

Resuscitation

근위축측삭경화증 환자의 심폐소생술 시 적절한 흉부압박 깊이 연구: 후향적 연구

권대영 · 오재훈 · 이희경 · 강형구 · 임태호 · 고벽성 · 조용일 · 김홍중

한양대학교 의과대학 응급의학교실

Proper chest compression depth for cardiopulmonary resuscitation in patients with amyotrophic lateral sclerosis: a retrospective study

Daiyoung Kwon, Jaehoon Oh, Heekyung Lee, Hyunggoo Kang,
Tae Ho Lim, Byuk Sung Ko, Yongil Cho, Hongjung Kim

Department of Emergency Medicine, Hanyang University College of Medicine, Seoul, Korea

Objective: The chest compression depth recommended in the current guidelines for average adult cardiopulmonary resuscitation is approximately 1/4-1/5 depth of the external chest anteroposterior (AP) diameter and at least 50 mm but less than 60 mm. The purpose of this study was to determine the proper compression depth in patients with amyotrophic lateral sclerosis (ALS).

Methods: A retrospective analysis of the chest computed tomography scans obtained between January 2014 and December 2018 was performed, and the chest anatomical parameters, such as external, internal chest, and heart AP diameters, were measured. The primary outcomes were a 1/4 and 1/5 depth of an external chest AP diameter. Based on the values of these parameters, the heart compression fractures (HCF) and over compression depth (OCD) from 40 to 60 mm depths with every 5 mm interval were calculated. All outcomes in the two groups were compared.

Results: Ninety three of 108 ALS and 93 of 17,150 healthy individuals were selected randomly from a database and analyzed. The mean \pm standard deviations of 1/4 and 1/5 depth of the external chest AP diameter in ALS were significantly lower than in healthy individuals (48.57 ± 4.60 mm vs. 53.43 ± 4.93 mm, 38.86 ± 3.68 mm vs. 42.75 ± 3.94 mm, respectively, all $P < 0.001$). The HCF values were similar in the two groups. The number of OCD with 55 and 60 mm in the ALS group were increased (all $P < 0.05$, univariate analysis)

Conclusion: An approximately 50 mm depth of chest compression could be appropriate, but an excessive depth greater than 55 mm is more likely to cause complications for ALS patients.

Keywords: Cardiopulmonary resuscitation; Basic life support; Resuscitation; Chest compression; Amyotrophic lateral sclerosis

서 론

심폐소생술 가이드라인에 따르면 심정지가 발생한 환자의 생존율과 신경학적 예후는 심폐소생술 시 가슴압박의 질과 밀접한 관련이 있다.¹ 적절한 가슴압박 깊이는 고품질

가슴압박의 중요한 요소이며, 여러 개정을 통해 2015년도 심폐소생술 국제 공용 가이드라인에서는 성인 심폐소생술 시에는 50 mm 이상 60 mm 미만, 소아 심폐소생술 시에는 약 50 mm 정도 압박하는 것을 권고하고 있다.^{2,3} 이러한 범위는 일반적인 성인의 흉부 전후 길이의 약 1/4-1/5, 소아의 경우 약 1/3 정도에 해당하는 깊이이다.^{3,4} 하지만 너

책임저자: 오 재 훈

서울특별시 성동구 왕십리로 222-1

한양대학교 의과대학 응급의학교실

Tel: 02-2290-9829, Fax: 02-2290-9280, E-mail: ojjai@hanmail.net

접수일: 2019년 7월 1일, 1차 교정일: 2019년 7월 23일, 게재승인일: 2019년 8월 13일

Capsule Summary

What is already known in the previous study

The chest compression depth is an important factor of high-quality chest compression. Chest compression depth recommended in the current guidelines for an average adult cardiopulmonary resuscitation is approximately 1/4-1/5 depth of external chest anteroposterior diameter and at least 50 mm less than 60 mm.

What is new in the current study

In this study, using chest computed tomography analysis, an approximately 50 mm depth of chest compression could be appropriate, but an excessive depth greater than 55 mm is more likely to cause complications for definite amyotrophic lateral sclerosis patients.

