

Surgical Strategies for Successful Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion

Yung Park, M.D., Se-Jun Park, M.D., Jae-Young Hong, M.D., Ki-Hyoung Koo, M.D.

J Korean Soc Spine Surg 2016 Dec;23(4):251-261.

Originally published online December 31, 2016;

<https://doi.org/10.4184/jkss.2016.23.4.251>

Korean Society of Spine Surgery

Department of Orthopedic Surgery, Gangnam Severance Spine Hospital, Yonsei University College of Medicine,
211 Eunju-ro, Gangnam-gu, Seoul, 06273, Korea Tel: 82-2-2019-3413 Fax: 82-2-573-5393

©Copyright 2016 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.2016.23.4.251>

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.

Surgical Strategies for Successful Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion

Yung Park, M.D., Se-Jun Park, M.D.*, Jae-Young Hong, M.D.[†], Ki-Hyoung Koo, M.D.[‡]

Department of Orthopedic Surgery, National Health Insurance Service Ilsan Hospital, Yonsei University College of Medicine

*Department of Orthopedic Surgery, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University College of Medicine**

Department of Orthopedic Surgery, Korea University Ansan Hospital, Korea University College of Medicine[†]

Department of Orthopedic Surgery, Dongguk University International Hospital, Dongguk University College of Medicine[‡]

Study Design: Literature review.

Objectives: The aim of this study was to demonstrate surgical strategies for successful minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF).

Summary of Literature Review: Although many studies have reported the benefits and disadvantages of minimally invasive TLIF, few have described surgical strategies to improve the success rate or to reduce complications.

Materials and Methods: We searched for studies reporting the clinical and radiological outcomes of minimally invasive TLIF, and analyzed the optimal indications, technical pitfalls, and tips for successful surgical outcomes.

Results: The ideal candidate for minimally invasive TLIF is a patient with single or 2-level low-grade adult degenerative or isthmic spondylolisthesis. Incomplete decompression, dura tearing, nerve root injury, and implant-related complications were found to be the most commonly reported adverse events, especially in the early periods of a surgeon's experience. Precise positioning for skin incision and tube insertion, complete neural decompression, proper interbody preparation for bone graft and cage insertion, and the correct placement of percutaneous pedicle screws are critical strategies for successful surgical outcomes. Fully understanding the surgical pitfalls and tips described in this review is also important to avoid potential complications.

Conclusions: It is imperative not only to carry out a comprehensive preoperative evaluation and proper patient selection, but also to perform meticulous surgical procedures with thoughtful considerations of potential pitfalls, in order to improve the success rate and to reduce the complications of minimally invasive TLIF.

Key words: Minimally invasive, Transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF), Patient selection, Pitfalls and tips, Surgical strategy

서론

최소침습 경추간공 요추체간 유합술(Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion, MI-TLIF)은 원통 견인기(Tubular retractor)와 경피적 척추경 나사못 고정술(Percutaneous pedicle screw fixation)을 이용하여 경추간공 요추체간 유합술(Transforaminal Lumbar Interbody Fusion, TLIF)을 시행하는 최소 침습적 수술기법이다.¹⁾

이 수술 방법은 기존의 후방 요추체간 유합술(Posterior Lumbar Interbody Fusion, PLIF)이나 관혈적 경추간공 요추체간 유합술(Open TLIF)에 비해 후방척추근육의 손상을 최소화하고, 출혈을 적게 하며, 술 후 조기에 보행이 가능하게 하며, 이로 인하여 재원기간을 단축시킬 수 있는 장점이 있다.¹⁻³⁾ 하지만 기존의 방법에 비하여 수술시간 및 방사선 노출시간이 길고, 초심자에게는 술기 습득시간도 길어 초기에 불충분한 압박이나 신경근 또는

경막 손상 등의 합병증 발생 빈도가 비교적 높은 단점도 보고되고 있다.^{4,5)}

따라서 본 연구에서는 최소침습 경추간공 요추체간 유합술에 적합한 환자선택 및 수술 중 흔히 간과하기 쉬운 잠재적 합병증(Surgical pitfalls)과 그 기피요령(Surgical tips)을 중심으로 수술술기를 소개하고 성공적인 수술결과를 얻기 위하여 고려해야 할

Received: August 3, 2016

Revised: August 16, 2016

Accepted: November 2, 2016

Published Online: December 31, 2016

Corresponding author: Yung Park, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, National Health Insurance Service Ilsan Hospital, Yonsei University College of Medicine 100, Ilsan-ro, Ilsandong-gu, Goyang, Gyeonggi-do, 10444, Korea

TEL: +82-31-900-0270, **FAX:** +82-31-900-0343

E-mail: yungspine@gmail.com

수술전략에 대하여 알아보고자 하였다.

대상 및 방법

저자들은 문헌 고찰을 통하여 최소침습 경추간공 유합술의 임상적 및 방사선학적 결과들을 최신 지견에 비추어 분석해보고, 수술성공을 위해 고려할 사항들을 올바른 환자선택을 위한 수술 적응증, 수술기법, 수술 시 주의해야 할 사항과 습득곡선 (Learning curve) 측면에서 저자들의 경험과 증례를 바탕으로 고찰하였다. 또한 최소침습 경추간공 요추체간 유합술의 수술결과를 고식적 경추간공 요추체간 유합술과 비교 분석한 두 편의 최신 메타분석 자료를 이용하였다.^{6,7)}

결과 및 고찰

수술 적응증(Surgical Indications)

최소침습 경추간공 요추체간 유합술의 적응증은 기존의 고식

적인 경추간공 유합술이나 후방 요추체간 유합술의 적응증과 기본적으로 동일하다. 추간판 절제술 후 케이지를 삽입하는 방법으로 과거의 후외측 유합술에 비하여 유합률을 향상시키고, 이식 재료에 압박력을 줄 수 있으며, 추간판 높이의 상승으로 변형 교정에 유리하고 추간공의 높이도 회복시켜 줄 수 있는 장점이 있다.^{1,8,9)} 가장 대표적인 수술 적응증은 Meyerding 분류 I 혹은 II 단계 퇴행성(Degenerative) 혹은 협부형(Isthmic) 요추 전방전위증(Spondylolisthesis)이다. 고도(High grade) 요추 전방전위증에도 적용은 가능하나 술기상 상당한 한계가 예상되어 고식적 수술방법이 추천된다. 그 외 수술 적응증으로는 동일부위에 재발한 추간판 탈출증(Recurrent disc herniation), 보존적 치료에 반응하지 않는 퇴행성 추간판 질환(Degenerative disc disease), 감압술 후 발생한 분절간 불안정증(Post-decompression segmental instability), 후외방 유합술(Posterolateral fusion)후 불유합 등 추체간 유합술이 필요한 모든 경우가 적응증이 될 수 있다.^{10,11)} 저자의 경험상 환자의 하지 방사통 증상이 양측일 경우 보다는 편측일 경우가 더 좋은 적응증이 될 수 있으나, 고도 비만환자나

Table 1. Summarized data of two systematic reviews comparing MI-TLIF* with O-TLIF†

