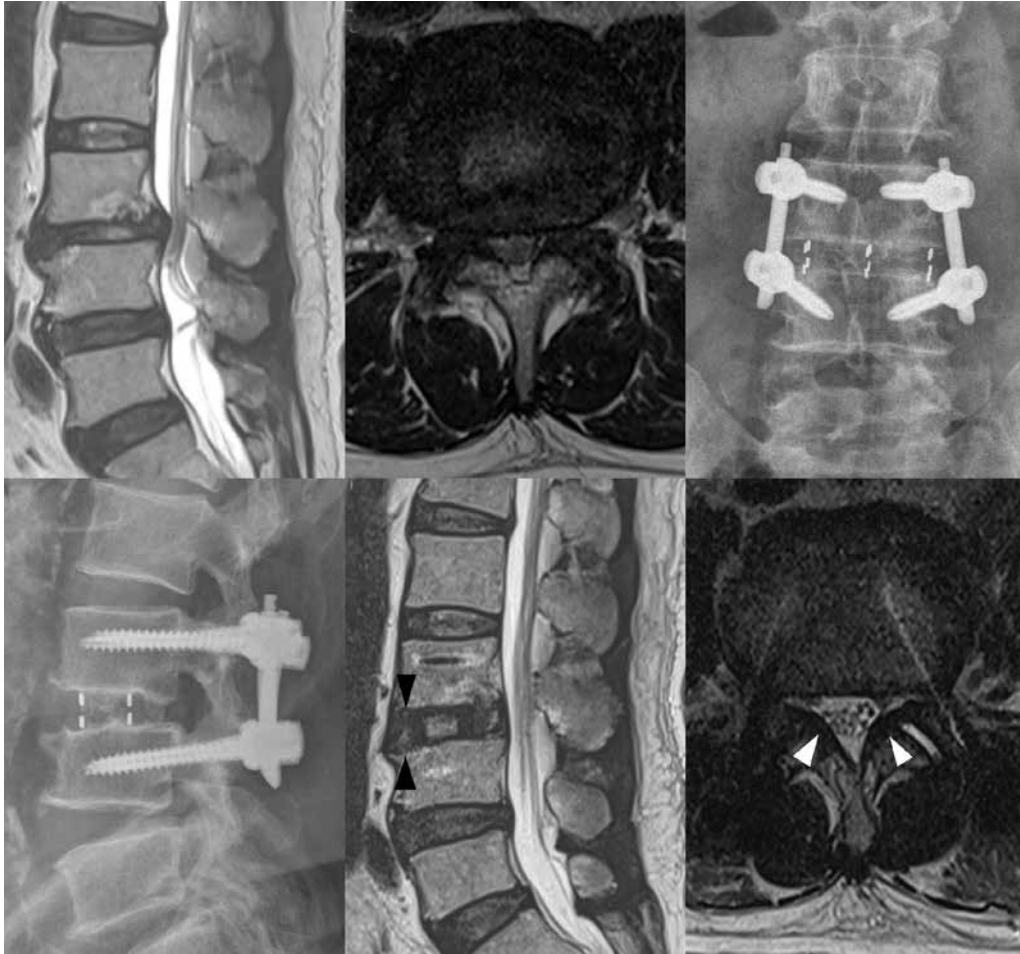


Fig. 4. Lateral lumbar interbody fusion.

환에 대한 수술을 처음으로 시도했다.<sup>25)</sup> 1894년에 Menard가 외측 강외접근법 (Lateral extracavitary approach)을 개발하였으며, 이후 1992년에 Adsen이 흉추 후궁절제와 디스크 제거술을 시행했다.<sup>26)</sup> 이러한 시도들을 바탕으로 흉추 수술에서는 복장뼈, 척추경 및 흉강 등을 통한 다양한 접근법이 개발되었다.

