creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

의학박사 학위논문

경추 척수증에 있어서 황색 인대의 비후로 인한 후방 척수 압박이 경추 추간판 절제 및 유합술에 미치는 영향에 대한 연구

Does Posterior Cord Compression by Ligamentum Flavum Adversely Affect Clinical Outcome of Anterior Cervical Discectomy and Fusion?

울 산 대 학 교 대 학 원

의 학 과

박 세 한

경추 척수증에 있어서 황색 인대의 비후로 인한 후방 척수 압박이 경추 추간판 절제 및 유합술에 미치는 영향에 대한 연구

지 도 교 수　　이 동 호

이 논문을 의학박사학위 논문으로 제출함

2024 년　02 월

울 산 대 학 교 대 학 원

의　　학　　과

박 세 한

최명근의 의학박사학위 논문을 인준함

심사위원	김 종 민	(인)
심사위원	이 동 호	(인)
심사위원	이 재 철	(인)
심사위원	황 창 주	(인)
심사위원	고 경 환	(인)

울 산 대 학 교 대 학 원

2024 년 02 월

국문 요약

연구 디자인: 후향적 코호트 연구

연구 목적: 전방 경추 추간판 절제 및 유합술 (anterior cervical discectomy and fusion, ACDF) 시행에 있어서 황색 인대 비후로 인한 척수 후방 압박 (cord compression by ligamentum flavum, CCLF)이 존재 유무—가 결과에 미치는 영향을 규명한다.

선행 문헌 요약: ACDF 는 경추 척수증의 치료에 있어서 효과적으로 척수 전방에 존재하는 압박 구조물들을 제거할 수 있으며, 대부분 양호한 임상 결과를 나타내는 것으로 보고되어 있다. 하지만 ACDF 는 척수 후방의 병변의 제거는 불가능하며, 이 때 CCLF 의 존재가 수술의 결과에 어떠한 영향을 미치는지에 대해서는 아직 명확히 밝혀진 바가 없다.

연구 방법: 경추 척수증의 치료를 위해 ACDF 를 시행 받고 2 년 이상 추시 관찰된 195 명의 환자에 대한 후향적 분석을 시행하였다. CCLF 는 자기공명영상 검사의 시상면 영상 검사 소견에 따라 0-2 단계로 분류되었으며, CCLF 0,1 단계인 경우를 no-CCLF 군, CCLF 2 단계의 경우를 CCLF 군으로 정의하였다. 환자 임상 정보 및 경추 시상면 지표를 측정 분석하였으며, 임상 결과의 평가를 위해 목 통증 visual analogue scale (VAS), 팔 통증 VAS, 그리고 일본 정형외과 학회 경추 척수증 점수 (Japanese Orthopedic Association score, JOA score)를 평가하였다.

결과: 167 명의 (85.6%)의 환자들이 no-CCLF 군으로 분류되었으며, 29 명의 (14.4%)의 환자들이 CCLF 군으로 분류되었다. CCLF 군의 환자들 중에서 14 명(50.0%)의 환자들은 JOA score 로 평가한 임상 결과의 호전을 보였으며, 나머지 14 명 (50.0%)의 경우 임상적 호전을 보이지 않았다. No-CCLF 군에서는 수술 후 JOA score 의 유의한 호전을 보였으나 ($p<0.001$), CCLF 군에서는 유의한 호전을 보이지 못하였다 ($p=0.642$). 수술 후 3 개월 ($p=0.037$) 및 2 년 추시 시의 ($p=0.001$) JOA score 는 no-CCLF 군에서 CCLF 군에 비해

유의하게 높게 평가되었다. 다변량 회귀 분석 상에서 CCLF 는 수술 후 2 년 추시 시의 JOA recovery rate 와 유의한 연관성을 보였다 (p=0.045).

결론: CCLF 2 단계가 관찰될 경우 ACDF 의 임상적 결과는 CCLF 0, 1 단계의 경우에 비해서 열등하였다. ACDF 는 척수 후방 압박에 대한 효과적인 해결책이 될 수 없으며, CCLF 가 척수 압박에 기여하는 경우 좋지 못한 임상 결과로 이어질 가능성이 있어 그 적용이 제한될 것으로 평가된다.

목 차

국문 요약 ····· i

목차 ····· iii

표 및 그림 목차 ····· iv

서론 ····· 1

본론 ····· 4

연구 방법 ····· 4

연구 디자인 및 대상 ····· 5

수술 방법 ····· 5

변수 ····· 6

통계적 분석 ····· 6

결과 ····· 7

환자 보고 결과 척도 ····· 8

JOA score 회복율과 연관된 인자 ····· 8

CCLF 군 내 아그룹 분석 ····· 9

고찰 ····· 9

결론 ····· 16

References ····· 17

Figures ····· 22

Tables ····· 26

Abstract ····· 32

표 및 그림 목차

Figure 1. Patient selection process ····· 22

Figure 2. Cord compression by ligamentum flavum grade ····· 23

Figure 3. Radiographic assessment ····· 24

Figure 4. Illustrative case ····· 25

Table 1. Baseline patient characteristics ····· 26

Table 2. Radiographic results ····· 27

Table 3. Patient reported outcome measures ····· 28

Table 4. Multiple regression analysis demonstrating factors associated with JOA recovery rate · 29

Table 5. Logistic regression analysis demonstrating factors associated with JOA recovery rate of >50% ····· 30

Table 6. Subgroup analysis within CCLF group comparing patients who demonstrated JOA score improvement with patients who did not improved ····· 31

서론

경추 척수증은 경추부 척수의 기능 손상으로 인하여 운동, 감각 기능 및 조화 운동 기능의 부전이 발생하는 질환으로서 대부분은 척추관 협착으로 인한 척수 압박으로 인하여 발생하게 된다.[1] 경추 척수증은 그 증상이 한번 발생하면 증상이 점차 진행하는 자연 경과를 보이는 것으로 알려져 있으며, 보존적인 치료가 효과가 없기 때문에 수술적 치료를 요하는 질환이다.[2] 전방 접근, 후방 접근, 또는 전후방 양측 접근을 통하여 척수에 압박을 일으키는 병변을 제거함으로서 치료를 하게 되며, 수술적 치료의 방법은 병변의 위치, 범위, 형태, 경추 시상면 지표, 및 환자의 증상을 고려하여 결정을 하게 된다.[3,4] 경추 전방 접근은 병변의 척수강 침범 정도 (canal occupying ratio)가 높거나 병변의 범위가 제한된 분절에 존재하는 경우에 주로 시행하게 되며, 후방 접근은 경추 전만이 잘 유지되어 있고, 병변이 다분절을 침범하는 경우에 그 시행이 권장된다.[2,3,5,6] 병변의 척수강 침범 정도가 클 경우에는 전방 접근을 통하여 병변을 직접 제거 하는 것이 척수 주행 경로를 회복 시키는 것에 용이하며, 이를 통하여 기능 회복을 더 촉진할 수가 있다.[1] 반면에 후방 접근은 병변을 직접 제거하기 보다 척수의 후방 전위 (cord posterior shifting)을 통하여 척수의 압박 해소 및 기능 회복을 도모하게 된다. 이 때 경추가 후만 변형을 가지고 있거나 압박 병변의 척수강 침범 정도가 큰 경우 척수 후방 전위가 효율적으로 일어나지 않게 되며, 후방 수술을 통한 신경학적 기능 회복이 잘 이루어지지 않게 된다.[1,2,5,7] 또한 후방 접근은 근육 손상을 더 광범위하게 일으키기 때문에 수술 후 목 통증을 악화 시킬 수 있고, 수술 전에 목 통증이 심한 환자들에게는 좋은 적응이 되지 못한다. 반면에 후방 접근은 다분절 척수 압박에 대해서도 수술 시간 및 합병증의 증가 없이 효과적인 감압을 이룰 수 있다는 장점을 가진다.[4,8] 수술적 치료의 방법은 이러한 다양한 요인을 세심히 고려하여 결정을 할 필요가 있으며, 부적절한 수술 방법의 선택은 열등한 임상 결과로 이어질 가능성을 증가 시킨다.[3,4]

