Pain Block and Postoperative Functional Treatment in Lumbar Spinal Problems

요추 유합술 후 기능 회복 치료법

강태욱 · 박시영[✉] · 이순혁

고려대학교 의과대학 안암병원 정형외과학교실

Functional Recovery Program after Lumbar Spinal Fusion

Taewook Kang, M.D., Si Young Park, M.D. Ph.D.[✉], and Soon Hyuck Lee, M.D. Ph.D.

Department of Orthopaedic Surgery, Anam Hospital, Korea University College of Medicine, Seoul, Korea

As the elderly population increases, the incidence of lumbar fusion is increasing, and there has been increasing interest in rapid rehabilitation and functional recovery after surgery. Enhanced recovery after surgery program and multimodal pain control methods can reduce the complications and allow rapid recovery. Various methods have been used to increase the fusion.

Key words: lumbar spinal fusion, pain control, fusion rate, functional recovery

서론

최근에 퇴행적 변화로 인한 요추 척추관 협착증으로 고통을 받고 있는 환자들의 삶의 질을 개선하고자 수술적 요구가 증가하고 있다. 요추 척추관 협착증에 대한 수술적 치료의 여러 가지 방법 중에서 요추 유합술은 가장 보편적으로 시행되고 있다. 최근 20년 동안 전 세계적으로 요추 유합술의 빈도가 3배 이상으로 급격히 증가하였다.

요추 유합술 후에는 일반적으로 심한 통증과 부동성(immobility)이 있으며 긴 회복 기간이 필요하다. 수술적 치료를 통해 환자의 80%~90%는 긍정적인 결과를 얻었다는 보고들이 있으나 수술 후 허리와 하지 통증, 수면장애, 일상생활 기능 장애 및 근력 저하 등의 문제가 남아있다. 요추 유합술을 받는 대부분의 환자들은 오랜 기간 동안 고통을 겪어 왔으며 통증 유발에 민감하게 반응한다. 또한 환자가 마약성 진통제 의존성 혹은 내성일 수 있으므로 표준 통증 조절 요법은 부적절할 수 있다. 수술 술기에 있

어서 광범위한 척추 근육 박리로 인한 주위 근육의 탈신경과 수술 중 장시간의 과도한 견인, 근력 약화 등으로 인해 수술 후에도 지속적으로 상당한 통증을 유발한다. 골유합을 얻기 위해 보조기 착용 및 운동 제한을 시키는 것은 합병증을 예방하기 위해 운동을 권장하는 것과 상충되는 조건이다.¹⁾

노년층 인구가 증가함에 따라 요추 유합술의 빈도가 높아지면서 수술 후 빠른 회복 및 기능 회복 치료법에 대한 관심이 증가하고 있다. 저자들은 이 종설에서 요추 유합술 후의 기능 회복 치료법에 대해 알아보려고 한다.

본론

요추 유합술 후의 기능 회복 치료법으로 수술 후 조기 회복 프로그램(enhanced recovery after surgery, ERAS)과 다중 통증 조절법(multimodal pain control)을 통해 합병증을 줄이고 빠른 회복을 기대할 수 있으며, 유합률을 높이기 위해 다양한 방법(fusion rate improvement)을 사용하고 있다.

1. 수술 후 조기 회복 프로그램

ERAS는 수술 준비, 수술의 영향 감소 및 환자의 빠른 회복을 위해 도입된 환자 치료에 대한 복합적인 접근 방식으로 이전에

Received January 4, 2020 Revised February 25, 2020 Accepted April 20, 2020

[✉]Correspondence to: Si Young Park, M.D., Ph.D.

Department of Orthopaedic Surgery, Korea University College of Medicine, 73 Goryeodae-ro, Seongbuk-gu, Seoul 02841, Korea

TEL: +82-2-920-5925 FAX: +82-2-924-5271 E-mail: drspine90@kumc.or.kr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1216-901X>

“fast-track surgery” 또는 “enhanced recovery program”으로 알려졌으며 급세기 초 덴마크에서 시작되었다.²⁾ ERAS의 효과에 대해서는 현재까지 대부분 외과나 흉부외과 수술에 초점이 맞추어져 있었다.³⁾ 정형외과 영역에서는 고관절 치환술, 슬관절 치환술, 견관절 치환술 등에서 ERAS를 적용하여 합병증과 재입원율을 감소시키며 입원 기간을 줄이고 환자 만족도를 높이는 결과를 보였다.⁴⁾