	Khan et al., 2015	p-values	Favors	Phan et al., 2015	p-values	Favors
Number of included studies	30 including 1 RCT‡			21 including 2 RCTs		
Mean differences and 95% CI§						
VAS¶ (<6 months)	0.22 (-1.02, 1.45)	0.73		-	-	
VAS (>12 months)	-1.89 (-2.80, -0.98)	<0.001¶	MI-TLIF**	-	-	
VAS (Overall)	-	-		-0.41 (-0.76, -0.06)	<0.001	MI-TLIF
ODI†† (<6 months)	2.33 (-0.57, 5.22)	0.12		-	-	
ODI (>12 months)	0.18 (-1.84, 2.20)	0.86		-	-	
ODI (Overall)	-	-		-2.21 (-4.26, -0.15)	0.04	MI-TLIF
EBL‡‡ (mL)	-256 (196, 318)	<0.001	MI-TLIF	-256 (-351, -161)	<0.001	MI-TLIF
Length of stay (days)	-1.30 (-1.36, -1.23)	<0.001	MI-TLIF	-1.86 (-2.69, -1.04)	<0.001	MI-TLIF
Operative time (minutes)	-6.61 (-44.48, 31.26)	0.73		4.74 (-58.55, 68.03)	0.88	
Radiation exposure (seconds)	38.2 (36.26, 40.20)	<0.001	O-TLIF	37.27 (13.78, 60.77)	0.002	O-TLIF
Risk ratio and 95% CI						
Fusion rates	1.00 (0.95, 1.05)	0.61		-	-	
Overall complications	0.65 (0.50, 0.83)	<0.001	MI-TLIF	0.77 (0.52, 1.15)	0.20	
Reoperation rates	-	-		0.71 (0.44, 1.13)	0.15	
Infection rates	-	-		0.27 (0.14, 0.53)	<0.001	MI-TLIF

*MI-TLIF = Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion, †O-TLIF = Open transforaminal lumbar interbody fusion, ‡RCT = randomized controlled trial, §CI = Confidence interval, ¶VAS = visual analogue scale, ¶Bald p values indicate statistical significance (p<0.05), **Indicating which one method is better than the other based on the forest-plot analysis of each outcome measures, ††ODI = Oswestry disability index, ‡‡EBL = estimated blood loss.

다분절 교정술이 필요한 측만증이 동반된 경우는 신중한 선택이 필요하다.

수술결과

최소침습 경추간공 요추체간 유합술의 수술결과는 고식적 경추간공 요추체간 유합술과 비교 분석한 두 편의 최신 메타분석 결과를 요약하였다(Table 1).^{6,7)}

임상적 결과

수술 후 Oswestry disability index (ODI)는 한 메타 분석에서는 6개월 미만의 추시 때와 1년 이상 추시한 결과가 두 군간에 유의한 차이가 없었으나,⁷⁾ 다른 메타 분석에서는 최소침습 수술군이 고식적 수술군보다 ODI 점수가 평균 2.2만큼 유의하게 낮았다($p=0.04$).⁶⁾ 허리 통증 점수(VAS)는 최소침습 수술군이 고식적 수술군보다 평균 0.4만큼 유의하게 낮게 보고되고 있었으나 이러한 차이는 수술 후 6개월 미만의 초기보다 1년 이상이 지난 시점에서 더 유의한 차이를 보였다($p<0.001$).

실혈량(Estimated Blood Loss)

예측 실혈량은 두 메타 분석에서 모두 최소침습 수술군에서 고식적 수술군보다 유의하게 적었으며 최소침습 수술군에서의 예측 실혈량은 평균 177 ml 였고 고식적 수술군에서는 461 ml로 평균 256 ml 차이를 보였다($p<0.001$).

재원기간(Hospital Stay)

최소침습 수술군의 평균 재원기간은 4.7일 (범위, 2.3-10.6일)이었으며 고식적 수술군은 8.0일(범위, 2.9-14.6일)로 최소침습 수술군의 재원기간이 유의하게 적었으며 그 차이는 평균 3.3일이었다($p<0.001$).

수술시간(Surgical Time)

두 메타 분석에서 두 군간 수술시간은 유의한 차이를 보이지 않았다.

방사선 노출시간(Radiation Exposure Time)

수술 중 측정된 방사선 노출시간은 최소침습 수술군에서 유의하게 길었으며 그 차이는 평균 37-38.2초였다($p<0.001$).

골유합율(Fusion Rate)

두 메타분석에서 골유합율은 두 군간 유의한 차이가 없었으나($p=0.52$), 최소침습 수술군에서 낮은 골유합율을 보고한 연구결과가 있었다.

합병증(Complications)

전체 합병증 발생빈도는 한 메타분석의 최소침습 수술군에서 더 낮았으나($p<0.001$), 다른 메타분석에서는 두 군간 유의한 차이가 없었다($p=0.20$). 재수술 빈도 또한 두 군간 유의한 차이가 없었으며($p=0.15$), 경막 손상도 두 군간 차이가 없었다. 그러나 술 후 감염은 최소침습 수술군에서 유의하게 낮았다(2.6% versus 4.7%, $p=0.0001$). 수술술기와 관련된 합병증에서는 이식물의 잘못된 위치(Graft Malposition) ($p=0.66$), 척추경 나사못의 잘못된 삽입($p=0.97$), 신경학적 합병증($p=0.55$), 혈종($p=0.45$), 불유합($p=0.94$), 뇌척수액 누출($p=0.39$) 등에서 모두 두 군간 차이가 없었다.

수술술기 습득곡선(Learning Curve)

최소침습 척추수술의 수술술기 습득시간은 고식적 수술방법을 익히는 시간보다 더 오래 걸릴 수 있다. 수술술기 습득곡선 초기에는 수술시간이 더 걸리고 수술 중 실혈량도 더 많을 수 있고, 특히 이 시기에 합병증 빈도도 증가할 수 있다.^{4,5)} Park등은 일련의 124명 환자를 대상으로 수술 후 합병증을 분석한 결과 9%에서 수술 후 합병증이 발생하였으며, 그 중 72%는 수술술기 습득곡선 초기 1/3시기에 발생하였다고 한다.⁵⁾ 따라서 수술술기가 충분히 숙달되기 전 합병증발생을 최대한 줄이고 성공적인 수술결과를 달성하려면 적합한 환자선택 및 수술 중 흔히 간과하기 쉬운 잠재적 함정(Surgical pitfalls)과 그 기피요령(Surgical tips)을 충분히 숙지할 필요가 있다.

수술 전 고려사항

1. 수술장비 및 수술인력

수술 전 수술장비를 꼭 확인하고 수술용 현미경과 영상증폭장치는 반드시 필요하다. 또한 이를 수술 중 원활하게 작동하고 도와줄 수술인력을 확보하고 이들에 대한 수술 전 충분한 교육이 이루어져야 한다.

2. 올바른 원통 견인기 삽입위치 결정

이 수술은 고식적 수술과 달리 정중접근법(Paramedian approach)을 이용하기 때문에 원통 견인기를 삽입할 피부절개 위치를 수술 전 미리 계획하는 것이 좋다. 다수의 저자들이 초심자의 습득곡선을 극복하는 가장 중요한 방법으로 정확한 원통 견인기 삽입 지점과 삽입각을 언급하고 있다.^{4,12,13)} 원통 견인기의 정확한 삽입은 해부학적인 지표를 쉽게 파악하고 수술 시간을 줄일 수 있는 중요한 요건이다. 나아가 신경학적 손상 및 부적절한 압박 등 합병증도 줄일 수 있게 한다.