전방 경추 추간판 절제 및 유합술 (anterior cervical discectomy and fusion, ACDF)는 전방 접근을 통하여 추간판 및 골극, 후종인대 골화증 등을 제거함으로서 척수에 대한 감압을 얻을 수 있다.[9] ACDF 술식은 경추 척수증의 치료에 있어 가장 흔히 적용되는 수술 방법 중의 하나이며, 대부분 양호한 임상 결과를 보이는 것으로 알려져 있다.[8,10] ACDF는 경추 전방 접근을 통하여 추간판을 노출 시킨 이후, 먼저 추간판을 완전히 제거하게 된다. 이후 노출된 후방의 골극 및 후종인대를 제거하여 척수를 육안으로 확인하게 되면, 척수 전방의 압박 병변을 모두 제거한 것이 된다. 하지만, ACDF는 수술의 술기 상 척수 후방의 압박 병변을 제거하는 것은 불가능하다.[11] 척수 전방으로의 접근을 하였기 때문에 척수가 후방의 병변을 가리게 되고, 이를 노출 시키기 위해서는 척수를 견인하여야 하는데, 이는 척수 기능 손상을 유발할 수 있어 불가능하기 때문이다. 척수의 압박을 일으키는 병변이 대부분의 경우에 척수 전방에 존재하기 때문에 척수 후방의 압박 병변을 제거할 수 없다는 점은 많은 경우에 있어서 특별한 제한점이 되지 않는다.[3] 하지만 때때로, 황색 인대의 비후가 후방에서 척수의 압박을 일으키는 것을 관찰할 수 있다.[12] 황색 인대는 척추의 후궁과 후궁을 이어주어 척수를 보호하는 구조물이지만 퇴행성 변화가 진행됨에 따라 비후가 발생할 수 있고, 이러한 황색 인대의 비후는 목의 신전 시 비굴 (buckling)로 인하여 더 심화되는 것으로 보고되었다.[13] 이 경우 ACDF는 전방 압박 구조물만을 제거할 수 있기 때문에 후방 척수의 압박을 해소하는 것에 있어서 제한적이다.[12,14-16] 요추부 협착에 있어서는 추간판 공간에 큰 케이지를 삽입함으로서 황색인대의 신전을 도모할 수 있고, 이를 통한 간접 감압을 통해 척수의 압박을 해소할 수 있다는 것이 보고된 바 있다.[6,17,18] 추간판 공간을 수술 전보다 확장 시키므로서 후궁과 후궁 사이의 거리를 증가 시키고, 이를 통하여 황색인대가 당겨지므로서 그 두께가 얇아지는 현상을 도모하게 되는 것이다.[18] 하지만 경추 척수증 및 ACDF 수술에 있어서 이러한 황색 인대 비후에 대한 간접 감압 현상은 아직 보고된 바가 없는 상태이다. 요추 추간판의 경우 수술 전에 비해 매우 큰 케이지를 삽입하기가 용이하지만 경추의 경우 척추체의 크기가 요추에 비해 작고, 수술 공간이

제한적이기 때문에 추간판의 공간을 크게 확장 시키는 것이 제한적이다.[12] 따라서 ACDF의 경우 요추 측방 접근 수술법 처럼 효율적으로 황색 인대의 신전을 유도하기가 어려울 수 있다. ACDF 수술 이후 황색 인대의 비후 악화와 연관된 증례 보고 및 영상학적 연구는 진행된 바가 있으나, 임상 증상의 호전과 연관되어 황색 인대 비후로 인한 척수 압박이 (cord compression by ligamentum flavum, CCLF) 동반되었을 때 ACDF 수술을 할 수 있는지에 대해서는 명확히 밝혀진 바가 없다.

ACDF 수술이 요추 전방 체간 유합술에서와 마차가지로 간접 감압 효과를 가져와 CCLF의 완화를 가져올 수 있을지, 아니면 CCLF가 동반되었을 때 ACDF의 단독 시행이 안 좋은 임상 결과와 연관되어 있을지에 대해서는 추가적인 평가가 필요한 상태이다. 따라서 본 연구는 CCLF가 동반되어 있을 때 시행한 ACDF 수술의 임상 결과를 규명하기 위해 시행되었다. 본 연구에서는 CCLF가 동반되어 있을 경우의 ACDF 수술의 임상 결과가 CCLF가 동반되지 않았을 때에 비하여 열등할 것이라는 가설 하에 수행되었다.

본론

연구 방법

연구 디자인 및 대상

본 연구는 후향적 코호트 연구로서 연구 수행 기관의 임상 심의 위원회의 인증을 얻은 이후에 시행되었다. 연구 대상자들에 대한 연구 참여 동의는 후향적 연구 디자인으로 인하여 면제 되었다. 본 연구는 후향적 코호트 연구 기술 방법을 기술하는 Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology statement에 의거하여 수행되었다. CCLF가 ACDF의 임상 결과에 미치는 영향을 규명하기 위해 CCLF의 단계를 영상학적 소견에 따라 설정하여 환자 군을 나누었으며, 이에 따른 ACDF의 임상 결과를 비교하였다. 또한 회귀 분석을 통하여 CCLF단계와 임상 결과가 연관성을 가지는지 여부를 확인하였다.

2012년 1월에서 2015년 10월 사이에 연구 수행 기관 내에서 경추 척수증에 대해 수술을 시행 받은 324명의 환자에 대한 후향적 평가를 시행하였다. ACDF의 시행 여부는 (1) 수술이 필요한 분절의 수,[19] (2) 경추 시상면 정렬,[20,21] (3) 압박 병변의 척추강 침범 정도,[7] (4) 수술전 목 통증의 유무를 평가하여 결정되었다.[1,3,22,23] 압박 병변의 척추강 침범 정도가 50% 이상이거나 강직된 경추 후만 정렬을 가지고 있는 경우, 수술 전 목 통증이 있는 경우, 수술이 필요한 분절이 3분절 이하인 경우에 대해서 ACDF 수술의 시행이 우선적으로 고려되었다.[1,3,7,9,22,23] CCLF의 존재 여부는 수술 방법을 고려하는 요소에 포함되지 않았다. (1) 척추 종양, 감염, 외상으로 인하여 수술이 필요한 경우; (2) 경추 후방 수술을 함께 시행한 경우; (3) 이전에 경추 부위 수술이 시행된 적이 있는 경우; (4) 추시 기간이 2년 미만인 경우는 연구 대상에서 제외되었다 (Figure 1). 모든 수술은 한 명의 수술자에 의해서 시행되었다 (DHL).

수술 방법

Smith-Robinson 전방 경추 접근 법에 의하여 수술이 필요한 범위를 노출 시킨 후 추간판 절제술을 시행하였다. 캐스퍼 핀을 삽입 한후 수술 분절을 확장하였다. 골단판의 추간판 및 연골 조직을 큐렛을 이용하여 완전히 제거한 후 골단판을 박스 형태로 절제하였다. 척수 압박 병변이 추간판 공간의 위 아래로 확장되어 있는 경우 경추체 후방 골단판을 사면으로 절제하여 병변을 제거하기 위한 공간을 추가적으로 확보하였다.[24] 후종 인대는 후종 인대 후방에 척수 압박 병변이 있는 것으로 평가되는 경우에 한해 선택적으로 절제를 시행하였다. 하지만 모든 환자들에 있어 후종 인대 후방을 병변 존재 여부를 확인하여 남는 압박 병변이 없는 것을 육안으로 확인하였다. 양측으로 uncinate process가 확인될 때까지 노출 및 감압을 시행하여 충분히 넓은 범위의 감압이 되었음을 확인하였다. 적절한 지혈을 시행한 이후에 추간판 공간에 동종골을 삽입하였다. 동종골의 크기는 수술 시 trial 삽입을 통하여 주로 결정하였으며, 마디에 과도한 신전력 없이 삽입이 가능한 동종골의 크기를 선택하였다. 모든 경우에 있어서 5mm-7mm 범위에서 동종골의 높이가 결정되었다. 수술 시 채취되는 자가골을 남는 추간판 공간에 삽입하였으며, 경추 전방 금속판을 적용하였다.[25] 적절한 감압을 수술 시 육안적 확인과 수술 후 단층 촬영 검사 결과로 확인하였다. 경추 보조기는 수술 분절 후에 따라 6주에서 12주간의 기간 동안 적용하였다.

CCLF 단계의 평가

3년 및 5년 경력의 척추 분과에 대한 전임의 수련과정을 마친 의사가 자기공명영상 검사 결과에 기반하여 CCLF 단계에 대한 평가를 시행하였다. 자기공명영상 검사는 3.0-T 16채널 기기를 통하여 시행되었다 (Achieva; Philips Healthcare, Best, Netherlands with a 16-channel neurovascular coil). CCLF 단계는 T2 자기공명영상의 척추강 중앙을 표기하는 시상면 영상에서 시행하였다. CCLF 단계를 0-2단계로 다음의 기준에 의거하여 나누었다. :

(1) 0단계: 척수 후방의 뇌척수액 공간이 CCLF로 인한 침범 없이 관찰이 가능한 경우, (2) 1단계: 척수 후방의 뇌 척수액 공간이 CCLF로 인하여 압박을 받는 경우이나 척수의 후방 경계는 침범되지 않은 경우, (3) 2단계: 척수의 후방 경계가 CCLF로 인하여 압박을 받는 경우(Figure 2). 다분절에 대해서 ACDF가 시행된 경우에는 수술 전에 CCLF 단계가 가장 높은 마디에 대해서 평가를 시행하였다. CCLF 단계가 0단계 혹은 1단계인 경우를 no-CCLF 군으로 분류하였으며, CCLF 단계가 2단계인 환자를 CCLF 군으로 분류하였다.

변수

환자의 임상적 특성을 의무기록을 통하여 기록하였으며, 목 통증 visual analogue scale (VAS) 점수, 팔 통증 VAS 점수, 경추 척수증에 대한 일본 정형외과학회 평가 점수 (Japanes Orthopedic Association Score, JOA score)를 확인하였다. 임상 증상 지표는 수술 전, 수술 후 3개월 및 수술 후 2년 째 점수를 기록하였다.