흉추 분야에서 대표적인 최소침습 수술방법인 흉강경을 활용한 흉추 수술은 1990년 내과 의사인 Jacobaeus에 의해 처음 시도되었으며, 내시경에 비디오 이미지 기법이 내시경에 접목됨에 따라, 1993년 Mack과 Rosenthal이 비디오 흉강경 (Video-assisted thoracoscopic surgery, VATS)를 이용한 흉추 수술을 성공적으로 시행하였다.<sup>27)</sup> 초기에는 흉강경을 이용한 척추 수술이 주로 추간판 탈출증, 척추체의 병변, 종양 생김, 농양 배농과 관련된 수술에 사용되었다. 그러나 기술이 발전하면서 오늘날에는 측만증, 척추 종양 제거술, 척추 유합술, 추체 제거술 등과 같은 다양한 수술도 흉강경을 통해 가능하게 되었다.<sup>28)</sup> 하지만 술기의 난이도가 높고, 상대적으로 긴 수술시간,

그리고 고가의 장비를 구입하여야 하는 점 등의 문제로 대중화되지 못하고 근래에는 사용이 현격히 감소하여 잘 사용되지는 않는다.

1997년, 흉추 분야에서 최초로 내시경을 활용한 수술이 Joe에 의해 시행되었다. 그는 척추경을 통해 내시경을 삽입하고, 흉추 디스크 제거술을 실시하였다. 이 내시경 수술에서는 0도부터 70도까지의 4 mm 내시경이 작은 절개를 통해 사용되었다. 이후 Chiu와 Clifford는 4 mm 0도 내시경을 활용하여 레이저 디스크 열성형술(Laser thermodykoplasty)을 흉추 분야에서 처음으로 시행하였다.<sup>29)</sup>

### 3. 경추

#### 1) 전방 술기

경추 전방에서 안전하게 경피적으로 접근하는 것은 어려운 일이며, 잠재적으로 경동맥과 경정맥, 식도, 기도, 갑상선 등의 손상 가능성이 있다. 따라서 최소침습적인 방법으로 관상 확장



기(tubular retractor)를 활용하여 경추 전방에 접근하는 방법은 후방 접근법과 비교하여 많이 시도되지 않았다. 전방에서의 척수감압술은 1838년 Key에 의해 처음 시도되었지만, 위험 때문에 100년 이상이 지나서야, Verbeist에 의해 최초로 경추 전방 추간공 확장술을 시행되었다.<sup>30)</sup>

경추 전방에서 최초의 최소침습수술은 1975년, Lankinson과 Wilson가 현미경을 이용한 전방 경추 디스크절제술을 시행한 것이다.<sup>31)</sup> 이후 1990년 초, Joe가 경피적 전방 경추 수술법을 개발하였으며, 그 이후로 내시경을 활용한 전방 경추 디스크 절제술, 유합술, 현미경적 전방 추간공 확장술 등이 경추 전방의 최소침습 수술로 차례로 도입되었다.<sup>32)</sup> 하지만 최근에는 내시경이나 원통형 견인기를 이용한 후방 접근 수술이 좀더 많이 사용되며 전방 접근 수술방법은 잘 사용되지 않는다.

## 2) 후방 술기

1913년에 Elsborg가 처음으로 디스크 질환 치료를 위해 후방 경추 접근법을 시행했다.<sup>33)</sup> 그 이후 후궁 절제술, 추간공 확장술과 같은 후방 경추 수술법들이 개발되었고, 1966년에 Scoville와 Whitcomb에 의해 후방 경추 수술 개념이 널리 퍼지게 되었다.<sup>34)</sup> ‘키홀’ 절골술을 통한 후방 경추 접근은 전방 접근과 비교하여 신경 감압, 디스크 및 골극 제거 시 넓은 시야를 제공하였으며, 수술치료의 결과도 좋았다. 그 근거로 Murphy는 후방 접근을 통한 후궁 절제술 및 추간공 확장술이 환자의 80%에서 증상 호전을 보고하였다.<sup>35)</sup> 그러나 전통적인 접근법은 근육 손상과 수술 후 심한 통증을 유발하여, 후방 경추에서도 최소침습 수술의 필요성이 부각되었다. Roh가 처음 카테바를 이용하여 내시경을 이용한 경추 후방에서의 추간공 확장술을 발표하였으며, Admson과 Khoo는 이 방법을 통해 환자들을 수술 한

결과 진통제 사용과 통증이 기존의 관혈적 접근법과 비교하여 유의미하게 감소함을 보고하였다.<sup>36)</sup> 또한 2006년 Wang 등이 ‘rivet retractor’를 이용한 외측과 나사 고정술을 발표하였지만, 아직 많이 사용되지는 않는다.<sup>37)</sup> 최근에는 내시경의 해상도 및 수술기구가 많이 발전하여 경추에도 많이 이용되고 있으며, 내시경을 이용한 후궁절제술, 추간공 확장술, 추간판 절제술 등이 사용되고 있지만, 아직 임상적인 근거는 부족하며 안전성에 대해서는 많은 연구가 필요하다.<sup>38)</sup>

