

## 일반인의 심폐소생술 시 시간의 흐름에 따른 구조자의 피로에 의한 가슴압박의 질 변화와 이와 관련된 구조자의 특성; 마네킹을 이용한 가상 연구

건국대학교 의과대학 응급의학교실, 건국대학교병원 심폐소생술 교육센터<sup>1</sup>

나준호 · 박상오 · 백광제 · 홍대영 · 이경룡 · 이명현<sup>1</sup>

### Analysis of the Time-Dependent Changes of Chest Compression Quality and Related Rescuer Factors in Cardio-Pulmonary Resuscitation by Lay-Persons

Joon Ho Na, M.D., Sang O Park, M.D., Kwang Je Baek, M.D., Dae Young Hong, M.D., Kyeong Ryong Lee, M.D., Myung Hyun Lee, R.N.<sup>1</sup>

**Purpose:** The study evaluated changes in the quality of chest compressions over 2 min in 30:2 cardio-pulmonary resuscitation (CPR) by lay-persons and analyzed rescuer factors affecting the quality of chest compressions over time.

**Methods:** CPR training courses attended by 538 adult hospital and university workers (lay-person) were conducted at a university hospital. After 4-hour CPR training, tests were performed using a manikin with Skill-Reporter™. Data of 459 subjects were analyzed concerning the quality of chest compressions over time and rescuer factors such as age, gender, body mass index, prior CPR training and CPR experience were also analyzed to determine their effect on the change in the quality of chest compressions.

**Results:** Compression depth ( $p=0.002$ ) showed significant change over 2 min, but the rate ( $p=0.133$ ), chest recoil ( $p=0.442$ ) and hand placement ( $p=0.991$ ) were insignificant. Ineffective compression depth (mean proportions of correct depth<70%) was not observed during the 2 min CPR. Female gender ( $p<0.001$ ; OR, 5.882, 95% CI, 3.098-

11.167) and no CPR training ( $p=0.004$ ; OR, 2.163, 95% CI, 1.277-3.663) were associated with decline of compression depth. Time-dependent analysis revealed significant ineffective compression depth (<70%) in females and underweight patients ( $p<0.001$ ).

**Conclusion:** Switching compressors at an interval of 2 min is reasonable for 30:2 CPR by lay-persons. But, significant decline of correct compression depth over time in female and underweight rescuers was evident.

**Key Words:** Cardiopulmonary resuscitation, Fatigue, High-frequency chest compression

Department of Emergency Medicine, Konkuk University School of Medicine, Seoul, Korea, CPR Education Center, Konkuk University Medical Center, Seoul, Korea<sup>1</sup>

## 서 론

기본 심폐소생술은 심정지환자의 생존 사슬(chain of survival)의 중요한 요소로서 심정지 환자의 생존에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 2005년 심폐소생술 지침에서는 기본 심폐소생술의 즉각적인 시행뿐만 아니라 심폐소생술의 질을 크게 강조하고 있으며 그 중에서도 가슴압박의 중요성이 부각되었다<sup>1)</sup>. 최근 개정된 2010년 국제 심폐소생술 지침에서는 좀더 깊은 가슴압박 깊이(5 cm 이상)와 빠른 가슴압박 속도(적어도 100회/분 이상)를 강조해 보다 강화된 양질의 가슴압박을 권고하고 있다<sup>2)</sup>. 그러나 지속적인 가슴압박은 구조자의 육체적인 피로를 유발할 수 있으며 이로 인해 가슴압박의 질적 하락이 올 수 있다.

Hightower 등<sup>3)</sup>에 의해 처음 구조자의 피로에 의한 가슴압박의 질적 하락이 보고된 이후로 가슴압박에 구조자의 피로가 미치는 영향에 대한 연구들이 꾸준히 이루어져 왔다<sup>4-6)</sup>. 장기간 가슴압박 시 과거 몇몇 연구들에서 1분여 후의 질적 하락을 보고하고 있으나 최근 개정되었던 심폐소생술 지침에서는 지속적인 양질의 가슴압박을 유지하기 위해 여러 구조자가 있을 때는 2분 간격으로 다른 구조자와

책임저자: 이 경 룡

서울특별시 광진구 화양동 4-12

건국대학교 의과대학 응급의학교실

Tel: 02) 2030-5551, Fax: 02) 2030-5789

E-mail: 20020001@kuh.ac.kr

접수일: 2011년 6월 15일, 1차 교정일: 2011년 6월 15일

게재승인일: 2011년 7월 15일

\* 본 논문은 2010년도 건국대학교 병원 임상연구비의 지원을 받았음.