무 깊게 가슴압박을 할 경우에는 흉골 골절, 늑골 골절과 복강 내 장기 손상 등의 다양한 합병증 발생률이 유의하게 증가한다고 보고되어 성인의 경우 가슴압박의 깊이가 60 mm를 넘지 않도록 하고 있다.^{2,5-7}

흉부 전후의 길이를 바탕으로 하는 적절한 가슴압박 깊이의 범위는 심정지 환자의 신체적 특성에 따라 달라질 수 있다. 체질량지수에 따른 비만 환자군은 정상 체중군과 비교하였을 때 좌심실이 위치하는 흉부의 전후 직경이 더 길어서 더 깊은 가슴압박의 깊이가 필요할 수 있다고 하였다.⁸ 또한, 오목 가슴 환자들의 해부학적인 특성을 고려한 연구에서는 정상인에 비해 오목 가슴 환자의 흉부 전후 길이가 짧아서 현재 가이드라인의 가슴압박 깊이는 다소 깊을 수 있음이 보고되었다.⁹ 근위축측삭경화증(amyotrophic lateral sclerosis, ALS)은 루게릭 병 혹은 운동신경질환으로 알려져 있으며, 자발성 근육을 조절하는 신경세포가 사망하여 발생하는 질환이다. ALS 말기에는 목빗근, 사각근 등의 부근육을 포함한 호흡근의 위축과 흡기 시 중요한 역할을 하는 횡격막의 약화로 호흡이 어려워진다.¹⁰⁻¹³ 이로 인해 ALS 환자들은 일반인과 비교하여 흉부 전후 길이가 줄어들며, 심정지가 발생한 경우에 현행의 가이드라인에서 권장하는 가슴압박 깊이는 깊을 수 있다.

현재까지 말기 ALS 환자의 흉부 해부학적 특성을 고려한 가슴압박 깊이의 적절성에 대한 연구는 없었다. 본 연구의 목표는 ALS 환자들의 흉부 해부학적 지표를 측정하고, 이를 바탕으로 ALS 심정지 환자들에게서 적절한 가슴압박의 깊이를 조사하고자 하였다. 이 연구에서는 ALS 환자의 좌심실 최대 직경이 관찰되는 흉부의 전후 길이를 바탕으로 한 “적절한 가슴압박의 깊이는 50-60 mm 보다 얇을 것

이다”를 가설로 하였다.

방 법

1. 연구 대상

저자들은 흉골의 아래 1/2 부위에서 흉곽과 심장의 해부학적 지표를 측정하기 위하여 의무기록과 흉부 전산화단층촬영 검사(computed tomography, CT)를 이용하여 후향적 관찰 연구로 진행하였다. 본 연구는 ALS 환자 전문 센터가 있으며, 응급실에 연간 약 40,000명의 환자가 내원하는 일개 3차 대학병원에서 2019년 5월부터 2019년 6월까지 진행되었다. 연구 시작 전에 본원의 임상시험심사위원회(Institutional Review Board, IRB)의 연구 승인과 동의서 면제를 받았다(HYUH-2019-05-066).

2014년 1월부터 2018년 12월까지 일개 3차 대학병원 응급실에 내원한 ALS 환자 및 건강검진센터에서 흉부 CT 촬영을 시행한 환자를 대상으로 하였다. Definite ALS의 기준은 EI Escorial Criteria를 바탕으로 하였다.¹⁴ 포함 기준은 상기 환자들 중 40세 이상, 80세 미만, 응급실 혹은 건강검진센터에서 흉부 CT를 촬영한 환자이며, 판독 상 해부학적 이상소견이 있거나 심장의 위치를 변하게 할 수 있는 병변(기흉이나 무기폐, 농양, 암, 외상 등)을 가진 환자는 제외하였다. ALS 환자군과 일반인 정상 환자군으로 두 군으로 나누어 조사하였으며, 일반인 환자군에서는 무작위 정수 발생기 방법(random integer generator, <http://www.random.org>)을 통해 추출을 하였다.

예비연구에서 ALS 환자 10명의 흉부 CT 영상을 추출하여, 외부 흉부의 전후 길이를 측정하였다. 이 값을 4로 나눈 값의 평균±표준편차(mean±SD)는 47.46±4.24 mm이었다. PASS 16.0.4 소프트웨어 패키지(NCSS, LLC, Kaysville, UT, USA)를 사용하여, 이 값과 성인 심폐소생술 시 가이드라인에서 제시하는 적절한 가슴압박의 깊이인 50-60 mm 값으로 55.00±5.00 mm을 대입(error, 0.05; power, 0.95)하여 얻은 샘플 수는 각 군에서 54명이었다. 20% 중퇴율(dropout rate) 고려한 최소 표본수는 각 군당 68명이었다.