우선 좌우 어느 쪽으로 원통 견인기를 삽입할 것인가를 결정하여야 한다. 저자들은 주로 수술 전 환자의 하지 방사통 위치와



Fig. 1. Correct selection of the skin incision site for tubular retractor insertion.

상응되는 척추병변을 확인하고 이에 따라 원통 견인기를 삽입할 좌우방향을 결정한다. 특히 양측 하지 방사통을 호소하는 환자는 증상이 심한 쪽에 원통 견인기를 삽입할 수 있으며, 이에 상응하는 신경압박 병변도 일치되는 경우가 가장 이상적인 삽입 방향이 될 것이다. 양측 비슷한 정도의 하지 방사통을 호소한 경우는 척추병변이 더 심한 방향에 또는 양측 감압술을 위하여 양측에 원통 견인기를 삽입할 수도 있다. 혹은 한쪽에 삽입된 원통 견인기를 반대측을 향하여 기울인 뒤 양측 신경감압을 단일 도발법으로 시행할 수도 있다.

수술 전 컴퓨터단층촬영(Computed Tomography; 이하 CT) 또는 자기공명영상(Magnetic Resonance Imaging; 이하 MRI) 검사의 목표분절 단면사진(Axial view)을 이용하여, 척추중심에 수직으로 내린 가상선과 목표 후관절의 중심을 통과하는 가상선이 서로 만나게 그린다. 이 두 가상선이 피부를 통과하는 두 지점 사이 거리를 측정하면, 실제 수술실에서 원통 견인기를 삽입할 피부 절개 위치를 정중선(Midline)에서 어느 정도 외측으로 떨어진 지점에 만들지 정할 수 있다.^{14,15)} 특히 초심자들은 상기 방법을 이용하여 견인기 삽입위치를 수술 전 미리 결정할 것을 권장한다. 저자들의 경험상 한국인의 경우 정중선으로부터 통상 3.0~3.5 cm 정도 떨어진 지점에서 접근하는 것이 좋으나, 이는 환자에 따라 다르므로 수술 전 영상을 통한 충분한 계획이 필요하다(Fig. 1).

수술 술기

1. 피부절개 및 원통 견인기 삽입

수술시작 전 영상증폭장치를 이용하여 미리 정한 피부절개 위치를 표시한다. 이후 표시된 절개부위에 1 inch 정도의 피부절개를 시행하고, 준비된 유도강선(Guide-wire)를 목표 수술분절의 후관절을 향하여 삽입한다. 영상증폭장치 측면사진에서 유도강선의 끝부분이 목표 수술분절의 후관절에 올바르게 위치 하였는지를 다시 한번 확인하는 것이 좋다. 이후 이 유도강선을 통하여 초기 확장기(Initial dilator)를 삽입하고 유도강선을 계속 놔두면 경막 손상 가능성이 있으므로 제거한다. 삽입된 초기 확장기를 상하좌우로 움직여보면 해부학적 구조물 즉 후궁 및 후관절을 촉진할 수 있고, 이 동작으로 추후 원통 견인기가 안착할 충분한 수술공간(Surgical corridor)을 확보하는데 용이하다. 그 다음 순차적으로 확장기(Sequential dilators)를 삽입하고, 적절한 깊이의 최종 원통 견인기를 선택한 후 목표 분절의 추간판과 평행하게 삽입한다. 저자들의 경험상 주로 22 mm 직경의 원통 견인기를 사용하는 것이 이상적이었다. 이때 삽입된 견인기가 목표 후관절 위에 올바르게 위치하였는지 확인하고 필요할 때 그 방향을 조정한 후 수술용 침대에 부착된 고정기(Fixed arm)와 연결한다.

2. 신경감압

원통 견인기안은 고식적인 방법에 비해 상당한 시야제한이 있으므로 우선 정확한 위치를 확인할 수 있는 해부학적인 지표를 찾으려고 노력해야 한다. 먼저 후관절을 확인하고 그 다음으로 후궁판을 파악한 다음, 견인기안의 수술시야를 최대한 확보하도록 남아있는 주변 연부조직을 잘 제거하는 것이 중요하다. 추가적인 시야 확보가 필요한 경우 “Wandering maneuver”를 사용하면 상하 분절의 척추경까지 관찰이 가능하며 추가적인 피부절개 없이도 반대편까지 관찰이 가능하다.¹⁵⁾ “Wandering maneuver”를 이용하여 원통 견인기의 위치를 바꿔 추가적인 시야를 확보하려면 마지막 확장기를 견인기안에 삽입하고 고정기를 해제시킨 후 원하는 방향으로 견인기 위치를 조절한 후 확장기를 제거하고 고정기를 다시 고정한다.¹⁵⁾

수술 현미경은 원통 견인기안이 잘 보이도록 초점을 맞추고 High-Speed Burr 등을 이용하여 후궁절제를 시행한다. 후궁절제는 극돌기 기저부 외측부터 시작하여 상방으로 황색인대 기시부까지 진행하고, 그 기시부에서 외측방으로 협부를 향하여 수직으로 연결되게, 즉 “L” 모양으로 절제한다. 이 방식을 이용하면 후궁과 후관절을 동시에 절제할 수 있어 이식골 확보에 용이하다(Fig. 2). 이후 황색인대 및 경막 외 지방조직을 제거하여, 경막을 노출시킨다. 경막을 노출한 후 순차적으로 상부 및 하부 신경근을 노출시키고, 신경근 압박하고 있는 조직들을 제거하여

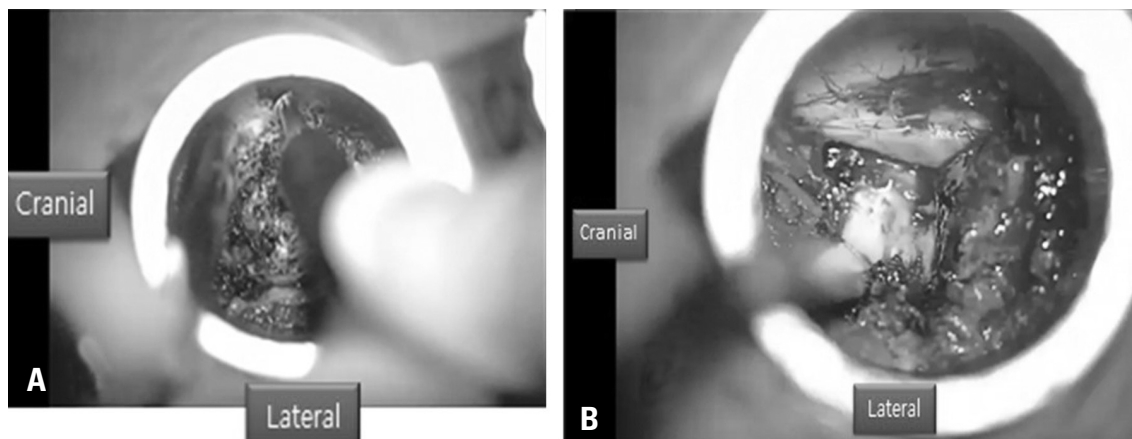


Fig. 2. Under microscopic visualization, a high-speed drill was used to make a cut through the lamina, just medial to the facet joint. The cut was extended cranially to the level of the pars, at which point a transverse cut was made through the pars (**A**). Once these cuts were made, the inferior articular process was free floating, and it was then removed and saved as an autograft. The remaining superior articular process was also resected, as was the underlying ligamentum flavum, exposing the dural sac and the lateral edge of the traversing nerve root (**B**).