ERAS의 목표는 수술 후 합병증을 최소화하고 수술 후 결과와 기능 재활을 향상시키기 위해 스트레스 반응을 조절하고 감소시키는 것이다.^{2,5)} ERAS는 수술 전후 상담 및 영양에 대한 다학제적 접근법과 마취 및 진통제에 대한 접근법으로 구성된다(Table 1).⁶⁾ ERAS의 특징은 수술 전후의 치료와 통증 관리, 기능 회복 및 환자 만족도에 대한 지속적인 평가를 하는 것이다.⁷⁾ 수술과 관련된 외과적 스트레스 반응은 이화과정의 증가, 면역 억제, 자유 라디칼 생성 및 과응고 상태와 같은 대사 변화로 이어진다. 이러한 생리학적 변화는 수술 후 이환율, 합병증, 통증, 피로 및 회복 기간을 연장시키는 기능의 변화와 관련이 있다.⁷⁾

수술 전 상담은 환자의 신체적, 심리적 기능을 최적화하여 불안을 줄이고 수술을 준비할 수 있기 때문에 ERAS의 근간이 된다.⁸⁾ 상담에는 ERAS 프로토콜 절차 및 통증 감소 전략, 근력 강화를 위한 사전 재활, 수술 부위 관리, 비타민 D 조절, 인슐린 감수성, 금연 등이 포함된다.^{8,9)} 수술 전 금식은 수술 전 6-8시간으로

제한하고 탄수화물 또는 단백질을 보충하며 이는 수술 시의 영양 및 대사 상태의 개선에 도움이 된다.¹⁰⁾ 선별 검사는 체질량지수(body mass index) < 18.5 kg/m², > 25.0 kg/m², glucose > 180 mg/dl, HbA1c > 8.0%, Hb < 11.5 g/dl, 연령 > 75세, albumin < 3.5 g/dl 등의 영양 불균형으로 수술 후 통증 또는 회복 지연의 위험이 높은 환자를 대상으로 하며, 수술 전에 위험 인자 교정을 시행할 수 있다.¹¹⁾

수술 중에는 최소 침습 기술을 사용하고 전신 마취 대신 국소 마취, 부분 마취 또는 정맥 내 마취를 사용하며 혈액 손실을 줄이고 마약성 진통제 사용을 줄여 외과적 스트레스 반응을 줄이기 위해 노력한다.¹¹⁾ 수술 전후 이환율 및 합병증을 감소시키기 위해 수액 요법을 통한 정상 혈량을 유지하고 정상 체온을 유지하는 것은 필수적이다. 마약성 진통제가 사용되는 경우, sufentanil과 같은 단기 작용 마약성 진통제를 사용하는 것이 좋으며 tranexamic acid는 수술 중 혈액 손실을 줄일 수 있고, bupivacaine과 같은 지속 기간이 긴 국소 마취제는 수술 후 진통 효과를 연장할 수 있다.^{1,11)}

수술 후의 목표는 조기 운동과 영양 및 물리 치료를 통해 환자의 정상적인 기능 및 활동으로의 복귀를 돕는 것이다.¹⁰⁾ ERAS 팀은 조기 영양 및 운동 외에도 배액관 제거, 상처 관리, 마약성 진통제 제한, 통증 관리 등의 수술 후 환경에서 더 큰 역할을 한다.¹²⁾ 환자의 만족도와 통증 및 기능적 능력을 주기적으로 추적하고 결과를 개선하기 위해 프로토콜을 수정할 수 있으며 이를 통해 의료진과 환자 사이의 신뢰도를 증가시킬 수 있다.¹³⁾