2. 연구 방법 및 자료 수집

본 연구에서는 Somatom Definition Flash (Siemens Healthcare, Forchheim, Germany) 및 Brilliance 64 multi-detector CT scanner (Philips Healthcare, Best, The Netherlands)의 두 종류 CT 장치가 사용되었다. 검사 시의 기기 설정은 120 kVp, 50-80 mA, 1.15 mm/sec table feed, 0.5-sec rotation time, 5 mm slice thick-

ness, 5 mm intervals로 설정하여 진행되었다. 모든 CT 영상들은 digital imaging and communication in medicine 형태로 picture archiving and communication system (PACS, Centricity, GE Healthcare, Milwaukee, WI, USA)에 저장되었다.

대상자들의 성별, 나이, 키, 몸무게, 체질량지수를 기본 특성으로 수집하였고, ALS 환자의 경우 확진 날짜 및 흉부 CT 촬영 날짜를 추가로 수집하였다. PACS에 저장된 흉부 CT 영상들을 가로축(axial), 시상축(sagittal)으로 재구성하여, 각 영상들이 다른 축의 영상들과 자동 교차 연결(cross-linked)이 되도록 하였다. 각각의 영상들은 두 명의 응급의학과 의사인 저자들이 삼차원 이미지 솔루션 프로그램(Rapidia ver. 2.8, Infinitt, Seoul, Korea)을 사용하여 지표들을 측정하였다. 지표를 측정할 때는 각 환자의 흉골 1/2 아래 부위에서 심장이 가장 잘 보이는 곳의 영상을 선택하였으며, 다음과 같은 지표들을 측정하였다. (1) 외부 흉부 전후 길이(external chest anteroposterior [AP] diameter, mm) - 흉골 앞 피부에서부터 등 후면의 피부까지의 수직선, (2) 내부 흉부 전후 길이(internal chest AP diameter, mm) - 흉골의 아랫면부터 척추의 전방중주인대까지의 수직선, (3) 심장 전후 길이(heart AP diame-

ter, mm) - 외부와 내부 흉부 전후 길이를 측정한 같은 선상에서의 심장의 전후 길이.

1차 결과로 흉부 CT 영상에서 측정한 외부 흉부 전후 길이의 1/4, 1/5를 계산하여 평균과 표준편차를 구하였다. 2차 결과로 40-60 mm 범위에서 5 mm 단위마다 가슴압박을 시행하였을 때 심장이 눌리는 정도(heart compression fraction, HCF)와 과도한 가슴압박 깊이(over compression depth, OCD)인 경우를 계산하였다. HCF는 $[\text{proposed depth} - (\text{internal chest AP diameter} - \text{Heart AP diameter})] / \text{heart AP diameter} \times 100^{4,15}$ 로 계산하였으며, OCD의 정의는 internal AP diameter와 proposed depth의 차이가 20 mm 미만인 경우로 가정하고 건수를 측정하였다.¹⁶ 위의 종속 변수들을 ALS 환자군과 일반인군의 두 그룹으로 나누어 각각 비교를 하였다.

3. 통계 분석

모든 데이터를 Excel 스프레드 시트(Excel 2016, Microsoft, Redmond, WA, USA)에 입력하였으며, SPSS Statistics ver. 21.0 KO (IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 사용하여 분석하였다. 연속형 자료는