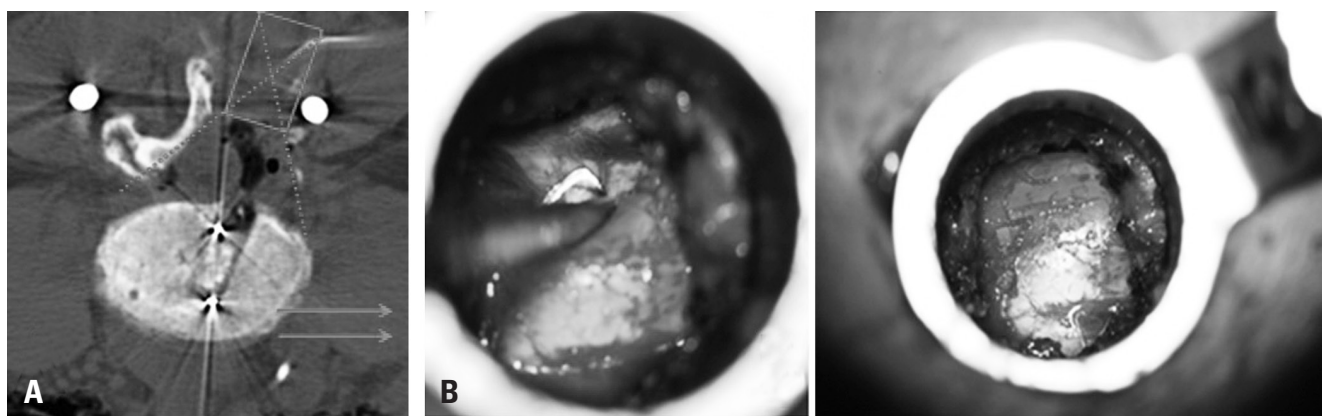


Fig. 3. If a more central and/or contralateral decompression was desired (as for concomitant spinal stenosis), the tubular retractor was wanded medially (**A**). Bilateral neural decompression with a unilateral approach (**B**).

완전한 신경근 감압을 시행한다. 이때 노출된 경막외 혈관으로부터 출혈이 발생하므로 세심하게 지혈하여야 깨끗한 시야를 유지할 수 있다.

단일 원통 견인기를 이용한 중심부 및 반대측 신경감압

반대편 신경감압이 필요한 경우, 위에서 언급한 “Wandering maneuver”를 이용하여 견인기 삽입 각을 조절한 뒤 High-speed burr로 극돌기의 기저부를 제거하면 반대편 경막외 공간으로 접근이 가능하다(Fig. 3).^{14,15} 이때 황색인대를 제거하기 전에 반대편 후궁하부와 후관절 내측 하부를 먼저 골감압을 시행하면 High-Speed Burr등으로부터 경막이나 신경근을 안전하게 보호할 수 있다.

경막손상 및 뇌척수액 누출

수술 중 경막 손상과 뇌척수액 누출은 일반적으로 유착이 심하여 신경박리 도중, 기기 고정술, 또는 추궁 및 후관절 절제를 포함한 감압술 과정에서 발생할 수 있다.^{16,17} 또한 수술 중에 발견하지 못했으나 남아있는 날카로운 골극에 의하여 수술 후에 발생할 수도 있다.^{17,18}

경막 손상은 연구에 따라 다양한 빈도로 보고되고 있으나 고식적 유합술에서의 빈도와 다르지 않다.^{13,19} 보통은 단순하고 작은 손상이 많으나 제한된 수술 시야와 공간 때문에 경막을 직접 봉합하기가 어렵다. 작은 크기의 손상인 경우는 Gelfoam, Tachocomb 등을 이용하여 뇌척수액 누출을 막을 수 있으며 Dural stapler를 사용하여 봉합하기도 한다.¹⁸ 하지만 손상이 큰 경우는 수술 부위를 개방하여 경막 손상 부위를 봉합해야 하는

경우가 많다.¹³⁾

3. 추간판 제거(Discectomy) 및 추체간 종판 준비(Interbody preparation)

충분한 후궁 및 경막 주변조직의 감압이 시행된 후, 추간판 제거를 시행한다. 추체간 간격이 좁아져 있는 경우, Osteotome 등 기구를 사용하여 그 간격을 넓히고, 이후 견인기(Tractor) 등을 작은 크기부터 차례로 삽입하여 추체간 간격을 회복시킨다. 이 과정을 통해 전방 전위된 척추체를 대부분 정복할 수 있다.

골유합율을 향상시키기 위하여 추간판 종판을 세심하게 준비(Preparation)해야 하며, Curette, Shaver, Rasp 등을 이용하여 연골성 종판(Cartilaginous endplate)을 적절하게 제거하는 것이 중요하다¹⁴⁾. 일측성 접근법인 경우 반대편 추간판의 제거 및 종판의 처치가 어려운 경우가 많으므로 Reverse angled curette을 이

용하면 반대편 종판을 용이하게 제거할 수 있다.¹²⁾

4. 반대측 경피적 척추경 나사못 삽입 및 추체간 간격 견인

추간판 및 추체간 종판을 올바르게 준비하려면 충분한 추체간 간격이 확보되어야 한다. 이를 위해 반대측에 척추경 나사못을 삽입하여 추체간 간격 확보를 위한 견인으로 사용할 수 있다. 앞서 기술한 원통 견인기 삽입을 위한 피부절개 위치를 선정하는 방법과 동일하게 척추경 나사못 삽입을 위한 피부절개 위치를 선정한다. 이는 보통 정중선으로부터 약 3-3.5 cm 외측에 위치하며 척추경 나사못 삽입을 위한 약 1 inch 피부절개를 시행한다(Fig. 4).

이후 영상증폭장치의 전후방 이미지(Anterior Posterior view)를 확인하며, Jamshidi needle을 척추경에 삽입하고 이를 통해 유도강선을 삽입한다. 이 유도강선을 따라 순차적 확장기를 삽입

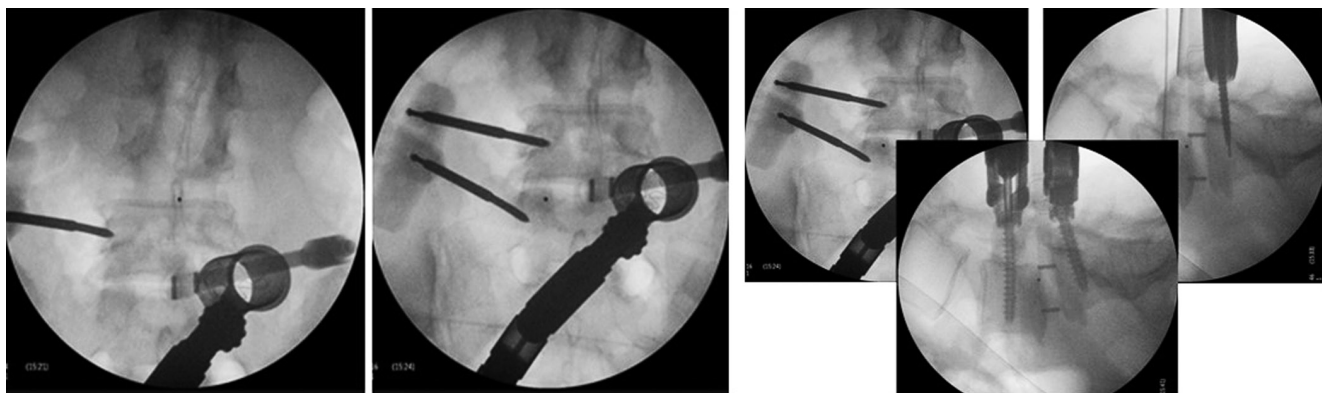


Fig. 4. Contralateral placement of percutaneous pedicle screws and interbody traction to restore optimal disc height.