기립 위, 정자세에서 시행한 경추 측면 영상을 이용하여 경추 시상면 지표를 측정하였다.[26,27] C2-C7 전만을 C2 하측 골단판 및 C7 하측 골단판이 이루는 Cobb 각도를 이용하여 측정하였다. C2-C7 sagittal vertical axis (SVA)는 C7 추체의 후상부와 경추 2번 추체 중앙에서 내린 수직선이 이루는 거리로 평가하였다. 분절 전만은 평가 대상 분절의 상부의 골단판과 하부의 골단판이 이루는 각도로 측정하였으며 (Figure 3A), 추간판 높이는 figure 3B에 표기된 방법에 의거하여 측정하였다. 척추관 넓이는 협착이 없는 분절에서 구하였으며, 시상면 T2 자기공명영상 검사에서 척추관의 전방 경계와 후방 경계 사이의 거리를 측정하였다 (Figure 3C). 척수 신호 강도 변화 또한 T2 시상면 자기공명영상에서 평가하였으며, 다음의 평가 기준을 이용하였다: (1) 0 단계, 척수 신호 변화가 없는 경우; (2) 1 단계, 경도의 신호 강도 증가가 있는 경우; (3) 2 단계, 선명한 척수 신호 강도 증가가 있는 경우.[28]

통계적 분석

평가자 간 CCLF 단계에 대한 신뢰도는 kappa coefficient를 이용하여 평가하였으며, 0.783으로 측정되었다. 모든 변수에 대해서 Shapiro-Wilk 검정을 이용하여 정규성 여부를 평가하였다. CCLF군과 no-CCLF군에 대해서 두 그룹 비교를 수행하였다. 명목형 변수는 카이제곱 검정을 이용하여 수행하였으며, 연속형 변수는 스튜던트 t-test를 이용하여 시행하였다. 다중 회귀 분석을 이용하여 JOA score 회복율과 연관된 인자들을 분석하였으며, 로지스틱 회귀 분석을 이용하여 JOA score 회복율이 50% 이상인 경우와 연관된 인자들을 확인하였다. 또한, CCLF군 내에서의 아그룹 분석을 통하여 JOA score의 호전을 보인 환자군과 호전을 보이지 못한 환자군 사이의 비교를 수행하였다. 통계 분석은 SPSS (version 29.0, SPSS, Inc., Chicogo, IL)를 이용하여 시행하였으며, P값 0.05 미만을 유의한 값으로 정의하였다.

결과

195명의 환자들이 연구 포함 기준을 만족하여 연구 대상자에 최종 포함되었다. 68명 (34.9%)의 환자는 CCLF 0단계로 평가되었으며, 99명의 (50.8%) 환자는 CCLF 1단계, 나머지 28명의 (14.4%)의 환자는 CCLF 2단계로 평가되었다. 따라서, 28명의 (14.4%) 환자가 CCLF군에 포함이 되었으며, 167명의 (85.6%) 환자는 no-CCLF 군에 포함되었다. CCLF 단계가 가장 높은 분절은 C3-4가 12명 (6.2%), C4-5가 63명 (32.3%), C5-6이 90명 (46.2%), C6-7이 30명 (15.4%)이었다. 성별, 나이, 기저 질환, 수술 분절 수 등의 환자 특성은 CCLF군과 no-CCLF 군 사이에 유의한 차이를 보이지 않았다 (Table 1). 수술 시간과 출혈량의 중앙 값은 no-CCLF 군에서 102분 (interquartile range [IQR], 84 – 124)과 38 mL (IQR, 24 – 53mL)이었으며, CCLF군에서 99분(IQR, 82 – 120) 및 43mL (IQR 27 – 54mL)이었다. CCLF군에 포함된 한명의 환자는 (3.7%) ACDF 수술 이후에 지속되는 후방 척수 압박으로 인하여 신경학적 증상의 악화를 나타내었으며, 6개월 뒤 후방 재수술을 필요로 하였다. 모든 환자들은 수술 전 단층 촬영 검사에서 황색 인대 골화증이 없음을

확인하였다.

수술 전 C2-C7 전만, C2-C7 SVA, 분절 전만, 척추관 넓이는 CCLF군과 no-CCLF 군 사이에 유의한 차이가 없었다. 하지만, 경추 전방 전위증은 CCLF군에서 더 흔하게 관찰되었으며, 이는 통계적으로 유의하였다 (8 [28.6%] vs 9 [5.4%], p=0.001). 추간판 높이는 두 군 모두에서 수술 후 유의하게 증가하였으며 (p<0.001, <0.001), 이는 다시 수술 후 2년 추시 기간 동안 유의하게 감소하였다 (p<0.001, <0.001). 분절 전만 또한 두 군 모두에서 수술 후 유의하게 증가하였으며, (p<0.001, <0.001, respectively) 수술 후 3개월 째와 2년째 추시 사이에 유의하게 감소하는 경과를 보였다 (p<0.001, <0.001). 수술 후 3개월 및 2년 추시 시의 C2-C7 경추 전만, C2-C7 SVA, 분절 전만, 추간판 높이는 두 군 간에 유의한 차이를 보이지 않았다 (Table 2).

환자 보고 결과 척도

목 통증 VAS는 두 군 모두에서 수술 전과 비교하여 수술 후 3개월 째와 (p<0.001, <0.001) 수술 후 2년 째에 (p<0.001, <0.001) 유의하게 호전되었다. 각 수술 후 평가 시기에 목 통증 VAS는 두 군 간에 유의한 차이를 보이지 않았다 (p=0.883, 0.556). 팔 통증 VAS 또한 두 군 모두에서 수술 후 유의하게 호전이 되었으며, 수술 후 팔 통증 VAS는 두 군 간에 유의한 차이를 나타내지 않았다 (p=0.691, 0.087) (Table 3).

JOA score는 no-CCLF 군에서 수술 후 유의하게 호전이 되었으나 (p<0.001) CCLF군에서는 유의한 호전을 보이지 못하였다 (p=0.642). JOA score는 수술 후 3개월 추시와 (p=0.037) 2년 추시에서 (p=0.001) 모두 no-CCLF군에서 유의하게 높게 평가되었다. 또한 JOA score 회복율 또한 수술 후 2년 째에 no-CCLF 군에서 CCLF군에 비해 유의하게 높았다 (p=0.042) (Table 3).

JOA score 회복율과 연관된 인자

두 그룹 비교에서 유의한 결과를 보였던 전방 전위증 여부 및 CCLF 단계에 대해서 다중

회귀 분석을 시행하였다. CCLF 단계는 JOA score 회복율과 유의한 연관성을 보였으나 (p=0.044), 전방 전위증은 유의한 연관성을 보이지 않았다 (p=0.804) (Table 3). 로지스틱 회귀 분석 상에서 CCLF 단계는 JOA score 회복율 50% 이상과 유의한 연관성을 나타내었다 (odds ratio, 0.362; 95% confidence interval, 0.137 – 0.957; p=0.040). CCLF 단계가 JOA score 회복율과 연관된 유일한 인자였기 때문에 다인자 로지스틱 회귀 분석은 시행하지 않았다 (Table 5).

CCLF군 내 아그룹 분석

CCLF군에 포함된 28명의 환자 중 14명 (50%)는 수술 후 2년 추시에 JOA score의 호전을 보였으며, 나머지 14명 (50.0%)는 호전을 보이지 못하였거나 악화되는 경과를 보였다. JOA score가 호전된 환자들과 호전되지 못한 환자 군을 비교하였을 때 body mass index가 호전을 보이지 못한 환자에서 유의하게 높았다 (BMI, 27.6±5.0 vs 22.9±2.8, p=0.005). 두 군 사이에 다른 임상적 특성은 유의한 차이를 보이지 않았다 (Table 6).

28명 중 27명의 (96.4%) 환자에서 수술 후 자기공명영상 검사가 시행이 되었다. 수술 전 CCLF 2단계로 평가되었던 10명 (35.7%)의 환자들은 수술 후에도 CCLF 2단계로 평가되었으며, 17명 (62.9%)의 환자는 CCLF 단계의 호전을 보였다. 8명 (28.6%)의 환자는 수술 후 CCLF 1단계로 평가되었고, 9명 (28.6%)의 환자는 CCLF 0단계로 평가되었다. JOA score 회복율은 수술 후 CCLF grade의 호전을 보인 환자들에서 30.4±93.9%이었으며, 수술 후에도 CCLF 2단계인 환자들에서 -8.1%±100.9%로 평가되었으나 이 차이는 통계적 유의성을 보이지는 못하였다(p=0.558).

고찰

본 연구 결과 수술 전 CCLF 2단계가 관찰되는 것은 ACDF 수술 후 더 열등한 JOA 점수 및 회복율과 연관되어 있는 것으로 나타났다. 또한 다중 회귀 분석 및 로지스틱 회귀

분석 상에서 JOA 점수 회복율과 CCLF 단계 사이에 유의한 연관성이 있음이 확인되었다. 또한 CCLF군 내의 아그룹 분석 상에서 높은 BMI가 CCLF 점수가 호전되지 못하는 환자들과의 연관성을 보였다.