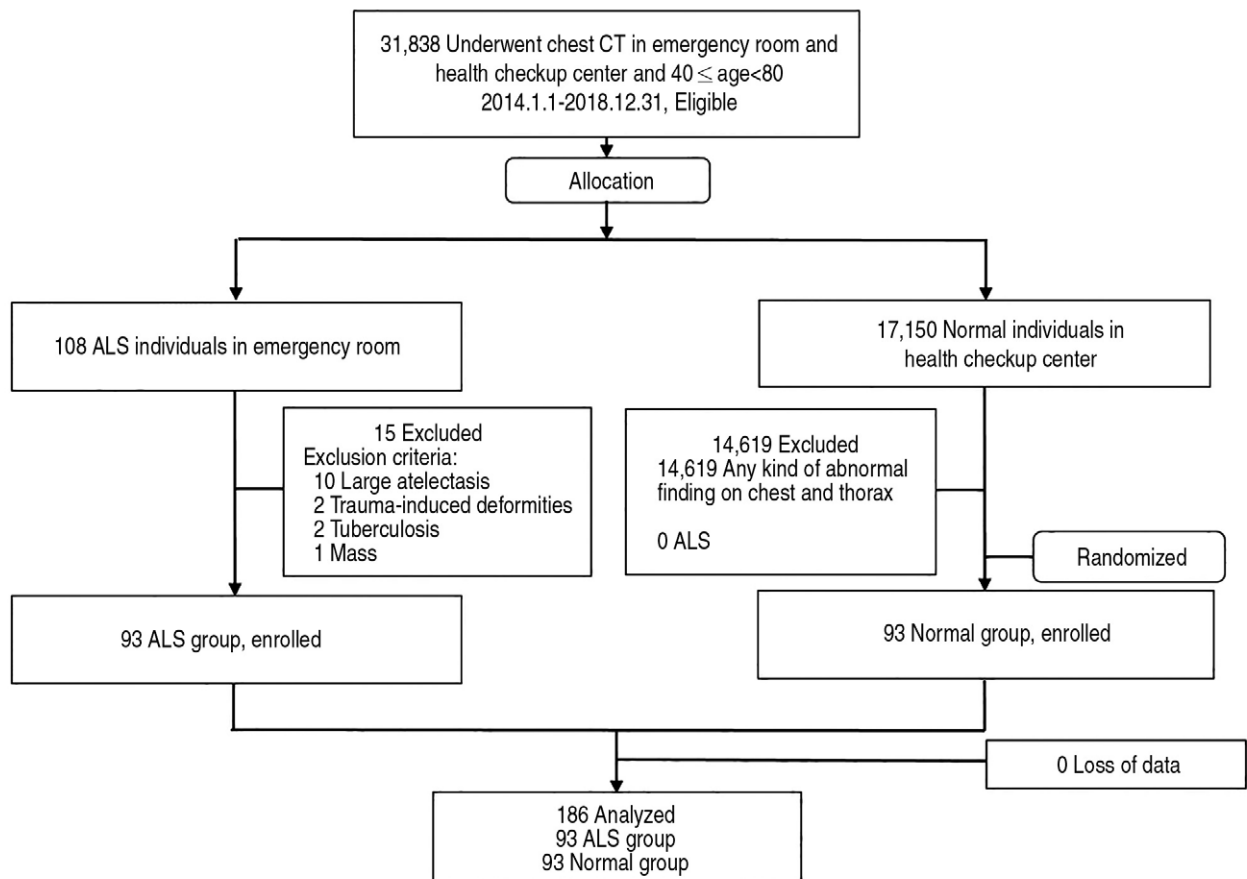


Fig. 1. Flowchart of individuals' enrolment in the study. CT, computed tomography; ALS, amyotrophic lateral sclerosis.

Kolmogorov-Smirnov 법을 통해 정규성 검정을 하였다. 연속형 자료는 정규성 검정을 만족하므로 평균과 표준편차로, 범주형 자료는 빈도(frequency)와 분율(percentage)로 기술하였다. 두 군 간의 비교 시 연속형 자료는 스튜던트 T 검정(Student's t-test)로, 범주형 자료는 카이 제곱 검정(chi-square test) 혹은 피셔 정확성 검정(Fisher exact test)를 사용하여 분석하였다. 결과물에 영향을 주는 주요 변수를 조사하기 위하여 공변량을 반영하는 공분산분석(analysis of covariance, ANCOVA)과 다중 로지스틱 회귀분석(multivariable logistic regression analysis)을 사용하였다. P값이 0.05 미만인 경우를 통계적으로 유의한 것으로 간주하였다.

결 과

2014년 1월부터 2018년 12월까지 응급실 및 건강검진센터에서 흉부 CT 촬영을 시행한 40세 이상 80세 미만의 사람은 총 31,838명이었다. 이 중 응급실에서 흉부 CT를 촬영한 ALS 환자는 108명, 건강검진센터에서 검사한 ALS 환자가 아닌 일반 환자는 17,150명이었다. 이 중 흉곽의 해부학적 이상을 가지거나 심장의 위치를 변하게 할 수 있는 병변 등 제외기준에 해당하는 환자는 각각 ALS 환자군은 15명, 일반인군은 14,619명이었다. 93명의 ALS 환자는 모두 분석하였으며, 일반인군은 2,531명에서 무작위 추출하여 93명을 분석하였다(Fig. 1). 환자들의 일반적

Table 1. Baseline characteristics

	ALS group (n=93)	Normal group (n=93)	P-value
Age (yr)	63.09 ± 9.09	64.25 ± 9.94	0.41
Male sex	54 (58.1)	51 (54.8)	0.77
Height (cm)	164.43 ± 8.06	163.16 ± 9.97	0.34
Weight (kg)	51.15 ± 8.84	58.31 ± 9.95	<0.001*
BMI (kg/m ²)	18.94 ± 3.15	21.80 ± 2.49	<0.001*
Time to CT check-up from diagnosis, day	980.10 ± 710.10	-	-

Values are presented as mean ± standard deviation or number (%).