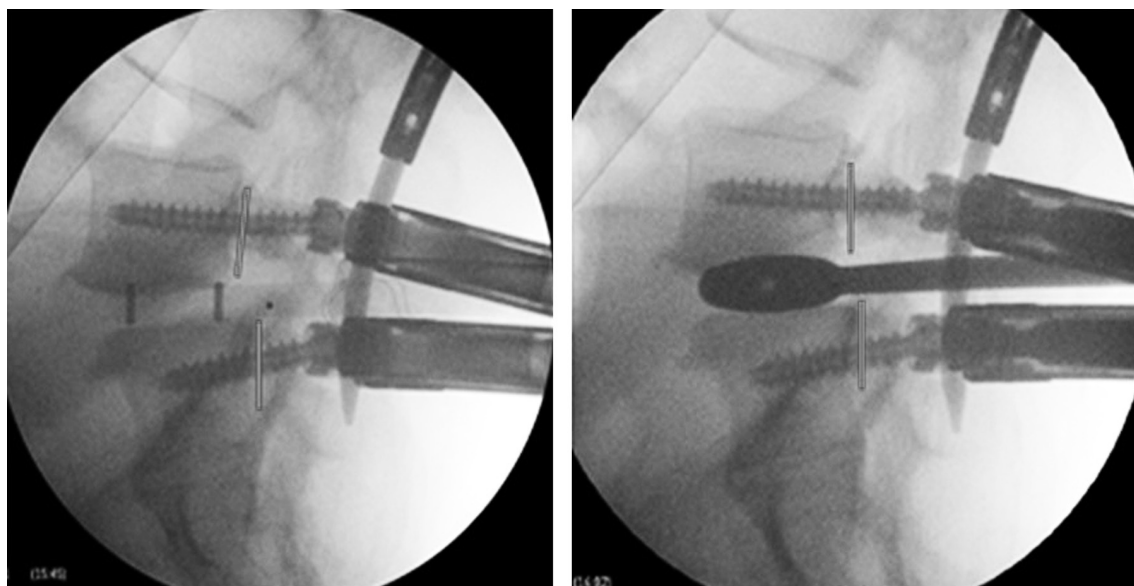


Fig. 5. Reduction of slipped vertebrae using reduction screws.

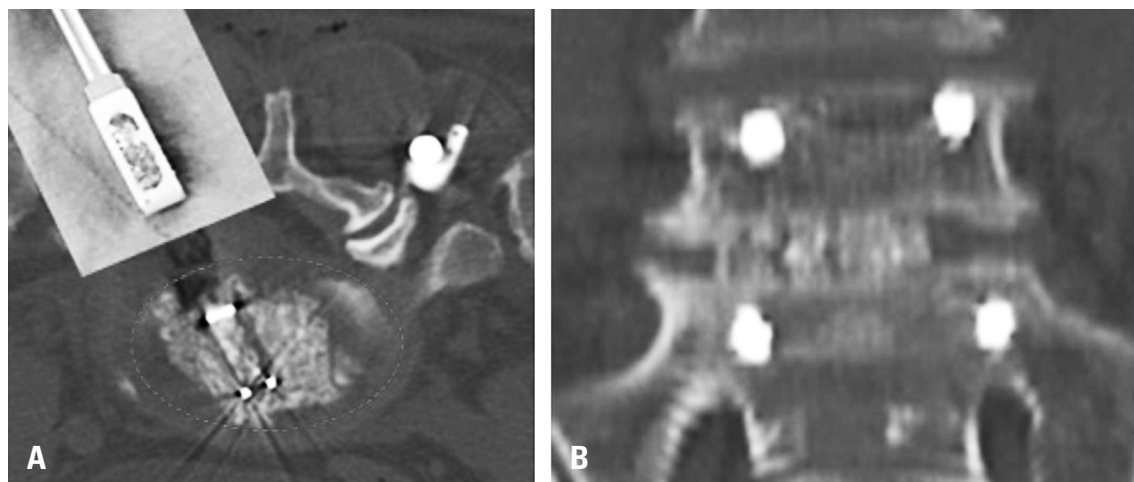


Fig. 6. Bone grafts (including autobone, allogene, and demineralized bone matrix, mixed with bone marrow aspirates) and a cage insertion noted in an axial computed tomographic image (A) and a coronal image (B).

하고 Tapping을 시행한다. 이후 적당한 크기의 척추경 나사못을 선택하여 유도강선을 따라 척추경 나사못을 삽입한다.

척추체의 전방 전위가 심한 경우, 정복용 척추경 나사못을 이용할 수 있다. 정복할 전방 전위가 심한 척추체에 정복용 척추경 나사못을 삽입하고, 이후 영상증폭장치 측방사진을 확인하면서 강봉을 차례로 삽입하여 정복용 나사못 삽입용 익스텐더 (Reduction screw extender)와 조립한다. 이때 정복용 나사못 삽입용 익스텐더에 부착된 정복용 손잡이를 회전시키면 삽입된 강봉을 지지대로 정복용 나사못이 후방으로 견인되어 전위된 척추체를 정복할 수 있다. 영상증폭장치 측방사진을 확인하면서 충분한 정복이 이루어질 때까지 정복용 손잡이를 회전시킨다. 정복이 부족한 경우는 반대편에서 동일 방법으로 시행할 수 있다 (Fig. 5).

5. 골 이식 및 케이지 삽입

이후 Demineralized Bone Matrix (DBM)과 이종골 등을 자가골과 함께 섞어 준비된 추체간 공간에 골 이식을 시행한다. 적절한 크기의 케이지를 선택한 후, 이식할 뼈들을 케이지내에 잘 채운다. 케이지는 비스듬한 방향으로 외측 3-3.5 cm 부위에서 삽입을 시작하여 중앙을 지나거나 또는 반대편에 케이지 앞부분이 위치하도록 삽입한다(Fig. 6). 작은 수술절개로 인해 충분한 자가 국소골 채취가 용이하지 않을 수 있으며, 이 경우엔 Demineralized Bone Matrix (DBM) 이나 이종골 등을 골 이식 재료로 섞어 사용할 수 있다. 또한 후방 장골에서 골수를 흡입 (Bone Marrow Aspirates)하여 이식골과 섞어 사용하는 방법도 널리 사용되고 있다. 불유합 위험성이 높은 환자나 불유합으로 재수술을 시행하는 경우는 자가 장골을 채취하여 이식골로 사용

할 수 있으나, 공여부 동통 및 기타 발생할 수 있는 공여부 합병증을 고려하여 결정한다.