가슴압박 시행을 교체하도록 권고하고 있다<sup>1,2)</sup>.

실제 심폐소생술 상황에서의 구조자의 가슴압박의 질(깊이 및 속도 등) 측정은 주로 여러 피험자들에 의해서 가상 심정지 상황에서의 심폐소생술 시행을 통한 방법으로 가슴압박의 질적 연구가 대체되어 이루어졌다<sup>3,4,7-9)</sup>. 그러나 대부분의 연구들은 의료인들(간호사 혹은 의사) 혹은 의대생들 같은 특정 전문직 군 등에 한정된 경우가 많았다. 병원 밖 심정지 환자 발생 시, 대부분 경우 일반인들에 의해 발견되고 신고가 이루어지는 것에 반하여, 일반인에 대한 연구는 상대적으로는 제한적으로 이루어졌다<sup>5,10-12)</sup>. 일반인들은 초기 심정지 시 심정지 환자의 생존을 결정하는데 중요한 역할을 하며, 특히 구조요청 후 119 등 응급의료종사자가 도착할 때까지 중요한 심폐소생술 제공자가 된다<sup>1)</sup>. 과거 일부 소규모 일반인들을 대상으로 한 가상연구에서 이들의 시간에 따른 가슴압박의 질적 변화를 추정할 수는 있었으나, 대규모의 일반인들을 상대로 시간적 변화에 따른 가슴압박의 질적 저하 및 이에 관계된 구조자의 특성에 대한 연구는 이루어지지 못한 실정이다.

이에 본 저자들은 병원 밖 심정지 상황에서 중요한 구조자인 일반인들을 대상으로 하여 심폐소생술 교육 후에, 심정지 환자가 발생한 상황을 가정하여 심폐소생술을 시행한 결과에 대해 가슴압박의 질적 저하에 대하여 분석하였다. 이를 통해 심폐소생술 교육 후에 일반인 심폐소생술에 있어 2분간 시행되는 가슴압박 질적 저하에 대해 연구하고, 이와 관련된 일반인 구조자의 특성에 대해 분석하였다.

## 대상과 방법

### 1. 연구 대상

2009년 10월부터 2010년 8월까지 서울시내 일개 병원 심폐소생술 교육 센터 내 시뮬레이션 교육실에서, 기본 심폐소생술 교육 과정에 참가한, 대학병원 및 대학에 근무하는 20세 이상의 일반인 538명을 대상으로 연구를 시행하였다. 교육받은 참가자 중 심폐소생술 교육 과정 중 중도 이탈한 33명과 임신 및 건강상의 문제로 심폐소생술 평가를 시행하지 못한 17명, 평가 과정 중 시행평가 기록이 누락된 29명을 제외하고 최종적으로 459명이 연구대상에 포함되었다.

### 2. 교육 과정 및 방법

연구 기간 중 교육 과정은 1회 10~12명씩 총 56회 시행되었다. 교육 과정은 총 4시간으로 2005년 기본 심폐소생술 지침에 따라 비디오 시청 및 강의 그리고 마네킹(Little Anne<sup>®</sup> manikin (Laerdal Medical Corporation, Korea)

을 이용한 연습 과정이 포함되었다. 10명의 기본 심폐소생술 지도자(certified of BLS instructor)가 교대로 2명씩 교육 과정에 지도자로 참가하였다. 교육 기간 내에 어떠한 지도 방식의 변화 및 되먹임은 없었으며 각 과정에 참가한 지도자에게는 구체적인 연구내용은 알리지 않았다.

교육 과정이 끝난 후 교육 참가자에게 30분 이상 충분한 휴식을 취하도록 한 후 각 참가자에 대해 바닥에 실습평가용 마네킹(Resusci<sup>®</sup> Anne SkillReporter<sup>™</sup>)을 놓고 가슴압박 대 인공호흡을 30:2의 비율로 하는 심폐소생술을 2분간 시행하도록 하였다. 평가용 마네킹에는 심폐소생술 평가 프로그램(Laerdal PC Skill Reporting System program, Laerdal, Stavanger, Norway)이 설치되어 있는 노트북을 연결하여 심폐소생술 평가기록을 저장하였다.