Categorical variables were tested using chi-square test, and continuous variables were calculated using an independent t-test.

ALS, amyotrophic lateral sclerosis; BMI, body mass index; CT, computed tomography.

* P<0.05, statistical significance.

Table 2. Comparison of chest anatomy parameters using chest CT and heart compression fraction with proposed depth of chest compression between ALS and normal group

	ALS group (n=93)	Normal group (n=93)	P-value	Adjusted P-value ^{a)}
External AP diameter (mm)	194.31 ± 18.41	213.74 ± 19.70	<0.001*	< 0.001*
External chest AP diameter/3	64.77 ± 6.13	71.24 ± 6.56	<0.001*	<0.001*
External chest AP diameter/4	48.57 ± 4.60	53.43 ± 4.93	<0.001*	<0.001*
External chest AP diameter/5	38.86 ± 3.68	42.75 ± 3.94	<0.001*	<0.001*
Internal AP diameter, mm	93.90 ± 14.17	103.06 ± 14.42	<0.001*	0.03*
Heart AP diameter, mm	76.66 ± 11.61	89.80 ± 9.99	<0.001*	<0.001*
Heart compression fraction (%)				
With 40 mm depth	30.48 ± 11.93	30.30 ± 11.61	0.92	-
With 45 mm depth	37.16 ± 12.48	35.93 ± 11.90	0.50	-
With 50 mm depth	43.84 ± 13.11	41.57 ± 12.23	0.23	-
With 55 mm depth	50.52 ± 13.78	47.21 ± 12.57	0.09	0.74
With 60 mm depth	57.20 ± 14.51	52.85 ± 12.94	0.03*	0.52

Values are presented as number (%) or mean ± standard deviation.

Continuous variables were calculated using an independent t-test.

Heart compression fraction is compressed portion of heart by simulated chest compression with propose depth.

CT, computed tomography; ALS, amyotrophic lateral sclerosis; AP, anteroposterior.

* P<0.05 is significant.

^{a)} ANCOVA was performed to adjust for influencing factors (body mass index) and the main factor (ALS) influencing the outcomes (18).

인 특성은 Table 1에 요약되어 있다. 두 군 간에 나이, 성별, 신장의 유의한 차이는 관찰되지 않았다. 하지만 평균 체중은 ALS 환자군에서 51.15 ± 8.84 kg, 일반인군에서 58.31 ± 9.95 kg으로 ALS 환자군에서 더 낮게 나타났으며 ($P < 0.001$), 체질량지수도 유의한 차이를 보이고 있었다 (18.94 ± 3.15 kg/m² vs. 21.80 ± 2.49 kg/m², $P < 0.001$).

흉부 CT 영상 측정을 통한 흉부 해부학적 지표들은 Table 2에 요약되어 있다. 외부 흉부 전후 길이는 ALS 환자군에서 194.31 ± 18.41 mm, 일반인군에서 213.74 ± 19.70 mm로 유의한 차이가 있었고 ($P < 0.001$), 외부 흉부 전후 길이의 1/4 (48.57 ± 4.60 mm vs. 53.43 ± 4.93 mm), 1/5 (38.86 ± 3.6 mm vs. 42.75 ± 3.94 mm) 길이도 유의한 차이를 보이고 있었다 ($P < 0.001$). 내부 흉부 전후 길이 및 심장 전후 길이도 ALS 환자군에서 더 짧게 측정되었다 ($P < 0.001$). 두 군에서 body mass index (BMI)를 공변량으로 넣어 공분산분석을 시행한 결과, 모든 해부학적 지표의 유의한 차이를 보였다 ($P < 0.05$). HCF는 60 mm 압박 시에만 두 군 간의 유의한 차이를 보이고 있었으나 ($57.20 \pm 14.51\%$ vs. $52.85 \pm 12.94\%$, $P = 0.03$), BMI로 공분산분석을 시행하였을 때 유의한 차이를 보이지 않았다 (adjusted $P = 0.52$).

OCD의 건수는 Table 3에 요약되어 있다. 40, 45, 50 mm로 가슴압박했을 때는 두 군 간의 유의한 차이를 보이고 있지 않으나, 55 mm 이상으로 압박했을 경우에는 ALS 환자군이 일반인군에 비해 OCD의 건수가 더 많았다 (6 vs. 0 in 55 mm, $P = 0.01$; 16 vs. 5 in 60 mm, $P = 0.009$). 하지만 BMI 변수를 추가한 다중 로지스틱 회귀분석을 시행하였을 때 유의한 차이를 보이지 않았다 (55 mm에서 $P = 0.99$, 60 mm에서 $P = 0.33$).