골다공증이 심한 환자는 연골 종판을 많이 제거된 경우 케이지가 종판을 뚫고 추체에 삽입되거나 추후 침강(Subsidence)이 발생할 수 있으므로 더욱 세심한 주의가 필요하다.^{12,13)} 저자들의 경험상 연골 종판을 지나치게 많이 제거되지 않도록 노력하고, 케이지 삽입할 때 추간판과 평행이 되도록 삽입하며, 지나치게 큰 케이지는 피하는 것이 좋다. 또한 너무 깊게 케이지를 삽입하면 전방 중 인대를 뚫고 복강 내로 케이지가 진입될 수 있으므로 주의한다. 때로는 추체간 삽입된 골편이나 케이지가 후방 이동되어 신경근을 압박할 수 있고, 골 이식 또는 케이지 삽입할 때 이탈된 작은 골편에 의한 신경근 압박이 초래될 수 있으므로 이에 대한 관심이 필요하다.^{12,13,20)}

6. 경피적 척추경 나사못 삽입(Percutaneous Pedicle Screw Placement)

Jamshidi needle을 삽입하기 전에 영상증폭장치에서 정확한 전후면 및 측면 영상을 얻는 것이 가장 중요하며 때로는 Awl-view도 도움이 될 수 있다.^{13,14,21)} 정확한 전후면 영상이란 극돌기가 중간에 위치하고 척추경이 좌우 대칭으로 보이고, 상하 연골 종판이 겹쳐져 단일선으로 보일 때를 말한다. 환자의 위치 또는 영상증폭장치 위치를 조정하여 정확한 전후면 영상을 얻으려고 노력하여야 한다.²¹⁾ 보통 저자들의 경험상 Jamshidi needle의 Convergent 삽입각을 고려하여 경피적 나사못 삽입을 위한 피부절개를 만들고, 원통 견인기를 삽입하여 감압과 추체간 골이식을 시행한 쪽은 견인기를 제거한 기존 피부절개를 이용한다. Jamshidi needle 삽입점은 원칙적으로 전후면 영상에서 Needle

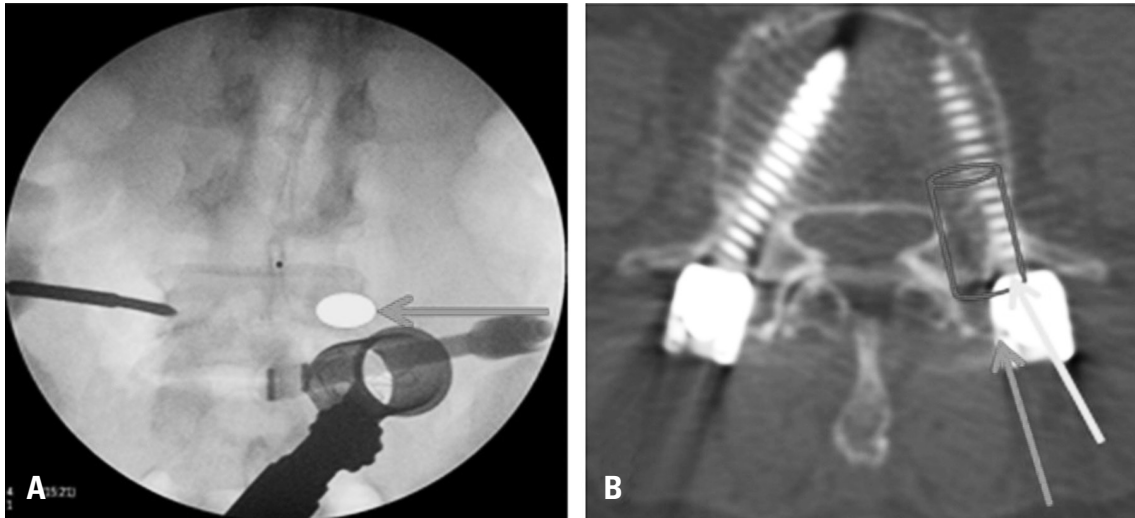


Fig. 7. Surgical tips for percutaneous pedicle screw placement. It is important to create a true anterior-to-posterior (AP) fluoroscopic view for the target vertebrae. This not only allows the surgeon to find the correct entry point, but also to have a correct lateral trajectory of the intended screw placement without a fluoroscopic lateral view (A). It is necessary to have a sufficient lateral-to-medial trajectory of the guide needle until its tip appears to be at the lateral cortical margin of the pedicle at the AP fluoroscopic projection (B).

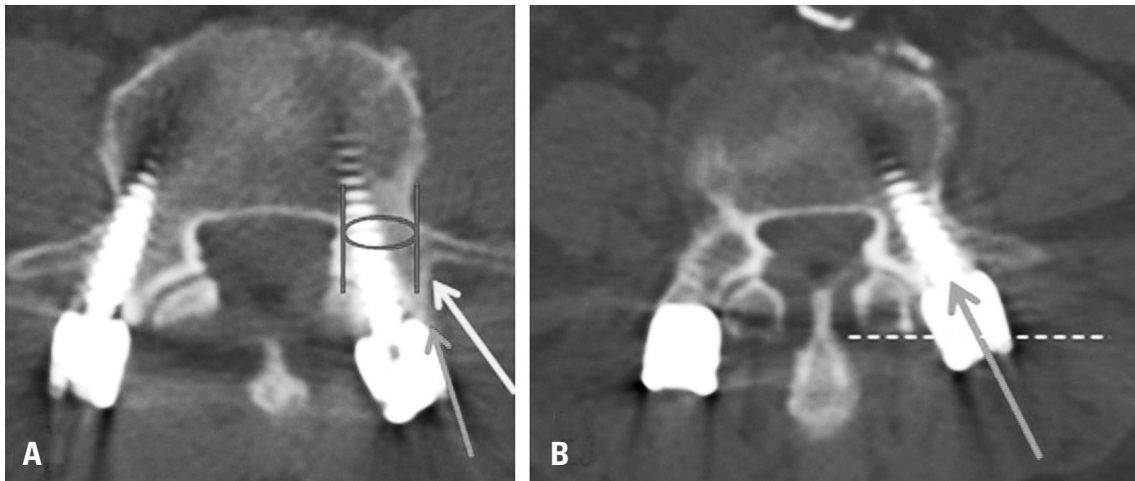


Fig. 8. Incorrect placement of percutaneous pedicle screws. Placing the screw without a sufficient lateral-to-medial trajectory (A), and driving the screw deeper than necessary (B) can result in cranial facet joint and/or pedicle wall violation.

tip이 척추경 외측 피질골 중간 지점에 그리고 Needle shaft가 수직(3시 또는 9시 방향)으로 있어야 한다. 그래야 Needle이 척추경과 평행하게 삽입되고 측방 영상을 확인하는 수고를 줄일 수 있다(Fig. 7). Needle tip이 척추경 내측 경계에 도달되면 측면 영상을 확인한다.^{21,22} 측면 영상에서 Needle tip이 척추경을 지나 척추체에 도달하면 적절한 것으로 판단할 수 있다. 만약 전후면 영상에서 척추경 내측 경계에 도달하였으나 측면에서 척추경을 지나치지 못했다면, 이는 Needle 삽입각이 너무 커서 척추경 내측 침범(Medial breach) 가능성이 있다. 전후면 영상에서 척추경 내측 경계에 도달하지 못하였고 측면 영상에서 이미 척추경을

지나고 추체 1/2을 지난 경우는 Needle 삽입각이 너무 작아서 나사못이 외측으로 삽입된 경우가 될 것이다. 따라서 이 경우 각각 삽입 위치와 삽입각을 재설정하여야 한다.