평가가 끝난 후 각 참가자에 대해 연구내용 및 목적을 설명하고 모든 참가자에게 연구 참여 및 평가 결과의 분석에 대한 동의를 받았다. 추가로 교육 과정 전 설문지 조사를 통해 각 참가자의 나이, 성별, 키 및 몸무게, 과거 심폐소생술 교육 경험, 과거 심폐소생술 시행 경험에 대한 정보를 얻었다.

### 3. 심폐소생술의 가슴압박의 질 평가 자료 취합 및 분석

대상자들이 시행한 가슴압박의 자료는 노트북에 저장된 PC Skill Reporting System (Laerdal, Stavanger, Norway)을 통하여 취합하였다. 가슴압박 시행 기록 그래프를 20초 간격으로 6구간으로 나누었으며 각 구간에서의 총 가슴압박 수, 적절한 깊이의 가슴압박 수, 분당 압박속도, 불완전하게 이완된 가슴압박 수, 부적절한 가슴압박 위치 수를 구하였다. 가슴압박의 질 평가를 위한 지표로서 적절한 깊이 압박비율(적절압박 수/총 압박 수×100; %), 불완전 이완 압박비율(불완전 이완 압박 수/총 압박 수×100; %), 부적절 위치 압박비율(부적절한 위치 압박 수/총 압박 수×100; %)를 이용하였다. 적절한 가슴압박의 깊이는 2005년 및 2010년 심폐소생술 지침을 반영하여 >4 cm으로 결정하였다<sup>1,2)</sup>. 평균 적절 깊이 압박비율이 70% 미만인 경우는 유효하지 않은 가슴압박으로 정의하였다<sup>4)</sup>. 연령은 40세를 기준으로 고연령층과 저연령층 두 집단으로 분류하였다. 실험자의 키와 몸무게를 통해 신체체질량계수(body mass index; BMI)를 구했고 한국 신체 체질량계수 분류 지침에 의거해 비만군(BMI≥25), 과체중군(BMI 23-24.9), 정상군(BMI 18.5-22.9), 저체중군(BMI <18.5)으로 분류하였다.

### 4. 통계분석

자료의 분석에는 SPSS for Window<sup>™</sup> 17.0(SPSS INC., Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하였다. 시간변화에 따른 여러 구조자 특성간의 값의 변화를 비교하기 위

해 일반 선형 모델에서의 반복측정과정 (general linear model for repeated-measures procedure)을 통한 일원배치 반복 측정 분산방법 (one way repeated measures ANOVA)을 이용하였다. 유효하지 않은 가슴압박 (전체 평균 적절 깊이 압박비율 <70%)에 영향을 미치는 구조자의 요인(나이, 성별, BMI, 심폐소생술 교육 및 실제 심폐소생술 참여 경험)을 확인하기 위해 다중 회귀분석을 시행하였다. 또한 모든 통계분석은 양쪽 검정 하에  $p$ 값이 0.05 미만인 경우 유의한 것으로 판단하였다.

## 결 과

대상자의 평균 연령은  $33.8 \pm 8.6$ 세였으며 연령범위는 20~58세였다. 총 459명의 대상자 중 남자는 179명 (39.0%)이었으며 40세 이상의 고연령층은 109명 (23.7%)이었다. 그 외 대상자의 특성은 다음과 같다 (Table 1).

### 1. 시간 흐름에 따른 가슴압박의 질

교육 후 2분간 시행한 심폐소생술 결과를 20초 간격으로 나누어 분석한 결과 평균 적절 깊이 압박비율은 시간구간별로 유의하게 차이가 있음을 알 수 있었다 ( $p=0.002$ ). 특히 구간별 사후 분석상 60~80초 (77.0%) 구간에서 80~100초 (74.9%) 구간으로 진행 시 유의한 적절 깊이 압박비율에서 유의한 감소가 있었으나 모든 시간구간에서의 평균 적절 깊이 압박비율은 모두 유효한 (적절 깊이 압박비율  $\geq 70\%$ ) 범위 내에 있었다. 또한 가슴압박속도는 시간

구간별로 평균 104~106회/분 범위 내에 있었으며 시간구간별로 의미 있는 차이를 보이지 않았다 ( $p=0.133$ ). 시간구간별 불완전 이완 압박비율 (7~10% 범위)과 부적절한 위치 압박비율 (1% 이내)도 또한 시간구간 사이에 유의한 차이를 보이지 않았다 (Table 2).