ACDF 수술은 경추 척수증 치료에 있어서 광범위하게 적용되는 수술 방법 중 하나이다.[7] 전방 압박 병변의 직접 제거를 얻을 수 있기 때문에 양호한 신경 기능의 회복을 얻을 수 있으며, 경부 근육 손상을 최소화하여 목 통증을 유발하지 않고, 추간판 높이 회복을 통하여 경추 전만의 회복을 얻을 수 있다는 장점을 가지고 있다.[23,29,30] 하지만 다분절 수술 시에 적용할 경우 불유합 및 혈종의 발생 위험성이 증가하고, 연하곤란 및 삼킴 장애의 발생 위험성을 동반하며, 추간판 후방이 아닌 척추체 후방의 압박 구조물을 제거가 불가능하다는 단점 또한 가지고 있다.[1,31] 이처럼 ACDF의 장단점 및 수술 적응증에 대해서는 광범위한 임상 연구가 이루어진 바 있으나 CCLF와 관련하여 ACDF가 과연 유용한 수술 방법인지에 대해서는 아직 뚜렷이 밝혀진 바가 없다.[30,32]

황색 인대는 척추 후방의 후궁과 후궁을 연결하는 인대로서 척수를 후방으로부터의 손상에서 보호하고, 척추 기립을 지지하는 역할을 하고 있다.[13] 하지만 퇴행성 변화가 일어난 황색 인대는 비후로 인하여 척수에의 후방 압박을 가할 수 있으며, 이로 인하여 경추 척수증의 발생에 기여할 수 있다.[11,14,15] 황색 인대 비후의 병태 생리에 대해서는 아직 명확히 밝혀진 바가 없다. 기존의 문헌에서 나이에 따른 퇴행성 변화로 인한 섬유 조직의 증가, elastin과 collagen 사이의 비율 변화가 황색 인대의 비후에 영향을 미치는 요인으로 제시된 바가 있다.[13]

Jeong 등은 경추 협착이 있는 환자들이 (2.09±0.39mm) 협착이 없는 환자 군에 (1.41±0.24mm) 비해서 더 두꺼운 황색 인대를 가지고 있음을 보고한 바 있다.[12] Zhong등은 황색 인대의 동적 변화에 주목하였으며, 구조적 비후 뿐 아니라 움직임 시에 발생하는 좌굴에 (buckling) 의하여 척수증이 발생할 수 있음에 대해 보고 하였다. 이 연구에서 저자들은 통상적으로 시행하는 자기공명영상 검사에서 황색 인대의 좌굴을 정확히 인지하지 못할 수 있으며, 이에 대한 명확한 평가를 위해서는 경추 신전

자세에서 시행한 자기공명영상 검사가 필요하다는 점에 대해 기술하였다.[14,32,33] 해당 연구의 저자들은 또한, 추간판 퇴행성 변화 및 추체의 전위가 황색 인대의 좌굴과 연관된 요소임을 보고하였다.[12] Kaldini 등은 황색 인대의 비후 보다는 좌굴이 후방 경추 척수 압박에 더 크게 한다는 점을 보고한바 있으며,[15] 몇 가지 증례 보고에서 황색 이내 비후 혹은 좌굴이 동반된 경우 ACDF 수술 이후에 급격한 신경학적 증상의 악화를 보인 경우들이 보고 되었다.[11] Altinkaya 또한 황색 인대의 비후는 추간판의 퇴행성 변화, 나이와 유의한 연관 관계를 보인다고 기술하였다. 이 논문에서도 황색인대로 인한 척수 압박은 비후 보다는 비굴로 인한 동적 압박이 더 많은 영향을 미친다고 주장하였다.[13]

본 연구의 결과 수술 전 CCLF의 존재는 ACDF 수술의 결과의 좋지 않은 예후 인자임이 밝혀졌다. ACDF 수술은 척추 전방의 압박 병변을 효과적으로 제거할 수 있으나 황색 인대 등 척수 후방에 존재하는 병변에 대해서는 접근이 불가능하다는 한계점이 있다. 추간판 높이의 회복을 통하여 척수의 간접 감압을 기대해 볼 수 있겠으나 기존의 보고에서 ACDF 이후에 황색 인대 비후에 대한 간접 감압은 원활히 이루어지지 않는다는 점이 보고된 바 있다.[9,16] Choi등은 ACDF 수술 전후 황색 인대의 두께를 비교한 연구에서 수술 이후에 황색 인대 두께는 차이가 없음을 제시하였다.[16] 이 연구는 또한 케이지 위치와 추간판 높이가 황색 인대 두께에 영향을 주는 인자가 아님을 밝히기도 하였다.[16] 본 연구의 결과, ACDF 수술이 추간공 협착에 대한 간접 감압의 효과는 뚜렷한 것으로 알려져 있는 반면에, 척수 압박에 대한 간접 감압의 효과는 기대하기가 어려운 것으로 보인다.[9,34] 따라서 황색 인대 비후 병변에 대한 제거가 불가능한 ACDF 수술은 CCLF가 동반된 경추 척수증에 대한 적응이 제한될 것으로 평가된다 (Figure 4).

본 연구의 결과 ACDF 수술이 CCLF가 동반된 경우에 열등한 결과를 보였기 때문에 CCLF 2단계가 동반된 경우에 후방 수술을 시행하거나 전후방 수술을 함께 시행하는 것을 고려해볼 수 있을 것이다. 후궁 성형술, 후궁 절제 및 후방 유합술, 그리고 ACDF와 함께 후궁 절제 및 유합술을 시행하는 것은 황색인대 비후 및 비굴로 인한 후방 척수 압박도 효과적으로 제거할 수 있으며, 더 나은 임상 결과로 이어질 수

있는 가능성이 있을 것으로 보인다.[3,5,6,20,35] 하지만 본 연구는 CCLF가 있는 경우 ACDF 수술의 임상적 결과를 확인하는 것에 국한되었기 때문에 실제로 후방 수술이나 전후방 수술이 ACDF에 비해 더 나은 결과로 이어질 수 있는지 증명하는 것에는 제한점이 있다. 추가적인 연구가 시행되어 CCLF가 동반된 경우 다른 수술 방법의 유용성에 대해 증명하는 것이 필요할 것이다.

경추 전방 전위증이 CCLF군에서 더 자주 관찰되었다. 기존의 연구에서 황색인대 비굴이 경추의 불안정성, 전방 전위증과 연관이 있다는 것이 보고된 바 있다.[11,13,15] 해당 연구에서는 또한, 황색 인대의 신연이 보상할 수 없는 정도의 분절 불안정성이 발생하게 되면 황색인대가 비후될 수 있다는 점을 제기하였다.[13,15] 따라서 CCLF와 전방전위증은 서로 연관성이 있을 것으로 생각된다. 하지만 다중 회귀 분석에서 JOA score는 CCLF 단계와만 유의한 연관성을 보였고, 전방전위증과는 유의한 관계를 보이지 않았기 때문에 신경학적 회복과 관련이 있는 것은 전방전위증이 아니라 CCLF 단계일 것으로 평가된다.

CCLF군 내의 아그룹 분석상에서, 비만이 ACDF수술 이후에 JOA score 회복을 보이지 못하는 것과의 연관성을 보였다. 기존의 연구들에서 높은 BMI는 수술 후 합병증 및 기능 회복의 악화와 연관이 있다는 점이 보고된 바 있다.[31,36,37] 또한 비만은 경추 척수증 수술 이후에 더 열등한 SF-36점수를 보인다는 결과 또한 제기되었다. [36,37] 하지만 Koo등은 척추 수술 후 결과와 BMI등은 상관 관계가 없다고 발표한 바 있어 현재까지의 문헌에는 논란이 있는 상태이다.[38] 본 연구의 아그룹 분석 상에서도 비만과 CCLF가 동반되었을 때 열등한 결과로 이어질 수 있는 가능성이 제기되지만 CCLF군 내에 속한 환자 수가 적기 때문에 선택 편향의 위험성이 있으며, 이에 대해서는 추가적인 확인이 필요할 것으로 보인다.

CCLF군에서 수술 후 자기공명영상 검사를 시행한 27명의 환자 중 10명(35.7%)의 환자는 수술 후에도 여전히 CCLF 2단계로 평가되었으나 나머지 17명(62.9%)의 환자는 수술 후 CCLF 단계의 호전을 보였다. 추간판 높이와 분절 전만은 수술 후 황색인대 비후 혹은 좌굴과 연관이 있을 수 있는 요인으로 기존의 문헌에서 보고된

바 있다.[11,16] 증가된 분절 전만은 척추 전방의 추간판 높이는 증가 시키지만 후방의 극돌기간 거리를 감소 시키게 되며 이는 황색인대의 좌굴을 유발하여 척수 압박을 심화 시킬 수 있다는 것이다.[11] 반대로 분절 전만의 증가 없이 추간판 높이를 증가시킬 수 있다면 이는 극돌기간 거리를 함께 증가시킴으로 인하여 CCLF의 악화를 방지할 수 있을 것으로 생각된다.[11,16] 본 연구의 결과에서는 수술 후 분절 전만의 증가 및 추간판 높이의 증가가 JOA score의 변화와 연관 관계를 보이지는 않았다. 적절한 케이지의 높이 및 위치, 분절 전만의 형성, 추간판 높이의 변화 유도가 CCLF의 악화를 방지할 수 있을 가능성이 있겠으며, 이러한 수술 술기에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

본 연구에서는 모든 환자들이 수술 후 자기공명영상 검사를 시행하지 않았기 때문에 CCLF의 단계 변화에 따른 세부 분석을 시행할 수가 없었다는 제한점이 있다. 수술 후 전후 자기공명영상 검사가 모두 있는 환자들만을 대상으로 추후 연구를 시행한다면 CCLF의 단계 변화에 따라 환자 군을 분류할 수 있고, 이를 통하여 CCLF의 단계가 호전 혹은 악화를 보이는 현상과 수술 관련 인자와의 연관성을 분석할 수 있을 것으로 보인다. 이러한 추시 연구가 필요한 이유는 CCLF가 있을 때 그 적용의 주의가 필요하더라도 ACDF가 가지는 장점이 뚜렷하기 때문이다.[1] ACDF 수술은 후방 수술을 시행하는 것에 비해 수술 후 목 통증을 적게 남길 수 있으며, 전방 압박 구조물이 큰 경우에도 양호한 기능의 회복을 가져올 수 있다. 따라서 CCLF가 있을 때 ACDF 수술을 통하여 CCLF의 간접 감압도 유도할 수 있는 수술 술기가 규명된다면, 더 효율적이고 안전하게 ACDF 수술을 시행할 수 있게 될 것이다.