척추 수술에서 ERAS를 적용하는 연구가 아직 부족하지만 최근에 다양한 척추 수술에서 ERAS의 적용이 급속히 증가하고 있다. Wang 등¹⁴⁾은 1-2분절 요추 유합술을 받은 42명의 환자를 대상으로 ERAS와 최소 침습 수술법을 시행하여 성공적인 결과를 보였다. 다중 통증 치료를 적용함으로써 적용 전에 비해 수술 후 1일(p=0.024) 및 2일(p=0.048)에 적은 마약성 진통제가 사용되었고 41명의 환자가 조기 운동을 시작하였다(p=0.003). 통계적으로 유의하지는 않았지만 입원 기간도 9일에서 7일로 감소했다. Fleege 등¹⁵⁾은 퇴행성 요추 질환으로 1-2분절 유합술을 시행받는 환자를 대상으로 ERAS를 시행하였는데 입원 기간은 4.7일 줄었으며 환자 만족도는 높아졌다. Brusko 등¹⁾은 1-3 분절 요추 유합술 후에 ERAS 적용한 후 임상 결과를 비교하였다. 수술 중 상처 봉합 전 20 ml bupivacaine 주사, 수술 후 1 g 정맥 내 acetaminophen 주사, 수술 후 매일 ERAS 구성원의 방문으로 구성되었으며 ERAS 적용 후 입원 기간, 수술 후 마약성 진통제 사용, 수술 후 시각통증척도(visual analogue scale, VAS), 항구토제 사용, 수술 1일째 보행 거리에서 현저히 향상된 결과를 보였다. Smith 등¹³⁾은 1-2 분절 요추 유합술을 받는 환자에서 ERAS를 적용하였고 수술 후 구역 발생률 감소와 마약성 진통제 사용 기간 단축의 효과를 보였으며 수술 전 의료진 간의 의사 소통 및

Table 1. Enhanced Recovery after Surgery (ERAS) Guideline in Spine Surgery

Preoperative	Patient education and counseling
	Risk assessment screening and intervention
	Carbohydrate loading
	Shortened fasting 6-8 hours preoperatively
Intraoperative	Analgesia regimen with acetaminophen and gabapentin
	Minimally invasive techniques with a small incision
	Total intravenous anesthesia or regional anesthesia when possible
	Emphasis on long-lasting local anesthetics
	Normovolemia and normothermia maintenance
	Avoidance of urinary catheterization
Postoperative	Early mobilization (postoperative day 0 or as tolerated)
	Prompt nutrition
	Cessation of intravenous fluids
	Non-opioid pain management
	Postoperative monitoring and follow-up with ERAS team

수술 전 환자 교육을 개선했다.

다른 여러 분야에서 ERAS의 효과는 입증되었으나 아직 척추 수술에서 ERAS 효과에 대한 연구 결과는 부족한 상태이며 특히 요추 유합술 ERAS 프로토콜의 개발을 통해 환자 회복을 향상시키기 위한 노력이 필요하다.

2. 다중 통증 조절법

적절한 수술 후 통증 관리는 회복을 빠르게 하고 합병증을 감소시키며 환자 만족도를 향상시킨다. 수술 후 통증이 적절하게 조절되지 않으면 환자의 입원 기간이 길어지고 회복이 지연되는 등의 부작용이 발생할 수 있다.¹⁶⁾

역사적으로 척추 수술 후 통증 관리는 마약성 진통제에 크게 의존했다. 마약성 진통제는 수년간 수술 후 통증 조절의 기본이 되어왔지만 졸음, 혼동, 요실금, 장폐색, 호흡 억제, 사망 등 수술 후 환자의 회복을 방해할 수 있는 심각한 부작용을 가지고 있다. 지난 20년 동안 의료 분야에서 마약성 진통제를 과도하게 사용하는 것은 마약성 진통제 전염병을 야기했다.¹⁷⁾ 수술 후 통증은 다양한 신경 생리학적, 화학적 경로를 통해 매개되며 말초 및 중추 감각은 통각 과민과 통증 증가에 영향을 준다.¹⁸⁾ 따라서 다중 통증 조절법은 마약성 진통제 사용과 관련 부작용을 최소화하면서 환자의 통증을 개선하기 위해 통증 신호 전달 경로를 표적으로 시행되었다.¹⁹⁾ 비마약성 진통제를 이용한 다중 통증 조절법을 사용하면 수술 전후 마약성 진통제의 사용을 최소화하고 마약성 진통제 관련 부작용을 감소시키며 수술 후 환자의 회복을 개선하고 촉진할 수 있다.¹⁶⁾