적절하게 Jamshidi needle이 삽입된 후 유도강선을 삽입한다. 이때 유도강선이 척추체 전방 피질골을 뚫지 않도록 주의할 기우려야 한다.²¹ Tapping과 나사못 삽입 하는 동안 자주 영상증폭장치영상을 확인하여 유도강선이 항상 척추체 전방으로 관통되지 않도록 한다.²¹ 골 이식과 케이지 삽입을 완료한 후, 척추경 나사못을 다시 정렬하여 척추 전만각을 최대화하기 위한 압박을 가한다. 이후 척추경 나사를 다시 견고하게 고정한 후 기구들을

제거한다.

올바른 경피적 척추경 나사못 삽입 요령

1. 환자의 키 및 몸무게에 따라 피부절개 길이 및 정중선으로부터 거리를 정하는 것이 좋으며, 수술 전 CT, MRI등에서 미리 계획을 세운 후 수술을 진행하는 것이 좋다.
2. 정확한 영상증폭장치 전후방 이미지(목표 척추체 상부 중 판이 하나로 중첩되어 단일선으로 보이는 전후방 이미지)를 확보하는 것이 중요하며, 이는 정확한 피부절개 및 나사못 삽입지점을 확인하는데 필수적이다.
3. 정확한 영상증폭장치 전후방 이미지에서 Jamshidi needle tip이 척추경 외측 피질골에서 충분한 Convergent 삽입각을 확보하려고 노력한다(Fig. 8).
4. 이상적인 척추경 나사못 삽입지점을 찾기 위해서는 Jamshidi needle tip으로 후관절의 외측 벽과, 횡돌기가 만나는 교차점을 촉진하여 확인하는 것이 좋다.
5. 척추경 나사못 머리부분이 너무 깊게 삽입되어 후관절 손상이 되지 않도록 주의한다(Fig. 8).

척추경 나사못 관련 합병증

Malposition 빈도는 0.35%에서 13%까지 다양하게 보고되고 있다.^{9,13,23} Ringel 등²³은 104명 수술 후 CT를 검토한 결과, 3% 나사못에서 Screw malposition이 관찰되었고, 2명에서 수술 전과 다른 새로운 방사통이 발생하였다고 보고하였다. 이는 신경근 손상을 유발할 수 있고 외측으로 삽입되어 충분한 고정력을 얻지 못한 경우는 골유합에 악영향을 줄 수 있다.^{16,20} 대부분의 신경근 손상은 나사못에 직접 신경근이 절단되거나 열상을 입기 보다는 나사못에 의해 신경근이 전위되는 경우이며 문제가 된 나사못을 제거하면 증상이 소실되었다고 한다.²⁴ 드물게는 나사못의 삽입 당시 발생한 척추경 골절에 의한 골편이 신경근을 압박할 수 있으므로 이 또한 주의가 필요하다.²⁵

신경근 손상

신경근의 손상은 신경감압 중 Kerrison punch 등의 기구에 의한 직접적인 손상, 척추경 나사못 또는 케이지 등 내고정물 삽입할 때 발생할 수 있다.^{12,13,16} 특히 케이지를 외측에서 추체간 내부를 향하여 Convergent각으로 삽입하므로 Exiting root 손상이 가능하다.^{12,13} 따라서 Root protector를 이용하여 Exiting root를 보호하며 케이지를 삽입하는 것이 좋다. 또한 척추 전방전위증과 추간공 협착증이 심한 경우, 신경감압과 케이지를 삽입하는 쪽이 아닌 반대편 추간공을 지나는 신경근이 압박될 수 있다. 척추 전방전위증이나 반대편 추간공 협착이 심한 경우는 예방적 감압을 시행하면 반대편의 신경근 압박을 방지하는 데 도움을

줄 수 있다는 주장이 있지만 이러한 예방적 감압은 아직 논란이 있다.^{9,13}

수술 후 새로운 방사통의 생긴 경우는 CT나 MRI 검사를 고려한다. CT는 척추경 나사못이나 케이지의 비정상적인 위치나 이식골편 등에 의한 신경근 압박을 발견하는 데 용이하다. MRI는 수술 후 발생한 경막외 혈종을 발견하는 데 유리하다.^{12,13}

수술 후 경막외 혈종

수술 후 경막외 혈종 빈도는 정의나 시기에 따라서 다양하게 보고되나, 증상이 없는 경우는 약 33%에서 100%까지 보고되고 있으나 0.1%에서 0.2%에서 드물게 증상이 발생하고 있다.^{26,27} 최소침습 경추간공 요추체간 유합술의 경막외 혈종 발생 빈도는 고식적 수술과 차이를 보이지는 않았으나 수술 부위가 제한적이므로 수술 후 각별한 관심이 요구된다.¹³

수술 후 경막외 혈종 발생과 관련한 위험 인자에 대한 다양한 보고가 있으나 아직 공통된 의견은 없다. 가능성 있는 수술 전 위험 인자로는 60세 이상의 고령, 수술 전 NSAID의 사용, 음주력, 수술 전 항응고제 사용, 혈액응고기전 장애, 외상, 수술 전 이완기 고혈압 등이 언급되고 있으나 아직까지 논란이 있다.²⁶⁻²⁸ 수술 중 관련된 인자로는 다분절 수술, Gelfoam 사용, 배액관 기능이상, 수술 후 24시간 이내 항응고제 사용, 수술 후 48시간 이내 INR이 2이상 증가된 경우 등이 언급되고 있으나 이 또한 아직 논란이 있다.^{27,28}

결론

최소침습 경추간공 요추체간 유합술은 고식적 경추간공 요추체간 유합술과 비교하여 우수한 임상적 결과를 얻을 수 있는 수술방법이다. 수술 합병증 대부분은 수술습득곡선 초기에 발생하므로, 특히 이 시기에는 올바른 환자선택과 흔히 간과할 수 있는 수술술기 및 합병증을 줄이기 위한 수술전략을 잘 숙지하여야 성공적인 수술결과를 얻을 수 있다.

REFERENCES

1. Foley KT, Holly LT, Schwender JD. Minimally invasive lumbar fusion. Spine. 2003;28(Suppl):26-35.
2. Brodano GB, Martikos K, Lolli F, et al. Transforaminal Lumbar Interbody Fusion in Degenerative Disk Disease and Spondylolisthesis Grade I: Minimally Invasive Versus Open Surgery. J Spinal Disord Tech. 2015;28:E559-64.
3. Seng C, Siddiqui MA, Wong KP, et al. Five-year outcomes of minimally invasive versus open transforaminal lumbar