고 찰

병원 밖 심정지 환자에서 생존 환자군과 비생존 환자군의 가슴압박 깊이를 비교하였을 때 각각 평균 53.6 mm, 평균 48.8 mm의 유의한 차이를 보이며, 가슴압박의 깊이가 5 mm 더 깊을수록 높은 생존율과 좋은 신경학적 예후를 보였다는 보고가 있다.¹⁷ Stiell 등¹⁸은 2010년 가이드라인에서 제시하는 50 mm 이상의 가슴압박 깊이가 심정지 환자의 예후를 증가시키는지 밝히지는 못했지만, 가슴압박의 깊이가 깊을수록 자발순환율과 생존 퇴원율을 증가시킨다고 보고하였다. 9,136명의 병원 밖 성인 심정지 환자를 분석한 대규모 연구에서는 가슴압박의 깊이가 40 mm에서 55 mm인 경우에 생존율이 가장 높았으며, 60 mm 이상에서는 생존율이 감소된다고 보고하였다.¹⁹ 본 연구에서 일반인군의 외부 흉부 전후 길이 1/5-1/4의 평균은 42.75-53.43 mm이나, ALS 환자군의 경우에는 약 38.86-48.57 mm로 해부학적 깊이가 감소하였다. 저자들의 이전 연구에서 비만 환자군은 정상 체중군보다 외부 흉부 전후 길이가 길었으며, 이는 비만 환자의 경우 복부 내 지방 축적과 횡격막의 긴장도 감소로 인한 것으로 생각하였다.⁸ 본 연구에서 ALS 환자군과 일반인군 사이에 BMI가 차이가 있었으나, 이를 보정한 결과에서도 여전히 흉부 전후 길이의 유의한 차이를 보였다. 이는 ALS 환자군에서 일반인군보다 호흡 근육의 약화가 뚜렷하며, 횡격막의 퇴화와 흉곽 내 장기의 위축으로 인한 결과로 판단된다.¹³ 또한, 외부 흉부 전후 길이는 노인에서 척추 전후만증과 폐기종성 변화로 인하여 노인이 아닌 군보다 길어진다고 보고되었으나,^{20,21} 본 연구에서는 두 군 간에 연령 차이가 없어 이러한 차이를 관찰할 수는 없었다. 즉, 외부 흉부 전후 길이를 바탕으로 추정된 적절한 가슴압박의 깊이는 ALS 환자군에서 약 50 mm 정도이다. 하지만, 본 연구에서 심장과

Table 3. The number of over-compression which is residual space (internal chest AP diameter-heart AP diameter) of <20 mm by simulated chest compression with proposed depth

Proposed depth (mm)	No. of residual space <20 mm (%)		P-value	Adjusted P-value ^{a)}
	ALS (n=93)	Normal (n=93)		
40	1 (1.1)	0	0.50	-
45	1 (1.1)	0	0.50	-
50	4 (4.3)	0	0.06	0.99
55	6 (6.5)	0	0.01*	0.99
60	16 (17.2)	5 (16)	0.009*	0.33

Values are presented as number (%).

Categorical variables were tested using the chi-square test or Fisher exact test.

AP, anteroposterior; ALS, amyotrophic lateral sclerosis.

* $P < 0.05$ is significant.

^{a)} Multivariable logistic analysis was performed to adjust for influencing factors (body mass index) and the main factor (ALS) influencing the outcomes (18).

내부 흉부 전후 길이를 바탕으로 수학적 계산을 통해 산출한 HCF는 BMI를 고려한 경우에 두 군 사이에 차이는 없었다. 즉, 외부 흉부 전후 길이를 바탕으로 한 가슴압박의 적절한 깊이는 다를 수 있으나, 수학적 계산을 통한 경우 차이가 없으므로, 현행 가이드라인에서 권고되는 50 mm 이상의 가슴압박 깊이는 두 군 모두에서 적용될 수 있을 것이다.