선제 진통제(preemptive analgesia)는 중심성 자율신경계 과잉 반응의 억제를 통해 수술 후 통증의 예방 효과를 위해 수술 전에 진통제를 투여하는 것이다. 적절한 선제 진통제를 통해 수술 후 염증과 관련된 조직 손상으로부터 통각 수용 입력의 억제와 효과적인 수준의 수술 전 통증 조절을 얻을 수 있다.²⁰⁾

정형외과 수술 후, 특히 관절 치환술 후 다중 통증 조절법은 널리 사용되고 있지만 척추 수술 후 사용에 대한 연구는 아직 제한적이다.¹⁹⁾ 수술 전후 부적절한 통증 관리가 입원 기간의 연장, 기능 회복 속도 저하, 재입원을 증가, 의료 비용 증가와 같은 심각한 부작용과 관련이 있기 때문에 수술 후 충분한 통증 관리는 필수적이다. Pugely 등²¹⁾이 요추 수술 후 30일 이내의 재입원 환자를 분석한 결과, 상처 관련 합병증(38.6%)에 이어 통증 관련 문제는 재입원의 두 번째로 흔한 원인(22.4%)으로 보고하였다. 두 개의 후향적 연구는 척추 수술 후 다중 통증 조절법으로 치료받은 환자에서 통증 조절 개선, 마약성 진통제 소비 감소, 조기 운동 및 마약성 진통제 유발 부작용 감소의 효과를 보여주었다.^{22,23)} Garcia 등¹⁸⁾의 무작위 대조 연구에서는 요추 감압술을 시행받은 환자를 대상으로 morphine 정맥 투여만 받는 환자와 다중 통증 조절법(수술 전 celecoxib 200 mg; 수술 후 매일 2회 celecoxib

100 mg, pregabalin 15 mg, oxycodone 10 mg)을 받은 환자를 비교하였다. 다중 통증 조절법을 받은 환자는 모든 시점에서 VAS 점수가 낮았으며, morphine 사용이 58% 적었다. Kim 등²⁴⁾은 단분절 요추 유합술을 받은 환자를 대상으로 다중 통증 조절법(celecoxib, 200 mg; pregabalin, 75 mg; acetaminophen, 500 mg; oxycodone, 10 mg)을 수술 전 1시간, 수술 후 매일 2회 투여)을 받은 환자를 morphine만을 투여받은 환자와 비교했다. 다중 통증 조절법군은 수술 후 1일을 제외한 모든 시점에서 VAS 점수가 낮았으며 Oswestry Disability Index 점수가 낮았다. 두 군 간의 수술 중과 수술 후 혈액 손실량과 수술 전후 합병증에는 차이가 없었으며 상처 열개(dehiscence), 혈종, 위장 궤양 등도 관찰되지 않았다. 다중 통증 조절법군 환자(7.5%)와 morphine군 환자(10%) 간에 수술 후 1년 유합률의 유의한 차이는 발견되지 않았다.

척추 수술에서 다중 통증 조절법은 선제 진통제, 비스테로이드 항염증제(non-steroidal anti-inflammatory drugs), gabapentin 및 pregabalin, acetaminophen, 국소 마취제 등을 사용하는 것을 포함한다.²⁵⁾ 수술 후 통증의 복합 치료에 일반적으로 사용되는 약제에 대해 북미척추외과학회(North American Spine Society)에서 권장 등급을 제시하고 있다(Table 2).¹⁷⁾ 매년 상당한 수의 척추 수술이 시행되기 때문에 척추 수술에서 다중 통증 조절법에 대한 표준 접근법의 개발이 필요하다.

3. 유합률 증가

척추 유합술의 궁극적인 목표는 견고한 골유합을 얻는 것이다. 하지만 요추 유합술 후 5%~35% 정도에서 불유합이 발생할 수 있으며 3분절 이상의 유합에서 불유합 빈도가 더 높아지는 것으로 알려져 있다.²⁶⁾ 불유합을 예방하고 유합률을 높이기 위해 고령, 골다공증, 알코올 중독, 흡연, 영양 실조, 경-흉추 및 흉-요추

Table 2. North American Spine Society Grades of Recommendation in the Multimodal Treatment of Postoperative Pain

Agent	Evidence grade
Preemptive analgesia	Grade B fair evidence
NSAID	Grade B fair evidence
Gabapentinoids	Grade A good evidence
Acetaminophen	Grade A good evidence
Muscle relaxants	Grade I insufficient evidence
Ketamine	Grade I insufficient evidence
Neuraxial blockade (intrathecal, epidural)	Grade A good evidence
Extended-release local infiltrative anesthetics	Grade A good evidence

NSAID, non-steroidal anti-inflammatory drugs.