## 4. 최소침습 척추 수술의 미래

### 1) 네비게이션

컴퓨터 단층 촬영 및 자기공명영상과 같은 영상의학 장비의 정밀도가 향상되면서 네비게이션 기술의 정확성도 크게 향상되었다(Fig. 5). 최근에는 Stereostatic 3D 카메라와 같은 장비를 사용하여 수술 중에 실시간으로 기구와 해부학적 랜드마크 사이의 상대적 위치를 예측하고, 이를 통해 네비게이션의 신뢰성을 높일 수 있게 되었다.<sup>39)</sup>

특히 척추 수술에서는 네비게이션 기술이 후방 나사 고정 시에 가장 유용하게 활용되고 있다. 기존의 freehand 기술을 사용한 척추경 나사 고정은 나사 삽입 위치를 결정할 때 주변 해부학적 구조에 의존하여 주변 조직을 박리가 불가피하였다. 반면에 네비게이션 기술을 사용하면 사전에 촬영된 영상의학 이미징 정보를 기반으로 나사 삽입 위치를 결정할 수 있어 주변 조직 박리 없이도 정확한 나사 위치를 결정할 수 있다. 이를 통해 네비게이션을 이용한 척추 수술은 최소한의 침습적 절차로 정상 조직을 최대한 보존하는데 큰 도움을 줄 것으로 기대된다.

최근의 기술 발달로 나사고정에서 네비게이션 정확도가 기존 방법을 넘어서고 있다. Amiot와 Yu의 연구에 따르면 척추경



Fig. 5. Navigation-assisted lumbar spine surgery.

나사 삽입 시 네비게이션을 사용한 경우가 freehand 기술보다 정확하며 재수술 확률도 낮다는 결과가 있었다.<sup>40)</sup> Shin의 연구 메타분석에서도 네비게이션을 사용한 척추경 나사 삽입이 정확도가 높다고 보고되었다.<sup>41)</sup> 앞으로 더 정밀한 영상의학 장비를 활용하여 환자의 해부학적 정보를 획득하고, 수술 중에도 랜드마크들 간의 상대적 위치를 정확하게 매칭하는 카메라 기술이 더 발전하여 네비게이션을 이용한 수술의 정확성이 더욱 향상될 전망이다.

네비게이션은 추적자(tracker)와 사전에 촬영한 영상과 정합을 통해 작동되기 때문에 수술 중 추적자들이 해부학적 랜드마크에 정확하게 위치해야 한다. 미래에는 추적자들이 정확한 위치에 수술 중 이탈없이 잘 유지되고, 작은 크기로 수술에 방해되지 않도록 개선되어 갈 것으로 전망된다.<sup>42)</sup>

2) 로봇수술

로봇을 활용한 수술은 이미 다른 의료 분야에서 활발히 진행되고 있다. 그러나 척추 분야에서는 신경과 혈관 주변을 다루는 경우가 많아 기술적인 정밀성이 요구되어, 이로 인해 상대적으로 로봇 수술의 도입이 늦어졌다. 초기 척추 로봇 수술은 기술적이거나 임상적인 오류가 50% 이상 발생하는 등 정밀성에 한계가 있었다.<sup>43)</sup> 하지만 최근에는 로봇 수술에 네비게이션 시스템이 통합되며, 소프트웨어 기술의 발전으로 사용자의 편의성이 향상되고 로봇 팔의 자동화가 진행되면서, 최소침습수술 분야에서 로봇 수술에 대한 기대가 증가하고 있다.

로봇 수술은 수술에 적합하게 설계된 다양한 관절을 갖추고 있어, 최소침습 수술에서도 좁은 절개를 통해 수술을 수행할 때 사람 손으로는 어려운 부위에 도달할 수 있는 편의성을 제공한다. 또한 로봇 수술은 사람의 손과 비교해 안정성이 우월함

다. 수술 중 떨림을 보정하여 의도치 않은 주변부 손상을 예방할 수 있다. 이러한 이점들을 고려할 때, 최소 척추 침습수술 분야에서 로봇 수술의 잠재력은 상당하다.