Hellevo 등²²은 가슴압박의 깊이가 60 mm를 초과하는 경우에 가슴압박으로 인한 합병증 발생이 유의하게 증가하였다고 보고하였다. 그 중 늑골 골절이 가장 흔하였으며, 심장의 파열, 대혈관 파열 등과 같은 치명적인 합병증도 약 10% 이상 관찰되었다. 흉벽의 두께와 심장 전후 두께를 합할 때 그 값이 평균 20 mm 정도로 측정되며, 잔여 직경을 20 mm 이내로 만드는 가슴압박은 심장의 전벽과 후벽이 맞닿게 되며 심장의 타박상을 유발하여 심각한 심기능 장애를 일으킬 가능성이 높다.^{16,23} 본 연구에서는 ALS 환자군에게 55 mm, 60 mm 깊이로 가슴압박을 하는 시뮬레이션을 시행하였고, 내부 흉부 전후 길이에서 심장 전후 길이를 뺀 잔여 직경이 20 mm 미만인 경우가 93명 중 각각 6, 16명으로 일변량 분석 시 일반인군보다 유의한 증가를 보였다. 하지만, BMI 변수를 추가한 다변량 로지스틱 회귀분석을 하였을 때는 일반인군과 유의한 차이를 보이지는 않았다. BMI가 낮은 ALS 환자군에서는 과도한 가슴압박에 의한 심장 파열 등의 치명적인 합병증 발생이 높을 수 있으므로, 가슴압박이 55 mm를 넘지 않도록 할 필요성이 있다. 이러한 좁은 범위의 가슴압박 깊이를 시행하는 경우에는 시청각적인 가슴압박 피드백 장비를 사용하는 것이 도움이 될 수 있을 것이다.

본 연구에는 여러 가지 한계점들이 있다. 첫째, 일개 병원에 방문한 환자를 대상으로 하였으며, 실제 심정지 환자의 위험 요소인 고혈압, 당뇨 등으로 인한 심근경색, 심부전 환자군들이 포함되어 있지 않다. 둘째, 공분산분석과 다변량로지스틱 회귀분석을 통해 분석하였더라도, 두 군에서 BMI 변수가 차이가 있었다. 성향점수매칭(propensity score matching)을 통해 BMI 변수의 선택 뼈뼉을 줄인 추가 연구가 필요할 것이다. 셋째, 흉부 CT 촬영 시 환자가 양팔을 머리 위로 올리는 자세를 취하기 때문에 실제 심정지 환자의 자세와 다르며, 숨을 들이마신 상태에서 검사가 진행되어 호흡으로 인한 흉곽의 변화가 생길 수 있다. 넷째, 심폐소생술 시 혈류의 메커니즘을 설명하는 이론은 심장을 직접 압박하는 '심장 펌프 이론'과 흉강 내 압력의 변화에 따른 '흉부 펌프이론'의 두 가지가 있지만, 본 연구에서는 심장을 직접 압박하는 이론만 고려하여 HCF를 고려하였다. 다섯째, 심폐소생술 시 가슴압박 깊이에 따른 실제 관상동맥 혈류량 혹은 뇌혈류량의 차이와 생존율 등을 관찰할 것이 아니다. 또한, 실제 심폐소생술 시에 가슴압박에 따른 흉곽과 저항의 변화를 반영하지 못하였으며, 가슴압박

시 두 군 간의 합병증 발생 및 정도의 차이를 알 수 없었다.

결론적으로, ALS 환자의 심정지 시 적절한 가슴압박 깊이의 정도는 현재 성인 심폐소생술 지침에서 권유하는 약 50 mm 깊이가 적절할 것으로 판단된다. 하지만, 55 mm 이상의 깊은 가슴압박은 ALS 환자에게 합병증을 유발할 가능성이 높을 것이다.

ORCID

Daiyoung Kwon (<https://orcid.org/0000-0001-7873-9401>)

Jaehoon Oh (<https://orcid.org/0000-0001-8055-1467>)

Heekyung Lee (<https://orcid.org/0000-0001-5700-3331>)

Hyunggoo Kang (<https://orcid.org/0000-0002-9522-2532>)

Tae Ho Lim (<https://orcid.org/0000-0003-1045-413X>)

Byuk Sung Ko (<https://orcid.org/0000-0002-4212-2255>)

Yongil Cho (<https://orcid.org/0000-0001-5027-6345>)

Hongjung Kim (<https://orcid.org/0000-0003-4003-8612>)

CONFLICT OF INTEREST

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF-2017R1C1B5017116).