접합부의 과도한 움직임 등의 위험 요인과 환자의 상태에 대한 수술 전 평가가 필요하다.²⁶⁾

생물학적 제제와 내고정물의 발전, 국소 생물학의 이해를 통해 최근 요추 유합술 후 유합률이 향상되고 있다. 지난 수십 년 동안 동종 이식편 재료, 세라믹 및 성장 인자를 포함하여 골유합을 돕는 다양한 생물학적 제제가 사용되어 왔다. 이상적인 생물학적 제제는 합병증을 최소화하면서 수술 부위에서 골유합을 향상시키는 골유도성, 골전도성, 골형성 특성을 가지는 것이다. 일반적으로 장골능에서 얻은 자가골은 전통적으로 골이식 재료의 표준으로 간주되었지만 골채취로 인한 합병증 및 제한적인 양 때문에 다른 골이식재의 개발이 필요하게 되었다.²⁷⁾ 탈회뼈 이식재(demineralized bone matrix), 골형성 단백질(bone morphogenetic protein, BMP) 등의 다양한 생물학적 제제를 함께 사용하면 동종 이식골을 단독 사용하였을 때보다 좋은 유합률을 보였다(Table 3).^{26,28)} BMP의 사용은 2004년에서 2009년 사이에 크게 증가했으나 몇몇 저자들은 경추 수술 후 목의 부종, 혈종, 호흡 부전과 요추에서 이소성 골형성, 척추 골용해, 수술 후 신경근염 같은 BMP의 합병증을 보고했다.²⁹⁾

내고정물의 목적은 유합 가능성을 최대화하기 위해 미세한 움직임 없이 견고한 고정을 하는 것이다. 골다공증이 있는 환자에서 초기 내고정물 해리(loosening)는 유합률을 감소시키는 것으로 생각되며 골다공증은 초기 내고정물 해리의 위험을 증가시켜 척추 유합술의 목표를 달성하지 못할 수 있다. Lehman 등³⁰⁾은 골다공증 환자에서 유합률을 높이기 위한 다양한 방법을 제시하였다. 긴 유합 구조물의 경우 경-흉추 또는 흉-요추 접합부에서 시작하거나 끝나는 구조물을 피하고 변형의 정점에서 3분절 이상 고정, 하이브리드 구조물(척추경 나사, hook, wire), 장분절 유합 시 장골 또는 천골 고정, 척추경 나사의 triangulation 증가, undertapping, 척추경 나사의 시멘트 보강, 절골술, 세심한 정렬을 통해 bone-screw 인터페이스의 힘을 최소화하여 유합률을

높일 수 있다.

골다공증 환자에서 요추 유합술 후 인접 부위의 척추 골절, 내 고정 실패, 지연유합 및 불유합 같은 합병증이 발생할 가능성이 높다.³¹⁾ 골형성을 자극하고 재형성을 가속화하는 약제는 이러한 문제를 해결하는 데 도움을 줄 수 있다.

부갑상선 호르몬(parathyroid hormone, PTH)을 간헐적으로 투여하면 뼈 재형성에 강력한 자극 효과가 있다. Teriparatide를 간헐적으로 투여하면 피질골과 해면골의 골량이 증가하고 뼈의 미세 구조가 개선되며 골다공증성 척추 골절의 위험이 줄어드는 것으로 보고되었다.³²⁾ Teriparatide는 폐경기 여성과 골다공증이 심한 남성의 치료에 널리 사용되어 왔다. Teriparatide는 순환 조골세포 전구체의 성숙 및 표면의 조골세포의 분화를 유도하고 기존의 조골세포를 자극하여 새로운 뼈를 형성하며 조골세포 및 골세포의 사멸을 감소시킨다.³³⁾ 동물 요추 유합 모델에서 PTH를 사용한 군은 자가 이식편만 사용한 군보다 유합 속도가 훨씬 빨라 요추 유합술에 PTH를 사용하는 것에 대한 근거를 제시하였다.³⁴⁻³⁶⁾ Teriparatide는 골다공증 환자에서 요추 유합술과 관련된 많은 문제를 해결하기 위한 이상적인 약제로서 잠재력을 가진다.