본 연구에서는 황색인대 두께에 대한 직접적인 측정을 시행하지는 않았으며, 단계별 분류를 통하여 연구를 수행하였다. 기존의 연구에서 황색인대의 두께는 1.4-2.1mm가량으로 매우 얇으며, 이는 정확한 두께 측정을 어렵게 하는 요인이다.[12,16] Choi등의 연구에서는 황색인대 두께의 변화를 평가하는데 있어서 0.1mm의 절삭값을 사용하여 연구를 진행한 바 있는데, 이러한 작은 절삭값은 측정 오차의 우려를 증가시킬

수 있는 부분이다.[16] 따라서 직접적인 두께의 측정 및 변화를 결과값으로 연구를 진행하는 것 보다 단계를 분류하여 수행하는 것이 측정 오차 및 편향을 줄일 수 있는 방법으로 사료되어 해당 연구 방법을 선택하였다. 본 연구에서 사용된 CCLF의 평가 단계는 기존에 사용된 바가 없는 방법으로 사용의 합리성에 있어서는 추가적인 평가가 필요할 것으로 생각된다. 하지만 본 연구에서 사용된 CCLF 단계 분류 법은 그 적용이 쉽고 직관적이며, 측정자간 신뢰도는 Kappa계수 0.783으로 높은 상태이다. 따라서 직접적인 두께 측정 방법에 비해 향후 연구에서 쉽게 적용될 가능성이 높을 것으로 사료된다.

본 연구에는 몇 가지 제한점이 있다. 첫째로, 자기공명영상 검사는 중립위에서만 시행이 되었고, 굴곡위나 신전위에서 시행하는 동적 자기공명영상 검사는 시행하지 않았다. 많은 기존의 연구에서 CCLF의 자세에 따라 변화하는 동적 특성에 대해 보고한 바 잇으며, 신전 위에서 시행한 자기공명영상 검사는 CCLF에 대해서 추가적인 정보를 제공하여 주었을 가능성이 있다.[15,33] 많은 기존 연구에서 동적 자기공명영상 검사의 유용성에 대해서 보고한 바가 있다. Hayashi등은 목의 신전에 따른 동적 척수 압박이 악화되는 경우가 경추 5-6번 분절에서 가장 흔하게 관찰되며, 이로인하여 중립위 자기공명영상 검사 상에서 5.3%에서 척수 압박이 관찰되던 것이 동적 자긱공명영상 검사를 하였을 때 9.9%로 증가하였다고 기술하였다.[32,33] 또한 해당 연구에서 시행한 다변량 로지스틱 회귀 분석 상에서는 추간판의 퇴행성 변화, 분절 후만, 척수 – 신경관 비율의 부조화 등이 동적 척수 압박의 위험성을 높이는 인자라고 보고한 바 있다.[32] 하지만, 동적 자기공명영상 검사는 가용하지 않은 병원이 많으며 대부분의 의료 기관에서 중립위에서 시행하는 자기공명영상 검사를 표준으로 하고 있다. 따라서 중립위에서 시행한 자기공명영상 검사를 바탕으로 진행한 본 연구의 결과가 일반적인 진료 현장에서 더 폭 넓게 적용될 수 있을 것으로 보인다. 두번째로, 본 연구는 ACDF외에 다른 수술 방법의 CCLF에 대한 효용성을 밝히는 것이 제한적이다. 세번째로, 수술 후 자기공명영상 검사 결과는 본 연구에서 주된 평가 대상이 아니었으며, 이는

수술 후 자기공명영상 검사를 시행한 환자들의 수가 제한적이 었기 때문이다. 수술 후 자기공명영상 검사 결과를 바탕으로 CCLF의 형태가 실제로 ACDF 시행 이후에 어떻게 변화하는지에 대한 추가적인 연구가 수행될 필요가 있겠다.[16] 네 번째로, 본 연구는 단분절 ACDF가 아닌 다분절 ACDF 환자를 모두 포함하였다. CCLF와 ACDF 결과의 연관성은 단분절 ACDF 환자들만을 대상으로 하였을 때 더 명확하게 밝혀질 가능성이 있겠다.

결론

CCLF 2 단계가 동반된 경우 시행되는 ACDF 수술 이후의 JOA score 호전은 CCLF 1 단계 혹은 0 단계가 있는 경우에 비해서 열등하다. 또한 CCLF 2 단계는 JOA score 점수 회복율과 유의한 연관성을 나타냈다. ACDF 수술은 후방의 황색인대 비후 및 좌굴을 효과적으로 해결할 수 있는 수술 방법이 되지 못하며, 후방 척수 압박이 동반되는 경우에 있어서 그 적용이 제한된다.

References

1. Choi SH, Kang CN. Degenerative Cervical Myelopathy: Pathophysiology and Current Treatment Strategies. *Asian Spine J*. Oct 2020;14(5):710-720. doi:10.31616/asj.2020.0490

2. Iwasaki M, Okuda S, Miyauchi A, et al. Surgical strategy for cervical myelopathy due to ossification of the posterior longitudinal ligament: Part 2: Advantages of anterior decompression and fusion over laminoplasty. *Spine (Phila Pa 1976)*. Mar 15 2007;32(6):654-60. doi:10.1097/01.brs.0000257566.91177.cb

3. Park S, Lee DH, Lee CS, Hwang CJ, Yang JJ, Cho JH. Anterior Decompression and Fusion for the Treatment of Cervical Myelopathy Caused by Ossification of the Posterior Longitudinal Ligament: A Narrative Review. *Asian Spine J*. Jan 17 2023;doi:10.31616/asj.2022.0003

4. Kim MW, Kang CN, Choi SH. Update of the Natural History, Pathophysiology, and Treatment Strategies of Degenerative Cervical Myelopathy: A Narrative Review. *Asian Spine J*. Feb 2023;17(1):213-221. doi:10.31616/asj.2022.0440

5. Iwasaki M, Okuda S, Miyauchi A, et al. Surgical strategy for cervical myelopathy due to ossification of the posterior longitudinal ligament: Part 1: Clinical results and limitations of laminoplasty. *Spine (Phila Pa 1976)*. Mar 15 2007;32(6):647-53. doi:10.1097/01.brs.0000257560.91147.86

6. Denaro V, Longo UG, Berton A, Salvatore G, Denaro L. Favourable outcome of posterior decompression and stabilization in lordosis for cervical spondylotic myelopathy: the spinal cord "back shift" concept. *Eur Spine J*. Nov 2015;24 Suppl 7:826-31. doi:10.1007/s00586-015-4298-y

7. Kim B, Yoon DH, Shin HC, et al. Surgical outcome and prognostic factors of anterior decompression and fusion for cervical compressive myelopathy due to ossification of the posterior longitudinal ligament. *Spine J*. May 1 2015;15(5):875-84. doi:10.1016/j.spinee.2015.01.028

8. Kumar V, Patel S, Sharma S, Kumar R, Kaur R. Fifty Years of Cervical Myelopathy Research: Results from a Bibliometric Analysis. *Asian Spine J*. Dec 2022;16(6):983-994. doi:10.31616/asj.2021.0239

9. Shen FH, Samartzis D, Khanna N, Goldberg EJ, An HS. Comparison of clinical and

radiographic outcome in instrumented anterior cervical discectomy and fusion with or without direct uncovertebral joint decompression. *Spine J*. Nov-Dec 2004;4(6):629-35. doi:10.1016/j.spinee.2004.04.009

10. Fehlings MG, Tetreault LA, Riew KD, et al. A Clinical Practice Guideline for the Management of Patients With Degenerative Cervical Myelopathy: Recommendations for Patients With Mild, Moderate, and Severe Disease and Nonmyelopathic Patients With Evidence of Cord Compression. *Global Spine J*. Sep 2017;7(3 Suppl):70S-83S. doi:10.1177/2192568217701914

11. Taghvaei M, Meybodi KT, Zeinalizadeh M. Ligamentum Flavum Buckling Causing Immediate Post-Operative Neurological Deterioration After an Anterior Cervical Discectomy: Case Report. *Turk Neurosurg*. 2018;28(4):678-681. doi:10.5137/1019-5149.JTN.17403-16.1