특히 최근에는 척추경 나사 고정 분야에서 로봇을 이용한 수술이 기존 방법을 뛰어넘는 것으로 나타나고 있다. 최근 연구에 따르면 투시 영상을 활용한 척추경 나사 고정과 비교해 로봇을 이용한 수술이 정확도 면에서 우월하다고 보고되었다.<sup>44)</sup>

스크류 고정뿐만 아니라 수술 접근법에서도 로봇 수술의 장점이 부각되고 있다. 최근 연구에 따르면 다빈치 수술 로봇을 이용한 전방 요추체 유합술이 안전하고 효과적임을 보고하였다.<sup>45)</sup> 이러한 잠재력을 기반으로 미래에는 로봇을 활용하여 다양한 접근법으로 최소한의 정상 조직 손상을 유지하며 병변 부위만을 치료하는 최소침습수술의 새로운 가능성이 열릴 것으로 전망된다.

3) 가상현실과 증강현실

가상현실(Virtual reality, VR)은 컴퓨터로 만들어 놓은 가상의 세계에서 사람이 실제와 같은 체험을 할 수 있도록 하는 기술을 의미하며, 증강현실(Augmented reality, AR)은 사용자 눈에 보이는 현실 세계에 실시간으로 3차원 가상의 물체나 그래픽을 겹쳐 보여 주는 기술을 의미한다.

가상현실은 최소침습 수술 분야에서 간접적으로 기여할 수 있다. 수술 전에 가상 현실을 활용하여 계획을 세우면, 수술 중 불필요한 단계를 줄이고 수술 시간을 단축시킬 수 있다. De salvatore의 연구에 따르면 가상현실을 활용하여 특발성 측만증 수술을 사전에 계획한 경우, 실제 수술 중에 실혈량과 수술 시간을 유의미하게 감소시킬 수 있다고 보고되었다.<sup>46)</sup>

증강현실은 현재 최소침습 수술 시 시야의 제약을 극복하는



Fig. 6. Augmented reality-assisted pedicle screw insertion.



데 도움을 줄 수 있다. 불분명한 구조물을 강조하거나 보이지 않는 해부학적 랜드마크를 표시함으로써, 최소침습 수술 시 시야의 한계를 보완해준다.<sup>47)</sup> 예를 들어, 관상 확장기를 사용한 최소침습 추간공 경유 요추 유합술(MIS-TLIF) 시 디스크와 후관절, 척추경의 위치를 화면에 표시하거나, 현미경을 사용한 경추 수술 시 척추동맥의 위치를 표시함으로써 최소침습 수술 시 도움을 줄 수 있다.<sup>48)</sup> 또한 최근에는 HMD (Head-mounted display)를 이용한 척추경 나사 삽입술도 개발되어 사용되고 있으며, 정확도 측면에서 기존 개방적 수술에 필적할만한 결과를 보여주고 있다(Fig. 6).<sup>49)</sup> 미래에는 증강현실 기술을 통해 최소절개만으로 정확한 해부학적 구조를 화면을 통해 파악할 수 있는 방법이 개발될 것으로 예상되며, 이는 최소침습 수술에 상당한 기여를 할 것으로 기대된다.

## 결론

최근 척추 분야의 최소침습 수술은 새로운 기술들을 척추 수술에 지속적으로 도입하면서 발전해 나가고 있다. 앞으로 이미 도입된 기술들의 발전과 적극적인 신기술 도입으로 최소침습 수술은 더욱더 발전해 갈 것으로 생각된다. 이러한 기술의 발전을 통해 최소침습 수술의 한계점이 보완될 것으로 생각되며, 다양한 척추병변에서 전통적인 수술을 대체하는 수술법으로 발전할 것으로 생각된다.