척추경 나사 해리 빈도는 0.6%~27%로 보고되지만 최근의 연구에 따르면 teriparatide 투여는 척추 고정술 후 내고정물 pull-out을 줄일 수 있는 것으로 알려졌다. Ohtori 등³⁷⁾은 퇴행성 척추 전방 전위증 환자에서 요추 유합술 후 척추경 나사 해리를 줄이는 데 있어 teriparatide와 bisphosphonate의 효과를 비교했다. 골다공증이 있는 62명의 폐경 후 여성을 teriparatide군, risedronate군, 골다공증에 대한 치료를 하지 않는 세 개의 군으로 나누어 비교했다. teriparatide 및 risedronate는 수술 전 2개월부터 수술 후 10개월까지 투여하였다. 1년 추적 관찰에서 teriparatide군(7%~13%)에서 척추경 나사 해리 발생률은 risedronate군(13%~26%) 또는 대조군(15%~25%)보다 유의하게 낮았으며 risedronate군과 대조군 사이에서는 유의한 차이가 발견되지 않았다.

Teriparatide 투여는 골다공증 환자의 유합률을 향상시키는 데 중요한 역할을 한다. Ohtori 등³⁸⁾은 퇴행성 척추 전방 전위증으로 요추 유합술 시행 후 골유합에 대한 teriparatide의 영향을 조사했다. 골다공증이 있는 57명의 폐경 후 여성을 두 개의 그룹으로 나누어 teriparatide와 risedronate를 수술 전 및 수술 후 2개월 동안 투여하였다. 골유합률은 teriparatide군에서 82%, bisphosphonate군에서 68%로 나타났으며, 골유합의 평균 기간은 teriparatide군에서 8개월, bisphosphonate군에서 10개월이었다.

골이식재, 기구 및 수술 기술의 발전, 골다공증의 치료는 유합률을 높이는 데 기여했다. 요추 유합술 후 유합률을 향상시키기 위해 수술 전에 환자의 기저 질환과 불유합의 원인에 대한 철저

Table 3. Efficacy of Various Biomaterials for Promoting Lumbar Spinal Fusion

Bone graft material	Fusion rate (%)
Autologous ICBG	79
Local autograft alone	89
Allograft alone	52
Bone marrow aspirate	85
BMP-2	94
Ceramics	87
DBM	89
Autologous growth factor	74

ICBG, iliac crest bone graft; BMP, bone morphogenetic protein; DBM, demineralized bone matrix.

한 이해가 필요하다.

결론

요추 유합술의 빈도가 많아지면서 요추 유합술 후 빠른 회복에 대한 관심이 증가하고 있다. ERAS, 다중 통증 조절법, 유합률을 높이기 위한 다양한 방법을 통해 요추 유합술 후 합병증을 줄이고 빠른 회복을 얻을 수 있다.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors have nothing to disclose.