REFERENCES

- Perkins GD, Handley AJ, Koster RW, et al. European Resuscitation Council Guidelines for resuscitation 2015: section 2. Adult basic life support and automated external defibrillation. *Resuscitation* 2015;95:81-99.
- Kleinman ME, Brennan EE, Goldberger ZD, et al. Part 5: adult basic life support and cardiopulmonary resuscitation quality: 2015 American Heart Association guidelines update for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care. *Circulation* 2015;132(18 Suppl 2):S414-35.
- Atkins DL, Berger S, Duff JP, et al. Part 11: pediatric basic life support and cardiopulmonary resuscitation quality: 2015 American Heart Association guidelines update for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care. *Circulation* 2015;132(18 Suppl 2):S519-25.

4. Pickard A, Darby M, Soar J. Radiological assessment of the adult chest: implications for chest compressions. *Resuscitation* 2006;71:387-90.
5. Miller AC, Rosati SF, Suffredini AF, Schrumph DS. A systematic review and pooled analysis of CPR-associated cardiovascular and thoracic injuries. *Resuscitation* 2014;85:724-31.
6. Spoomans I, Van Hoorenbeeck K, Balliu L, Jorens PG. Gastric perforation after cardiopulmonary resuscitation: review of the literature. *Resuscitation* 2010;81:272-80.
7. Beydilli H, Balci Y, Erbas M, Acar E, Isik S, Savran B. Liver laceration related to cardiopulmonary resuscitation. *Turk J Emerg Med* 2016;16:77-9.
8. Kwon D, Oh J, Kang H, Lee H, Lee J, Lim TH. Optimal depth for high quality chest compression between and normal weight individuals using computer tomography: a retrospective study. *Clin Exp Emerg Med* 2019;6:S120.
9. Lee KH, Kim KW, Kim EY, et al. Proper compression landmark and depth for cardiopulmonary resuscitation in patients with pectus excavatum: a study using CT. *Emerg Med J* 2015;32:301-3.
10. Neudert C, Oliver D, Wasner M, Borasio GD. The course of the terminal phase in patients with amyotrophic lateral sclerosis. *J Neurol* 2001;248:612-6.
11. Rowland LP, Shneider NA. Amyotrophic lateral sclerosis. *N Engl J Med* 2001;344:1688-700.
12. Lechtzin N, Wiener CM, Shade DM, Clawson L, Diette GB. Spirometry in the supine position improves the detection of diaphragmatic weakness in patients with amyotrophic lateral sclerosis. *Chest* 2002;121:436-42.
13. Nichols NL, Van Dyke J, Nashold L, Satriotomo I, Suzuki M, Mitchell GS. Ventilatory control in ALS. *Respir Physiol Neurobiol* 2013;189:429-37.
14. Brooks BR, Miller RG, Swash M, Munsat TL; World Federation of Neurology Research Group on Motor Neuron Diseases. El Escorial revisited: revised criteria for the diagnosis of amyotrophic lateral sclerosis. *Amyotroph Lateral Scler Other Motor Neuron Disord* 2000;1:293-9.
15. Meyer A, Nadkarni V, Pollock A, et al. Evaluation of the Neonatal Resuscitation Program's recommended chest compression depth using computerized tomography imaging. *Resuscitation* 2010;81:544-8.
16. Lee SH, Kim DH, Kang TS, et al. The uniform chest compression depth of 50 mm or greater recommended by current guidelines is not appropriate for all adults. *Am J Emerg Med* 2015;33:1037-41.
17. Vadeboncoeur T, Stolz U, Panchal A, et al. Chest compression depth and survival in out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 2014;85:182-8.
18. Stiell IG, Brown SP, Christenson J, et al. What is the role of chest compression depth during out-of-hospital cardiac arrest resuscitation? *Crit Care Med* 2012;40:1192-8.
19. Stiell IG, Brown SP, Nichol G, et al. What is the optimal chest compression depth during out-of-hospital cardiac arrest resuscitation of adult patients? *Circulation* 2014;130:1962-70.
20. Yoo KH, Oh J, Lee H, et al. Comparison of heart proportions compressed by chest compressions between geriatric and nongeriatric patients using mathematical methods and chest computed tomography: a retrospective study. *Ann Geriatr Med Res* 2018;22:130-6.
21. Katzman WB, Wanek L, Shepherd JA, Sellmeyer DE. Age-related hyperkyphosis: its causes, consequences, and management. *J Orthop Sports Phys Ther* 2010;40:352-60.
22. Hellevuo H, Sainio M, Nevalainen R, et al. Deeper chest compression: more complications for cardiac arrest patients? *Resuscitation* 2013;84:760-5.
23. Jin SY, Oh SB, Kim YO. Estimation of optimal pediatric chest compression depth by using computed tomography. *J Korean Soc Emerg Med* 2016;27:238-45.