## REFERENCES

1. Choi JY, Park SM, Kim HJ, et al. Recent Updates on Minimally Invasive Spine Surgery: Techniques, Technologies, and Indications. *Asian Spine J.* 2022 Dec;16(6):1013–21. DOI: 10.31616/asj.2022.0436
2. Smith L, Garvin PJ, Gesler RM, et al. Enzyme dissolution of the nucleus pulposus. *Nature.* 1963 Jun 29;198(4887):1311–2. DOI: 10.1038/1981311a0
3. Galibert P, Deramond H, Rosat P, et al. [Preliminary note on the treatment of vertebral angioma by percutaneous acrylic vertebroplasty]. *Neurochirurgie.* 1987;33(2):166–8.
4. Belkoff SM, Mathis JM, Fenton DC, et al. An ex vivo biomechanical evaluation of an inflatable bone tamp used in the treatment of compression fracture. *Spine (Phila Pa 1976).* 2001 Jan 15;26(2):151–6. DOI: 10.1097/00007632-200101150-00008
5. Saal JA, Saal JS. Intradiscal electrothermal therapy for the treatment of chronic discogenic low back pain. *Clin Sports Med.* 2002 Jan;21(1):167–87. DOI: 10.1016/s0278-5919(03)00064-4
6. Virchow R. Untersuchungen über die Entwicklung des Schaelgrundes im Gesunden und krankhaften Zustande. Berlin: Reimber. 1857. [doi: ]
7. Jg L. Removal of protruded intervertebral disks without laminectomy. (*Proc Staff Meet Mayo Clin:* 800, 1939).
8. Yasargil M. Microsurgical operation of herniated lumbar disc. (*Lumbar Disc Adult Hydrocephalus,* Springer: 81–81, 1977).
9. Hijikata S YM, Nakayama T, Oomori K. Percutaneous discectomy: a new treatment method for lumbar disc herniation. *J Toden Hosp.* 1975;395–13.
10. Kambin P, Schaffer JL. Percutaneous lumbar discectomy. Review of 100 patients and current practice. *Clin Orthop Relat Res.* 1989 Jan;238(238):24–34.
11. Pw A. Application of the laser in neurosurgery. *Laser Surg Med.* 1986 291–97.
12. Kambin P, Casey K, O'Brien E, et al. Transforaminal arthroscopic decompression of lateral recess stenosis. *J Neurosurg.* 1996 Mar;84(3):462–7. DOI: 10.3171/jns.1996.84.3.0462
13. Mathews HH. Transforaminal endoscopic microdiscectomy. *Neurosurg Clin N Am.* 1996 Jan;7(1):59–63.
14. Ditsworth DA. Endoscopic transforaminal lumbar discectomy and reconfiguration: a postero-lateral approach into the spinal canal. *Surg Neurol.* 1998 49(6):588–98.
15. Yeung AT. Minimally Invasive Disc Surgery with the Yeung Endoscopic Spine System (YESS). *Surg Technol Int.* 1999 8267–77.
16. Ruetten S, Komp M, Godolias G. An extreme lateral access for the surgery of lumbar disc herniations inside the spinal canal using the full-endoscopic uniportal transforaminal approach—technique and prospective results of 463 patients. *Spine (Phila Pa 1976).* 2005 Nov 15;30(22):2570–8. DOI: 10.1097/01.brs.0000186327.21435.cc
17. Khoo LT, Fessler RG. Microendoscopic decompressive laminotomy for the treatment of lumbar stenosis. *Neurosurgery.* 2002 Nov;51(5 Suppl):S146–54.
18. Park SM, Lee HJ, Park HJ, et al. Biportal endoscopic versus microscopic discectomy for lumbar herniated disc: a randomized controlled trial. *Spine J.* 2023 Jan;23(1):18–26. DOI: 10.1016/j.spinee.2022.09.003