ORCID

Taewook Kang, <https://orcid.org/0000-0002-8721-6079>

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

Soon Hyuck Lee, <https://orcid.org/0000-0001-6846-6155>

REFERENCES

1. Brusko GD, Kolcun JPG, Heger JA, et al. Reductions in length of stay, narcotics use, and pain following implementation of an enhanced recovery after surgery program for 1- to 3-level lumbar fusion surgery. *Neurosurg Focus*. 2019;46:E4.
2. Ljungqvist O, Scott M, Fearon KC. Enhanced recovery after surgery: a review. *JAMA Surg*. 2017;152:292-98.
3. Adamina M, Kehlet H, Tomlinson GA, Senagore AJ, Delaney CP. Enhanced recovery pathways optimize health outcomes and resource utilization: a meta-analysis of randomized controlled trials in colorectal surgery. *Surgery*. 2011;149:830-40.
4. Barbieri A, Vanhaecht K, Van Herck P, et al. Effects of clinical pathways in the joint replacement: a meta-analysis. *BMC Med*. 2009;7:32.
5. Melnyk M, Casey RG, Black P, Koupparis AJ. Enhanced recovery after surgery (ERAS) protocols: time to change practice? *Can Urol Assoc J*. 2011;5:342-8.
6. Dietz N, Sharma M, Adams S, et al. Enhanced recovery after surgery (ERAS) for spine surgery: a systematic review. *World Neurosurg*. 2019;130:415-26.
7. Kehlet H. Multimodal approach to control postoperative pathophysiology and rehabilitation. *Br J Anaesth*. 1997;78:606-17.
8. Ali ZS, Ma TS, Ozturk AK, et al. Pre-optimization of spinal surgery patients: development of a neurosurgical enhanced recovery after surgery (ERAS) protocol. *Clin Neurol Neurosurg*. 2018;164:142-53.
9. Angus M, Jackson K, Smurthwaite G, et al. The implementation of enhanced recovery after surgery (ERAS) in complex spinal surgery. *J Spine Surg*. 2019;5:116-23.
10. Feng C, Zhang Y, Chong F, et al. Establishment and implementation of an enhanced recovery after surgery (ERAS) pathway tailored for minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion surgery. *World Neurosurg*. 2019;129:e317-23.
11. Chakravarthy VB, Yokoi H, Coughlin DJ, Manlapaz MR, Krishnaney AA. Development and implementation of a comprehensive spine surgery enhanced recovery after surgery protocol: the Cleveland Clinic experience. *Neurosurg Focus*. 2019;46:E11.
12. Staartjes VE, de Wispelaere MP, Schröder ML. Improving recovery after elective degenerative spine surgery: 5-year experience with an enhanced recovery after surgery (ERAS) protocol. *Neurosurg Focus*. 2019;46:E7.
13. Smith J, Probst S, Calandra C, et al. Enhanced recovery after surgery (ERAS) program for lumbar spine fusion. *Perioper Med (Lond)*. 2019;8:4.
14. Wang MY, Chang PY, Grossman J. Development of an enhanced recovery after surgery (ERAS) approach for lumbar spinal fusion. *J Neurosurg Spine*. 2017;26:411-8.
15. Fleege C, Almajali A, Rauschmann M, Rickert M. [Improve of surgical outcomes in spinal fusion surgery: evidence based peri- and intra-operative aspects to reduce complications and earlier recovery]. *Orthopade*. 2014;43:1070-8. German.
16. Wick EC, Grant MC, Wu CL. Postoperative multimodal analgesia pain management with nonopioid analgesics and techniques: a review. *JAMA Surg*. 2017;152:691-7.
17. Devin CJ, McGirt MJ. Best evidence in multimodal pain management in spine surgery and means of assessing postoperative pain and functional outcomes. *J Clin Neurosci*. 2015;22:930-8.
18. Garcia RM, Cassinelli EH, Messerschmitt PJ, Furey CG, Bohlman HH. A multimodal approach for postoperative pain management after lumbar decompression surgery: a prospective, randomized study. *J Spinal Disord Tech*. 2013;26:291-7.
19. Sinatra RS, Torres J, Bustos AM. Pain management after major orthopaedic surgery: current strategies and new concepts. *J Am Acad Orthop Surg*. 2002;10:117-29.