12. Jeong HW, Yi J, Lee S, et al. Prognostic value of cervical ligamentum flavum thickness as a morphological parameter to predict cervical stenosis. *Medicine (Baltimore)*. Aug 27 2021;100(34):e27084. doi:10.1097/MD.0000000000027084

13. Altinkaya N, Yildirim T, Demir S, Alkan O, Sarica FB. Factors associated with the thickness of the ligamentum flavum: is ligamentum flavum thickening due to hypertrophy or buckling? *Spine (Phila Pa 1976)*. Jul 15 2011;36(16):E1093-7. doi:10.1097/BRS.0b013e318203e2b5

14. Zhong G, Buser Z, Lao L, Yin R, Wang JC. Kinematic relationship between missed ligamentum flavum bulge and degenerative factors in the cervical spine. *Spine J*. Oct 1 2015;15(10):2216-21. doi:10.1016/j.spinee.2015.06.048

15. Kumar Varma Kalidindi K, Sharma JK, Vishwakarma G, Duggi S, Chhabra HS. Ligamentum Flavum Buckling vs Hypertrophy in Cervical Myelopathy Using Dynamic Imaging: Are Instability and Loss of Disc Height the Culprits? *Int J Spine Surg*. Apr 2022;16(2):300-308. doi:10.14444/8221

16. Choi BW, Choi MS, Chang H. Radiological Assessment of the Effects of Anterior Cervical Discectomy and Fusion on Distraction of the Posterior Ligamentum Flavum in Patients with Degenerative Cervical Spines. *Clin Orthop Surg*. Dec 2021;13(4):499-504. doi:10.4055/cios20262

17. Lin GX, Akbary K, Kotheeranurak V, et al. Clinical and Radiologic Outcomes of Direct Versus Indirect Decompression with Lumbar Interbody Fusion: A Matched-Pair Comparison Analysis. *World Neurosurg*. Nov 2018;119:e898-e909. doi:10.1016/j.wneu.2018.08.003

18. Hayama S, Nakano A, Nakaya Y, et al. The Evaluation of Indirect Neural Decompression

After Lateral Lumbar Interbody Fusion Using Intraoperative Computed Tomography Myelogram. *World Neurosurg*. Dec 2018;120:e710-e718. doi:10.1016/j.wneu.2018.08.146

19. Liang J, Hu J, Chen C, Yin H, Dong F. Risk factors for predicting increased surgical drain output in patients after anterior cervical corpectomy and fusion. *J Orthop Surg Res*. Dec 28 2017;12(1):196. doi:10.1186/s13018-017-0698-5

20. Uchida K, Nakajima H, Sato R, et al. Cervical spondylotic myelopathy associated with kyphosis or sagittal sigmoid alignment: outcome after anterior or posterior decompression. *J Neurosurg Spine*. Nov 2009;11(5):521-8. doi:10.3171/2009.2.SPINE08385

21. Nakashima H, Imagama S, Yoshii T, et al. Factors Associated with Loss of Cervical Lordosis after Laminoplasty for Patients with Cervical Ossification of the Posterior Longitudinal Ligament: Data from a Prospective Multicenter Study. *Spine (Phila Pa 1976)*. May 5 2023;doi:10.1097/BRS.0000000000004706

22. Lee DH, Park S, Lee WS, et al. Vertebral Body Sliding Osteotomy for Cervical Myelopathy With Rigid Kyphosis. *Neurospine*. Sep 2020;17(3):640-647. doi:10.14245/ns.2040482.241

23. Kimura A, Shiraishi Y, Inoue H, Endo T, Takeshita K. Predictors of Persistent Axial Neck Pain After Cervical Laminoplasty. *Spine (Phila Pa 1976)*. Jan 1 2018;43(1):10-15. doi:10.1097/BRS.0000000000002267

24. Lee DH, Lee SK, Cho JH, et al. Efficacy and safety of oblique posterior endplate resection for wider decompression (trumpet-shaped decompression) during anterior cervical discectomy and fusion. *J Neurosurg Spine*. Feb 1 2023;38(2):157-164. doi:10.3171/2022.7.SPINE22614

25. Park S, Lee DH, Hwang S, et al. Feasibility of local bone dust as a graft material in anterior cervical discectomy and fusion. *J Neurosurg Spine*. Jun 7 2019:1-6. doi:10.3171/2019.3.SPINE181416

26. Ames CP, Blondel B, Scheer JK, et al. Cervical radiographical alignment: comprehensive assessment techniques and potential importance in cervical myelopathy. *Spine (Phila Pa 1976)*. Oct 15 2013;38(22 Suppl 1):S149-60. doi:10.1097/BRS.0b013e3182a7f449

27. Lee DH, Park S, Kim DG, et al. Cervical spine lateral radiograph versus whole spine lateral radiograph: A retrospective comparative study to identify a better modality to assess cervical sagittal alignment. *Medicine (Baltimore)*. May 28 2021;100(21):e25987. doi:10.1097/MD.0000000000025987

28. Yukawa Y, Kato F, Ito K, et al. Postoperative changes in spinal cord signal intensity in patients

with cervical compression myelopathy: comparison between preoperative and postoperative magnetic resonance images. *J Neurosurg Spine*. Jun 2008;8(6):524-8. doi:10.3171/SPI/2008/8/6/524

29. Stull JD, Goyal DKC, Mangan JJ, et al. The Outcomes of Patients With Neck Pain Following ACDF: A Comparison of Patients With Radiculopathy, Myelopathy, or Mixed Symptomatology. *Spine (Phila Pa 1976)*. Nov 1 2020;45(21):1485-1490. doi:10.1097/BRS.0000000000003613

30. Yanez Touzet A, Bhatti A, Dohle E, et al. Clinical outcome measures and their evidence base in degenerative cervical myelopathy: a systematic review to inform a core measurement set (AO Spine RECODE-DCM). *BMJ Open*. Jan 19 2022;12(1):e057650. doi:10.1136/bmjopen-2021-057650

31. Su BW, Tadepalli V, Kamalapathy PN, Shimer A. Prognostic Factors Impacting Surgical Outcomes in Patients With Cervical Spondylotic Myelopathy. *Clin Spine Surg*. Dec 1 2022;35(10):418-421. doi:10.1097/BSD.0000000000001404

32. Hayashi T, Wang JC, Suzuki A, et al. Risk factors for missed dynamic canal stenosis in the cervical spine. *Spine (Phila Pa 1976)*. May 1 2014;39(10):812-9. doi:10.1097/BRS.0000000000000289

33. Ruangchainikom M, Daubs MD, Suzuki A, et al. Effect of cervical kyphotic deformity type on the motion characteristics and dynamic spinal cord compression. *Spine (Phila Pa 1976)*. May 20 2014;39(12):932-8. doi:10.1097/BRS.0000000000000330

34. Yang JJ, Park S, Kim HJ, Yoon JY. Segmental Height Decrease Adversely Affects Foraminal Height and Cervical Lordosis, But Not Clinical Outcome After Anterior Cervical Discectomy and Fusion Using Allografts. *World Neurosurg*. Oct 2021;154:e555-e565. doi:10.1016/j.wneu.2021.07.088

35. Byvaltsev V, Polkin R, Kalinin A, et al. Laminoplasty versus Laminectomy in the Treatment of Primary Spinal Cord Tumors in Adult Patients: A Systematic Review and Meta-analysis of Observational Studies. *Asian Spine J*. Jan 31 2023;doi:10.31616/asj.2022.0184

36. Jackson KL, 2nd, Devine JG. The Effects of Obesity on Spine Surgery: A Systematic Review of the Literature. *Global Spine J*. Jun 2016;6(4):394-400. doi:10.1055/s-0035-1570750

37. Wilson JR, Tetreault LA, Schroeder G, et al. Impact of Elevated Body Mass Index and Obesity on Long-term Surgical Outcomes for Patients With Degenerative Cervical Myelopathy: Analysis of a Combined Prospective Dataset. *Spine (Phila Pa 1976)*. Feb 2017;42(3):195-201. doi:10.1097/BRS.0000000000001859

38. Koo AB, Elsamadicy AA, Sarkozy M, et al. Independent Association of Obesity and

Nonroutine Discharge Disposition After Elective Anterior Cervical Discectomy and Fusion for Cervical Spondylotic Myelopathy. *World Neurosurg*. Jul 2021;151:e950-e960. doi:10.1016/j.wneu.2021.05.022

Figures

Figure 1. Patient selection process ACDF, anterior cervical discectomy, and fusion; ADR, artificial disc replacement; VBSO, vertebral body sliding osteotomy; n, numbers; CCLF, cord compression by ligamentum flavum