19. HH M. Endoscopy-assisted percutaneous anterior interbody fusion with subcutaneous suprafascial internal fixation: evolution of technique and surgical considerations. *Orthop Int Ed*. 1995 3496–500.
20. Khoo L. Rationale for minimally invasive spine surgery. An anatomic approach to minimally invasive spine surgery. St. Louis, Mo.: Quality Medical Pub. 2006 89–102.
21. Foley KT, Gupta SK. Percutaneous pedicle screw fixation of the lumbar spine: preliminary clinical results. *J Neurosurg*. 2002 Jul;97(1 Suppl):7–12. DOI: 10.3171/spi.2002.97.1.0007
22. Ozgur BM, Aryan HE, Pimenta L, et al. Extreme Lateral Interbody Fusion (XLIF): a novel surgical technique for anterior lumbar interbody fusion. *Spine J*. 2006 Jul-Aug;6(4):435–43. DOI: 10.1016/j.spinee.2005.08.012
23. Obenchain TG. Laparoscopic lumbar discectomy: case report. *J Laparoendosc Surg*. 1991 Jun;1(3):145–9. DOI: 10.1089/lps.1991.1.145
24. Zucherman JF, Zdeblick TA, Bailey SA, et al. Instrumented laparoscopic spinal fusion. Preliminary Results. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1995 Sep 15;20(18):2029–34;discussion 34–5. DOI: 10.1097/00007632-199509150-00015
25. Pott P. Remarks on that Kind of Palsy of the Lower Limbs which is frequently found to accompany a curvature of the spine. London: J Johnson. 1779.
26. Menard V. Etude Pratique sur le Mal de Pott. Paris: Masson et Cie. 1900.
27. Rosenthal D, Rosenthal R, de Simone A. Removal of a protruded thoracic disc using microsurgical endoscopy. A new technique. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1994 May 1;19(9):1087–91. DOI: 10.1097/00007632-199405000-00018
28. Perez-Cruet MJ, Balabhadra RS, Samartzis D, et al. Historical background of minimally invasive spine surgery. Endoscopic spine surgery and instrumentation. New York: Thime. 2004 3–18.
29. Jho HD. Endoscopic microscopic transpedicular thoracic discectomy. Technical note. *J Neurosurg*. 1997 Jul;87(1):125–9. DOI: 10.3171/jns.1997.87.1.0125
30. Key C. Mr. Aston Key on paraplegia. *Guy's Hospital Reports*. 1838 317–34.
31. Hankinson HL, Wilson CB. Use of the operating microscope in anterior cervical discectomy without fusion. *J Neurosurg*. 1975 43(4):452–56.
32. Jho H-D. Decompression via microsurgical anterior foraminotomy for cervical spondylotic myelopathy. *J Neurosurg*. 1997 86(2):297–302.
33. Elsberg C. Observations upon 60 laminectomies for spinal disease. *Surg Gynecol Obstet*. 1913 16117–20.
34. Scoville WB, Whitcomb BB. Lateral rupture of cervical intervertebral disks. *Postgrad Med*. 1966 Feb;39(2):174–80. DOI: 10.1080/00325481.1966.11696921
35. Murphey F, Simmons JC, Brunson B. Chapter 2. Ruptured cervical discs, 1939 to 1972. *Clin Neurosurg*. 1973 209–17. DOI: 10.1093/neurosurgery/20.cn\_suppl\_1.9
36. Adamson TE. Microendoscopic posterior cervical laminoforaminotomy for unilateral radiculopathy: results of a new technique in 100 cases. *J Neurosurg*. 2001 Jul;95(1 Suppl):51–7. DOI: 10.3171/spi.2001.95.1.0051
37. Wang MY, Levi AD. Minimally invasive lateral mass screw fixation in the cervical spine: initial clinical experience with long-term follow-up. *Neurosurgery*. 2006 May;58(5):907–12; discussion 07–12. DOI: 10.1227/01.NEU.0000209929.38213.72
38. Wang MY, Green BA, Coscarella E, et al. Minimally invasive cervical expansile laminoplasty: an initial cadaveric study. *Neurosurgery*. 2003 Feb;52(2):370–3; discussion 73. DOI: 10.1227/01.neu.0000043933.32287.ee
39. Overley SC, Cho SK, Mehta AI, et al. Navigation and Robotics in Spinal Surgery: Where Are We Now? *Neurosurgery*. 2017 Mar 1;80(3S):S86–S99. DOI: 10.1093/neuros/nyw077
40. Yu X, Xu L, Bi LY. [Spinal navigation with intra-operative 3D-imaging modality in lumbar pedicle screw fixation]. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi*. 2008 Jul 15;88(27):1905–8.
41. Shin BJ, James AR, Njoku IU, et al. Pedicle screw navigation: a systematic review and meta-analysis of perforation risk for computer-navigated versus freehand insertion. *J Neurosurg Spine*. 2012 Aug;17(2):113–22. DOI: 10.3171/2012.5.SPINE11399
42. Lonjon N, Chan-Seng E, Costalat V, et al. Robot-assisted spine surgery: feasibility study through a prospective case-matched analysis. *Eur Spine J*. 2016 Mar;25(3):947–55. DOI: 10.1007/s00586-015-3758-8
43. Barzilay Y, Liebergall M, Fridlander A, et al. Miniature robotic guidance for spine surgery—introduction of a novel system and analysis of challenges encountered during the