- interbody fusion: a matched-pair comparison study. *Spine*. 2013;38:2049–55.
4. Sclafani JA, Kim CW. Complications associated with the initial learning curve of minimally invasive spine surgery: a systematic review. *Clin Orthop Relat Res*. 2014;472:1711–7.
 5. Park Y, Ha JW, Lee YT, et al. Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion for spondylolisthesis and degenerative spondylosis: 5-year results. *Clin Orthop Relat Res*. 2014;472:1813–23.
 6. Phan K, Rao PJ, Kam AC, et al. Minimally invasive versus open transforaminal lumbar interbody fusion for treatment of degenerative lumbar disease: systematic review and meta-analysis. *Eur Spine J*. 2015;24:1017–30.
 7. Khan NR, Clark AJ, Lee SL, et al. Surgical Outcomes for Minimally Invasive vs Open Transforaminal Lumbar Interbody Fusion: An Updated Systematic Review and Meta-analysis. *Neurosurgery*. 2015;77:847–74.
 8. Isaacs RE, Podichetty VK, Santiago P, et al. Minimally invasive microendoscopy-assisted transforaminal lumbar interbody fusion with instrumentation. *J Neurosurg Spine*. 2005;3:98–105.
 9. Schwender JD, Holly LT, Rouben DP, et al. Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF): technical feasibility and initial results. *J Spinal Disord Tech*. 2005;18(Suppl):1–6.
 10. Selznick LA, Shamji MF, Isaacs RE. Minimally invasive interbody fusion for revision lumbar surgery: technical feasibility and safety. *J Spinal Disord Tech*. 2009;22:207–13.
 11. Holly LT, Schwender JD, Rouben DP, et al. Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion: indications, technique, and complications. *Neurosurg Focus*. 2006;20:E6.
 12. Park Y, Lee SB, Seok SO, et al. Perioperative surgical complications and learning curve associated with minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion: a single-institute experience. *Clin Orthop Surg*. 2015;7:91–6.
 13. Wang J, Zhou Y. Perioperative complications related to minimally invasive transforaminal lumbar fusion: evaluation of 204 operations on lumbar instability at single center. *Spine J*. 2014;14:2078–84.
 14. Karikari IO, Isaacs RE. Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion: a review of techniques and outcomes. *Spine*. 2010;35(Suppl):294–301.
 15. Rahman M, Summers LE, Richter B, et al. Comparison of techniques for decompressive lumbar laminectomy: the minimally invasive versus the “classic” open approach. *Minim Invasive Neurosurg*. 2008;51:100–5.
 16. Benzel EC, Shedid D, Gonugunta V. *Neurological Complications of Spinal Surgery in the Spine*. Fifth ed. Saunders Elsevier. Philadelphia: 2006.1441–53.
 17. Cammisa FP Jr, Girardi FP, Sangani PK, et al. Incidental durotomy in spine surgery. *Spine*. 2000;25:2663–7.
 18. Campbell PG, Hanna A, Harrop JS. *Spinal Dural Injuries in the Spine*. Sixth ed. Philadelphia, Saunders Elsevier: 2011.1720–7.
 19. Tian NF, Wu YS, Zhang XL, et al. Minimally invasive versus open transforaminal lumbar interbody fusion: a meta-analysis based on the current evidence. *Eur Spine J*. 2013;22:1741–9.
 20. Antonacci MD, Eismont FJ. Neurologic complications after lumbar spine surgery. *J Am Acad Orthop Surg*. 2001;9:137–45.
 21. Strothman D, Schwender JD. *Minimally Invasive Posterior Lumbar Fusion Techniques*. The Spine 6th ed. Philadelphia, WB Saunders Co: 2011, 1020–40.
 22. Lee JC, Jang HD, Shin BJ. Learning curve and clinical outcomes of minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion: our experience in 86 consecutive cases. *Spine*. 2012;37:1548–57.
 23. Ringel F, Stoffel M, Stürer C, et al. Minimally invasive transmuscular pedicle screw fixation of the thoracic and lumbar spine. *Neurosurgery*. 2006;59(Suppl):361–6.
 24. O’Driscoll SW, Horii E, Carmichael SW, et al. The cubital tunnel and ulnar neuropathy. *J Bone Joint Surg Br*. 1991;73:613–7.
 25. Jutte PC, Castelein RM. Complications of pedicle screws in lumbar and lumbosacral fusions in 105 consecutive primary operations. *Eur Spine J*. 2002;11:594–8.
 26. Kreppel D, Antoniadis G, Seeling W. Spinal hematoma: a literature survey with meta-analysis of 613 patients. *Neurosurg Rev*. 2003;26:1–49.
 27. Kou J, Fischgrund J, Biddinger A, et al. Risk factors for spinal epidural hematoma after spinal surgery. *Spine*. 2002;27:1670–3.
 28. Amiri AR, Fouyas IP, Cro S, et al. Postoperative spinal epidural hematoma (SEH): incidence, risk factors, onset, and management. *Spine J*. 2013;13:134–40.

성공적인 최소침습 경추간공 요추체간 유합술을 위한 수술전략

박 웅 • 박세준* • 홍재영† • 구기형‡

연세대학교 의과대학 국민건강보험일산병원 정형외과, 성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 정형외과*, 고려대학교 의과대학 안산병원 정형외과†, 동국대학교 의과대학 일산병원 정형외과‡

연구 계획: 문헌 고찰

목적: 최소침습 경추간공 요추체간 유합술의 성공적인 수술결과를 얻기 위한 올바른 환자선택 및 흔히 간과할 수 있는 수술술기를 소개하고 합병증을 줄이기 위한 수술전략을 알아보고자 한다.

선행문헌의 요약: 최소침습 경추간공 요추체간 유합술은 원통 견인기와 경피적 척추경 나사못 고정을 이용한 수술로 고식적 수술법보다 후방 척추근육 손상을 줄일 수 있어 수술 중 출혈과 입원기간을 줄일 수 있는 장점이 있다. 그러나 수술시간, 방사선노출시간, 수술술기 습득시간이 긴 단점도 보고되고 있다. 또한 불유합 및 내고정물 관련 합병증과 특히 술자의 경험도에 따른 합병증 빈도에 대한 관심이 늘고 있다.

대상 및 방법: 문헌 고찰을 통하여 최소침습 경추간공 요추체간 유합술의 성공적인 수술결과를 얻기 위하여 고려해야 할 대표적인 수술 적응증, 외과적 수술기법 등에 대한 최신 지견을 정리하고 저자들의 경험과 증례를 바탕으로 고찰하였다.

결과: 단분절, Meyerding 분류 I / II, 퇴행성(Degenerative) 혹은 협부형(Isthmic), 요추 전방전위증(Spondylolisthesis)이 가장 대표적인 수술 적응증이다. 부적절한 감압, 경막 손상, 신경근 손상, 내고정물 관련 합병증 등이 흔한 수술관련 합병증이었고 주로 습득곡선 초기에 발생했다. 합병증을 줄이고 성공적인 수술결과를 얻으려면 올바른 피부절개 및 원통 견인기 삽입위치 결정, 완전한 신경감압, 골이식과 케이지 삽입을 위한 세심한 중판 준비, 및 올바른 경피적 척추경 나사못 삽입 등 각 단계에서 지켜야 할 중요 술기와 요령을 숙지하여야 한다.

결론: 최소침습 경추간공 요추체간 유합술은 고식적 경추간공 요추체간 유합술과 비교하여 우수한 임상적 결과를 얻을 수 있는 수술방법이다. 수술 합병증 대부분은 수술습득곡선 초기에 발생하므로, 특히 이 시기에는 올바른 환자선택과 흔히 간과할 수 있는 수술술기 및 합병증을 줄이기 위한 수술전략을 잘 숙지하여야 성공적인 수술결과를 얻을 수 있다.

색인 단어: 최소침습, 경추간공 요추체간 유합술, 수술 적응증, 수술술기, 수술전략

약칭 제목: 최소침습 경추간공 요추체간 유합술 성공전략

접수일: 2016년 8월 3일

수정일: 2016년 8월 16일

게재확정일: 2016년 11월 2일

교신저자: 박 웅

경기도 고양시 일산동구 일산로 100 연세대학교 의과대학 국민건강보험 일산병원 정형외과

TEL: 031-900-0270

FAX: 031-900-0343

E-mail: yungspine@gmail.com