20. Kelly DJ, Ahmad M, Brull SJ. Preemptive analgesia II: recent advances and current trends. *Can J Anaesth.* 2001;48:1091-101.
21. Pugely AJ, Martin CT, Gao Y, Mendoza-Lattes S. Causes and risk factors for 30-day unplanned readmissions after lumbar spine surgery. *Spine (Phila Pa 1976).* 2014;39:761-8.
22. Rajpal S, Gordon DB, Pellino TA, et al. Comparison of perioperative oral multimodal analgesia versus IV PCA for spine surgery. *J Spinal Disord Tech.* 2010;23:139-45.
23. Mathiesen O, Dahl B, Thomsen BA, et al. A comprehensive multimodal pain treatment reduces opioid consumption after multilevel spine surgery. *Eur Spine J.* 2013;22:2089-96.
24. Kim SI, Ha KY, Oh IS. Preemptive multimodal analgesia for postoperative pain management after lumbar fusion surgery: a randomized controlled trial. *Eur Spine J.* 2016;25:1614-9.
25. Kurd MF, Kreitz T, Schroeder G, Vaccaro AR. The role of multimodal analgesia in spine surgery. *J Am Acad Orthop Surg.* 2017;25:260-8.
26. Chun DS, Baker KC, Hsu WK. Lumbar pseudarthrosis: a review of current diagnosis and treatment. *Neurosurg Focus.* 2015;39:E10.
27. Kannan A, Dodwad SN, Hsu WK. Biologics in spine arthrodesis. *J Spinal Disord Tech.* 2015;28:163-70.
28. Hsu WK, Nickoli MS, Wang JC, et al. Improving the clinical evidence of bone graft substitute technology in lumbar spine surgery. *Global Spine J.* 2012;2:239-48.
29. McGovern SC, Fong W, Wang JC. Can bone morphogenetic protein binding peptide increase efficiency of bone formation? *Spine (Phila Pa 1976).* 2010;35:1655-9.
30. Lehman RA Jr, Kang DG, Wagner SC. Management of osteoporosis in spine surgery. *J Am Acad Orthop Surg.* 2015;23:253-63.
31. DeWald CJ, Stanley T. Instrumentation-related complications of multilevel fusions for adult spinal deformity patients over age 65: surgical considerations and treatment options in patients with poor bone quality. *Spine (Phila Pa 1976).* 2006;31(19 Suppl):S144-51.
32. Finkelstein JS, Klibanski A, Schaefer EH, Hornstein MD, Schiff I, Neer RM. Parathyroid hormone for the prevention of bone loss induced by estrogen deficiency. *N Engl J Med.* 1994;331:1618-23.
33. D'Amelio P, Tamone C, Sassi F, et al. Teriparatide increases the maturation of circulating osteoblast precursors. *Osteoporos Int.* 2012;23:1245-53.
34. Lehman RA Jr, Dmitriev AE, Cardoso MJ, et al. Effect of teriparatide [rhPTH(1,34)] and calcitonin on intertransverse process fusion in a rabbit model. *Spine (Phila Pa 1976).* 2010;35:146-52.
35. O'Loughlin PF, Cunningham ME, Bukata SV, et al. Parathyroid hormone (1-34) augments spinal fusion, fusion mass volume, and fusion mass quality in a rabbit spinal fusion model. *Spine (Phila Pa 1976).* 2009;34:121-30.
36. Abe Y, Takahata M, Ito M, Irie K, Abumi K, Minami A. Enhancement of graft bone healing by intermittent administration of human parathyroid hormone (1-34) in a rat spinal arthrodesis model. *Bone.* 2007;41:775-85.
37. Ohtori S, Inoue G, Orita S, et al. Comparison of teriparatide and bisphosphonate treatment to reduce pedicle screw loosening after lumbar spinal fusion surgery in postmenopausal women with osteoporosis from a bone quality perspective. *Spine (Phila Pa 1976).* 2013;38:E487-92.
38. Ohtori S, Inoue G, Orita S, et al. Teriparatide accelerates lumbar posterolateral fusion in women with postmenopausal osteoporosis: prospective study. *Spine (Phila Pa 1976).* 2012;37:E1464-8.

요추 병변의 중재술 및 술 후 기능 회복 치료법

요추 유합술 후 기능 회복 치료법

강태욱 · 박시영[✉] · 이순혁

고려대학교 의과대학 안암병원 정형외과학교실

노년층 인구가 증가함에 따라 요추 유합술의 빈도가 높아지면서 수술 후 빠른 회복 및 기능 회복 치료법에 대한 관심이 증가하고 있다. 수술 후 조기 회복 프로그램, 다중 통증 조절법을 통하여 합병증을 줄이고 빠른 회복을 기대할 수 있으며 유합률을 높일 수 있는 다양한 방법을 사용하고 있다.

색인단어: 요추 유합술, 통증 조절, 유합률, 기능 회복

접수일 2020년 1월 4일 수정일 2020년 2월 25일 게재확정일 2020년 4월 20일

[✉]책임저자 박시영

02841, 서울시 성북구 고려대로 73, 고려대학교 의과대학 정형외과학교실

TEL 02-920-5925, FAX 02-924-5271, E-mail drspine90@kumc.or.kr, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1216-901X>