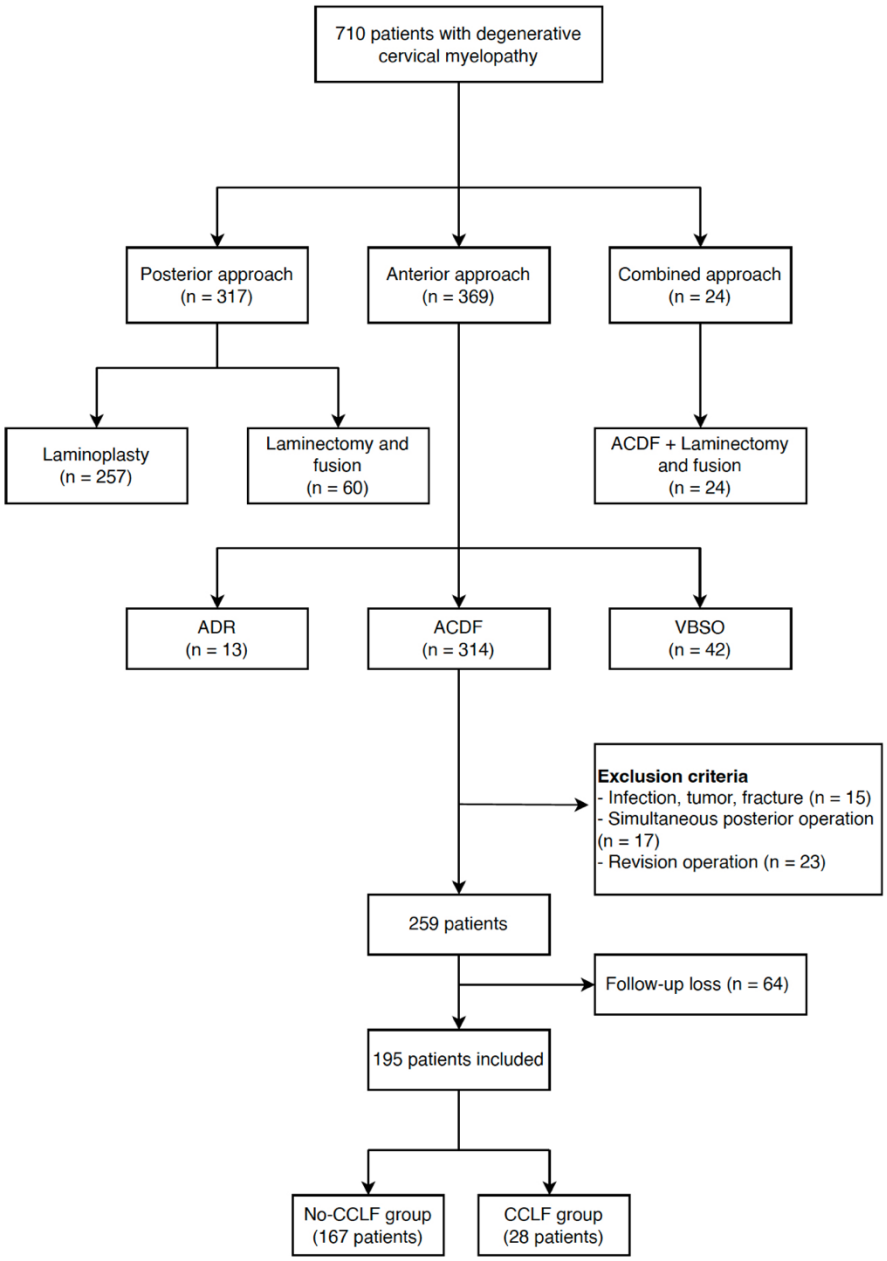

Figure 2. Cord compression by ligamentum flavum grade (A) Grade 0, no ligamentum flavum buckling or hypertrophy. Despite cord compression, cerebrospinal fluid (CSF) space can be seen at the posterior aspect of spinal cord. **(B)** Grade 1, mild ligamentum flavum buckling. CSF space posterior to spinal cord is obliterated. However, posterior line of spinal cord can be seen as a smooth line. **(C)** Grade 2, ligamentum flavum buckling and hypertrophy. Spinal cord is compressed by ligamentum flavum and indentation of posterior margin of cord is identified.

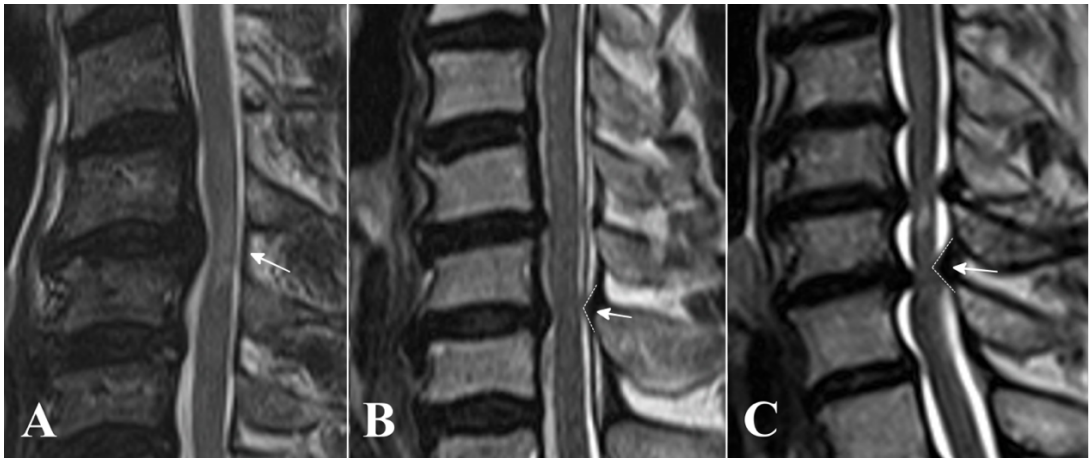

Figure 3. Radiographic assessment (A) C2-C7 lordosis was measured as Cobb angle between the lower endplate of C2 and C7 (a). C2-C7 sagittal vertical axis (SVA) was defined as the distance from the posterosuperior corner of C7 and the vertical line from the center of the C2 body (b). Segmental lordosis was measured at the index level by the angle between the lines passing through the upper endplate of the upper vertebra and the lower endplate of the lower vertebra (c). **(B)** Disc height was measured in sagittal CT image targeting the midline by the following method. First, a bisecting line was drawn through the centers of A-B and A'-B'. The sum of the shortest distances from the midpoint of the upper and lower endplates to the bisecting line (a + b) was recorded as disc height. **(C)** Canal width was measured at a level without stenosis as a length between the anterior and posterior margin of the spinal canal measured in a sagittal T2 MRI targeting the midline (dashed line).

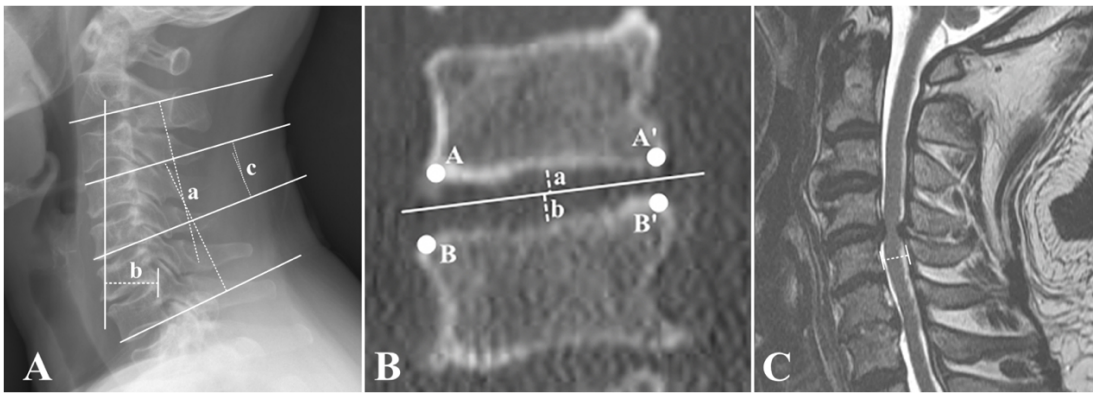

Figure 4. Illustrative case A 68-year-old male presented with hand clumsiness and tingling sensation in the upper extremity. His preoperative JOA score was 16. (A) Sagittal T2 MRI demonstrates cord compression at C4-5 levels attributed to soft disc herniation and grade 2 CCLF. (B) Preoperative Axial T2 MRI at C4-5 level also shows significant cord compression. (C) ACDF C4-5 was performed for decompression. (D) Postoperative sagittal T2 MRI shows successful anterior spinal cord margin restoration by removing anterior compressive pathologies. However, ligamentum flavum buckling at the posterior aspect of the spinal cord remains. (E) The spinal cord is not sufficiently decompressed in axial T2 MRI despite discectomy since CCLF limits the space available for the spinal cord. JOA score at postoperative 2 years was 16, which did not change compared to preoperative assessment.