- clinical development phase at two spine centres. *Int J Med Robot.* 2006 Jun;2(2):146–53. DOI: 10.1002/rcs.90
44. Roser F, Tatagiba M, Maier G. Spinal robotics: current applications and future perspectives. *Neurosurgery.* 2013 Jan;72 Suppl 112–8. DOI: 10.1227/NEU.0b013e318270d02c
45. Lee Z, Lee JY, Welch WC, et al. Technique and surgical outcomes of robot-assisted anterior lumbar interbody fusion. *J Robot Surg.* 2013 Jun;7(2):177–85. DOI: 10.1007/s11701-012-0365-0
46. De Salvatore S, Vadala G, Oggiano L, et al. Virtual Reality in Preoperative Planning of Adolescent Idiopathic Scoliosis Surgery Using Google Cardboard. *Neurospine.* 2021 Mar;18(1):199–205. DOI: 10.14245/ns.2040574.287
47. Park S-M, Kim H-J, Yeom JS, et al. Spine Surgery Using Augmented Reality. *J Korean Soc Spine Surg.* 2019 26(1):26. DOI: 10.4184/jkss.2019.26.1.26
48. Goldberg JL, Hussain I, Sommer F, et al. The Future of Minimally Invasive Spinal Surgery. *World Neurosurg.* 2022 Jul;163233–40. DOI: 10.1016/j.wneu.2022.03.121
49. Yahanda AT, Moore E, Ray WZ, et al. First in-human report of the clinical accuracy of thoracolumbar percutaneous pedicle screw placement using augmented reality guidance. *Neurosurg Focus.* 2021 Aug;51(2):E10. DOI: 10.3171/2021.5.FOCUS21217]

## 최소 침습 척추 수술의 과거, 현재 그리고 미래

박상민 · 홍재영\* · 박시영† · 손은석‡ · 임수택§ · 최소침습 척추치료 연구그룹

분당서울대학교병원 정형외과학교실, \* 고려대학교 안산병원 정형외과학교실, † 신촌세브란스병원 정형외과학교실, ‡ 계명대학교 동산병원 정형외과학교실, § 예순병원 정형외과

**연구 계획:** 문헌고찰

**목적:** 최소침습적인 척추 수술의 과거와 현재를 소개하고, 앞으로 개발될 기술에 대해 소개하고자 한다.

**선행 연구문헌의 요약:** 척추 수술에 있어서도 피부 절개를 가능한 한 줄이고 수술하는 이른바 최소침습적 수술 방법이 발전하게 되었는데, 이는 단순히 피부 절개를 줄임으로써 미용상의 문제를 해결한 데 그치지 않고, 출혈량을 줄이면서 가능한 한 정상 조직을 보존하여 수술 후 통증과 합병증을 감소시키고, 재원 기간을 줄이며, 정상 생활로의 복귀가 용이한 여러 가지 장점이 있어, 환자나 의사 모두에게 관심의 대상이 되고 있으며, 동시에 이에 필요한 수술 기구들이 매우 활발히 개발되고 있다.

**대상 및 방법:** 관련 연구 고찰

**결과:** 최소침습의 역사는 요추 추간관 탈출증의 수술적 치료에 대한 발전 과정에서 잘 나타난다. 20세기 초부터 최소침습적인 추간관 절제술이 시작되었으며 현미경과 원통형 견인기가 개발되면서 많은 발전이 있었다. 또한 내시경이 개발되며 최소침습적인 수술이 대중화되어 사용되었다. 흉추 및 경추에서도 이러한 최소침습적인 수술이 사용되고 있지만 요추에 비해서 아직 많은 발전이 필요하다. 최근에는 항법장치, 로봇, 증강현실 등의 기술이 개발되고 있으며 최소침습 수술의 안전성을 향상시키는데 도움을 주고 있다.

**결론:** 최소침습 수술은 많은 발전이 이뤄졌으며, 최근의 기술개발과 더불어 빠르게 발전하고 있다. 기술의 발전을 통해 수술의 한계점이 보완될 것으로 생각되며, 다양한 척추병변에서 전통적인 수술을 대체하는 수술법으로 발전할 것으로 생각된다.

**색인 단어:** 최소침습 수술, 역사, 현재, 미래

**약칭 제목:** 최소침습 척추 수술

**접수일:** 2023년 10월 11일

**수정일:** 2023년 10월 23일

**게재확정일:** 2023년 11월 10일

**교신저자:** 임수택

경기도 부천시 부천로 206 예순병원 정형외과

**TEL:** 1666-7582

**FAX:** 032-674-8276

**E-mail:** ostlim@naver.com