Tables

Table 1. Baseline patient characteristics

Variables	No-CCLF group (n = 167)	CCLF group (n = 28)	P value
Age	62.2±10.5	63.4±8.1	0.534
Sex (M:F)	96:71	16:12	1.000
BMI (kg/m^2)	25.0±2.4	25.3±4.6	0.709
HTN	53 (31.7%)	15 (53.6%)	0.281
DM	22 (13.2%)	6 (21.4%)	0.250
Smoking status	35 (21.0%)	4 (14.3%)	0.610
Combined OPLL	23 (13.8%)	5 (17.8%)	0.576
Preoperative CSC grade			
0	61 (36.5%)	12 (42.9%)	0.622
1	70 (41.9%)	9 (32.1%)	
2	36 (21.6%)	7 (25/0%)	
Number of levels fused	1.9±0.8	2.0±0.7	0.634
Follow-up period	57.5±33.5	64.6±33.4	0.298

CCLF, cord compression by ligamentum flavum; M, male; F, female; BMI, body mass index; HTN, hypertension; DM, diabetes mellitus; OPLL, ossification of the posterior longitudinal ligament; CSC, cord signal change

Categorial variables were analyzed using the chi-square test

Continuous variables were analyzed using the Student's t-test

Table 2. Radiographic results

	Variables	No-CCLF group	CCLF group	P value
Preoperative	C2-C7 lordosis	9.5±0.1	11.0±10.3	0.415
	C2-C7 SVA	20.6±11.1	24.5±13.1	0.097
	Segmental lordosis	2.0±3.6	3.4±5.0	0.087
	Disc height	4.3±0.9	4.3±0.8	0.957
	Canal width	9.8±1.1	9.6±1.2	0.456
	Spondylolisthesis	9 (5.4%)	8 (28.6%)	0.001*
Postoperative 3 months	C2-C7 lordosis	13.9±8.5	12.2±7.0	0.182
	C2-C7 SVA	18.2±9.3	22.3±9.8	0.135
	Segmental lordosis	4.9±4.2	5.1±2.7	0.827
	Disc height	6.8±0.6	6.9±0.9	0.167
Postoperative 2 years	C2-C7 lordosis	13.6±7.7	13.2±6.7	0.747
	C2-C7 SVA	18.1±9.8	20.6±9.5	0.141
	Segmental lordosis	4.7±3.3	4.3±3.0	0.399
	Disc height	5.8±0.7	6.1±0.7	0.072

CCLF, cord compression by ligamentum flavum; SVA, sagittal vertical axis

Categorial variables were analyzed using chi-square test

Continuous variables were analyzed using Student’s t-test

Table 3. Patient reported outcome measures

		no-CCLF group	CCLF group	P value
Neck pain VAS	Preop	4.0±2.5	4.1±2.4	0.435
	Postop 3M	1.8±2.0	1.7±2.4	0.883
	Postop 2Y	1.9±2.2	2.2±2.9	0.556
Arm pain VAS	Preop	4.7±2.7	5.2±1.8	0.521
	Postop 3M	2.5±2.7	2.3±2.6	0.691
	Postop 2Y	2.8±2.8	3.5±3.3	0.087
JOA score	Preop	14.1±2.3	14.0±1.9	0.822
	Postop 3M	15.2±2.0	14.3±2.4	0.037*
	Postop 2Y	15.2±2.0	13.8±2.6	0.001*
JOA recovery rate	Postop 3M	52.6±80.5	34.9±62.1	0.287
	Postop 2Y	56.4±71.4	25.6±86.9	0.042*

CCLF, cord compression by ligamentum flavum; M, months; Y, years; VAS, visual analogue scale; JOA, Japanese Orthopedic Association

* $P < 0.05$

Table 4. Multiple regression analysis demonstrating factors associated with JOA recovery rate

Variables	Standardized beta coefficient	95% confidence interval		t	P value
		Lower	Upper		
CCLF grade 2	-0.155	-64.417	-0.862	-2.027	0.044*
Spondylolisthesis	-0.019	-44.221	34.318	-0.249	0.804

CCLF, cord compression by ligamentum flavum

Table 5. Logistic regression analysis demonstrating factors associated with JOA recovery rate of >50%

Variables	Odds ratio	95% confidence interval	P value
Age	0.998	0.970 - 1.028	0.903
Sex	1.092	0.595 - 2.005	0.776
BMI	0.932	0.854 - 1.016	0.111
HTN	0.670	0.350 - 1.283	0.227
DM	1.245	0.533 - 2.913	0.613
Smoking status	1.111	0.518 - 2.382	0.787
Number of levels fused	1.347	0.903 - 2.009	0.144
CSC grade	1.022	0.692 – 1.509	0.915
CCLF grade 2	2.719	1.120 – 6.601	0.027*
Segmental height (preop)	1.366	0.585 – 3.189	0.470
C2-C7 lordosis (preop)	1.004	0.971 - 1.038	0.807
C2-C7 SVA (preop)	1.002	0.976 - 1.029	0.862
Segmental lordosis (preop)	1.035	0.955 - 1.121	0.400
Canal width	1.082	0.834 - 1.403	0.555
Spondylolisthesis	1.770	0.587 - 5.334	0.310
Segmental height (postop 3M)	1.373	0.875 – 2.155	0.168
C2-C7 lordosis (postop 3M)	1.011	0.918 – 1.113	0.826
C2-C7 SVA (postop 3M)	1.046	0.918 – 1.085	0.345
Segmental lordosis (postop 3M)	0.826	0.918 – 1.113	0.826
Segmental height (postop 2Y)	1.440	0.825 – 2.205	0.215
C2-C7 lordosis (postop 2Y)	0.992	0.947 – 1.040	0.745
C2-C7 SVA (postop 2Y)	1.027	0.991 – 1.064	0.142
Segmental lordosis (postop 2Y)	0.955	0.858 – 1.062	0.397

CCLF, cord compression by ligamentum flavum; BMI, body mass index; HTN, hypertension; DM, diabetes mellitus; CSC, cord signal change; SVA, sagittal vertical axis; M, months; Y, years

Table 6. Subgroup analysis within CCLF group comparing patients who demonstrated JOA score improvement with patients who did not improved

Variables	Improvement (n = 14)	No Improvement (n = 14)	p value
Age	65.4±7.3	67.1±9.1	0.603
Sex (M : F)	7:7	9:5	0.704
BMI (kg/m^2)	22.9±2.8	27.6±5.0	0.005*
HTN	7 (50.0%)	8 (57.1%)	0.704
DM	4 (28.6%)	2 (14.3%)	0.648
Smoking status	2 (14.3%)	2 (14.3%)	1.000
Number of levels fused	2.1±0.5	2.2±0.8	0.784
Segmental height (preop)	4.4±1.2	4.2±0.7	0.807
C2-C7 lordosis (preop)	11.1±11.1	11.0±9.7	0.986
C2-C7 SVA (preop)	24.1±15.7	24.9±10.5	0.888
Segmental lordosis (preop)	3.4±3.8	3.4±6.1	0.971
Canal width	9.6±1.1	9.6±1.4	0.881
Spondylolisthesis	5 (35.7%)	3 (21.4%)	0.678
Segmental height (postop 3M)	6.6±0.9	7.3±1.0	0.073
C2-C7 lordosis (postop 3M)	13.6±8.5	12.9±13.2	0.869
C2-C7 SVA (postop 3M)	22.0±8.3	30.2±13.1	0.103
Segmental lordosis (postop 3M)	4.3±2.9	4.9±3.3	0.647
Segmental height (postop 2Y)	5.8±0.5	5.8±1.1	0.985
C2-C7 lordosis (postop 2Y)	11.6±9.0	11.7±7.2	0.995
C2-C7 SVA (postop 2Y)	19.9±9.3	25.6±14.2	0.263
Segmental lordosis (postop 2Y)	4.4±4.3	3.9±4.2	0.768

CCLF, cord compression by ligamentum flavum; M, male; F, female; BMI, body mass index; HTN, hypertension; DM, diabetes mellitus; SVA, sagittal vertical axis; M, months; Y, years

Abstract

Study design: Retrospective cohort study

Objective: To clarify whether the outcomes of anterior cervical discectomy and fusion (ACDF) differ according to presence of posterior cord compression by the ligamentum flavum (CCLF).

Summary of background data: Although ACDF effectively removes anterior cord compressive pathologies, including herniated discs and bone spurs, it cannot address posterior compressive pathologies. Whether ACDF could result in favorable outcomes when CCLF is present remains unclear.

Methods: We retrospectively reviewed 195 consecutive patients who had undergone ACDF and had been followed-up for >2 years. CCLF was graded on a scale of 0-2 based on MRI findings. Patients with CCLF grade 2 were classified into the CCLF group, while patients with CCLF grade 0-1 were classified into the no-CCLF group. Patient characteristics, cervical sagittal parameters, neck pain visual analog scale (VAS), arm pain VAS, and Japanese Orthopedic Association (JOA) score were assessed.

Results: One-hundred and sixty-seven patients (85.6%) were included in the no-CCLF group, while the remaining 28 (14.4%) were included in the CCLF group. Among the patients in the CCLF group, 14 (50.0%) achieved clinical improvement, while 14 (50.0%) did not. JOA score significantly improved in the no-CCLF group after the operation ($p<0.001$) but not in the CCLF group ($p=0.642$). JOA score at 3 months ($p=0.037$) and 2 years ($p=0.001$) postoperatively was significantly higher in the no-CCLF group. JOA recovery rate at 2 years postoperatively was also significantly higher in the no-CCLF group ($p=0.042$). Multiple regression analysis showed that CCLF was significantly associated with JOA recovery rate at 2 years postoperatively ($p=0.045$).

Conclusion: ACDF performed in patients with CCLF grade 2 showed inferior JOA score improvement compared to those of patients with CCLF grade 0 or 1. ACDF cannot remove posterior compressive pathology, limiting its applicability when the ligamentum flavum significantly contributes to cord compression.