### 2. 구조자 요인에 따른 평균 가슴압박 깊이의 변화

고연령층과 저연령층간의 시간에 따른 유의한 평균 적절 깊이 압박비율의 차이는 없었다 ( $p=0.227$ ). 신체크기계수의 경우 클수록 보다 유의하게 높은 적절 깊이 압박비율을 보였으며 남성의 경우도 여성보다 더 높은 적절 깊이 압박비율을 보였다. 특히 저체중군의 경우 전 2분에 걸쳐 유효하지 않은 압박 깊이를 보였으며 여성의 경우 약 1분 이후 평균 압박 깊이가 유효 범위 (70%) 아래로 낮아지는 것을 볼 수 있었다 (Fig. 1). 심폐소생술 교육 경험이나 실제 심폐소생술에 참여한 경험을 비교하면 이전의 심폐소생술 교육 경험이 있는 경우가 그렇지 않은 경우보다 유의하게 높은 적절 깊이 압박비율을 보였으나 모두 유효한 압박범위 내에 있었다 ( $p=0.022$ ). 그러나 이전의 심폐소생술 경험이 있는 경우와 없는 경우 사이에 적절 깊이 압박비율은 유의한 차이를 보이지는 않았다 (Fig. 1).

### 3. 유효하지 않은 가슴압박 전달과 관련된 구조자 요인 분석

다중회귀 모형에서의 유효하지 않은 가슴압박에 대한 오즈비 (Odds ratio; OR)는 남성보다 여성에서 통계적으로 가장 유의하게 높았다 ( $p<0.001$ , OR=5.882, 95% CI 3.098~11.167). 또한 이전에 심폐소생술 교육을 받은 경우가 그렇지 않은 경우보다 통계적으로 유의하게 높았다 ( $p=0.004$ , OR=2.163, 95% CI 1.277~3.663). 각 구조자 관련 인자 중 연령 간 (40세 이상과 40세 미만), 과거 심폐소생술 경험 여부, 비만을 제외한 신체 체질량계수에서 유효하지 않은 가슴압박에 대해서는 유의한 차이를 보이지는 않았다 (Table 3).

**Table 1.** Baseline data of subjects

Rescuer factor	No. of subjects (%) (n=459)
Gender	
Male	179 (39.0)
Female	280 (61.0)
Age	
$\geq 40$	109 (23.7)
<40	350 (76.3)
Body size	
Obese (BMI $\geq 30$ )	50 (10.9)
Overweight (BMI 23-24.9)	52 (11.3)
Normal (BMI 18.5-22.9)	322 (72.3)
Underweight (BMI <18.5)	25 ( 5.4)
Previous CPR training	
Yes	160 (34.9)
No	299 (65.1)
Previous CPR experience	
Yes	20 ( 4.4)
No	95.6 (95.6)

BMI: body mass index, CPR: cardiopulmonary resuscitation

## 고 찰

본 연구에 의하면 일반인들이 훈련 후 지침대로 심폐소생술을 시행하였을 경우 가슴압박의 질적 요소 중 가슴압박의 깊이만이 시간의 흐름에 따라 감소하며 속도 및 이완 비율, 손의 위치는 시간 변화에 따른 구조자의 피로도에 대해 영향을 받지 않는 것을 알 수 있었다. 과거 2005 지침 및 일부 연구에서는 구조자의 가슴압박 속도의 저하를 지적하였으나 본 연구 결과는 시간의 진행에 따른 속도 변화는 보

**Table 2.** Changes in the quality of chest compressions over 20 sec time intervals for lay-bystander cardiopulmonary resuscitation

Quality of chest compression	Time sector					p-value	
	0-20 sec	20-40 sec	40-60 sec	60-80 sec	80-100 sec		100-120 sec
Mean rate of correct Compression depth (%)	81.2 (33.5)	81.6 (78.5)	78.5 (36.8)	77.0 (37.9)	74.9 (38.9)	73.1 (37.1)	0.002
Mean compression rate/min (%)	105.1(12.1)	106.0 (13.7)	104.3 (13.7)	103.8 (12.8)	104.1 (13.5)	104.5 (13.3)	0.133
Mean rate of abnormal chest recoil (%)	10.9 (27.1)	9.2 (25.3)	9.2 (25.4)	7.8 (23.0)	8.1 (24.1)	8.4 (24.5)	0.442
Mean rate of abnormal placement of hands (%)	0.8 ( 6.2)	0.8 ( 6.1)	0.7 ( 6.4)	0.6 ( 4.5)	0.7 ( 6.1)	0.7 ( 7.4)	0.991

**Table 3.** Factors associated with ineffective (fraction of chest compression with adequate depth <70%) chest compression during 2min CPR following multivariable logistic regression analysis

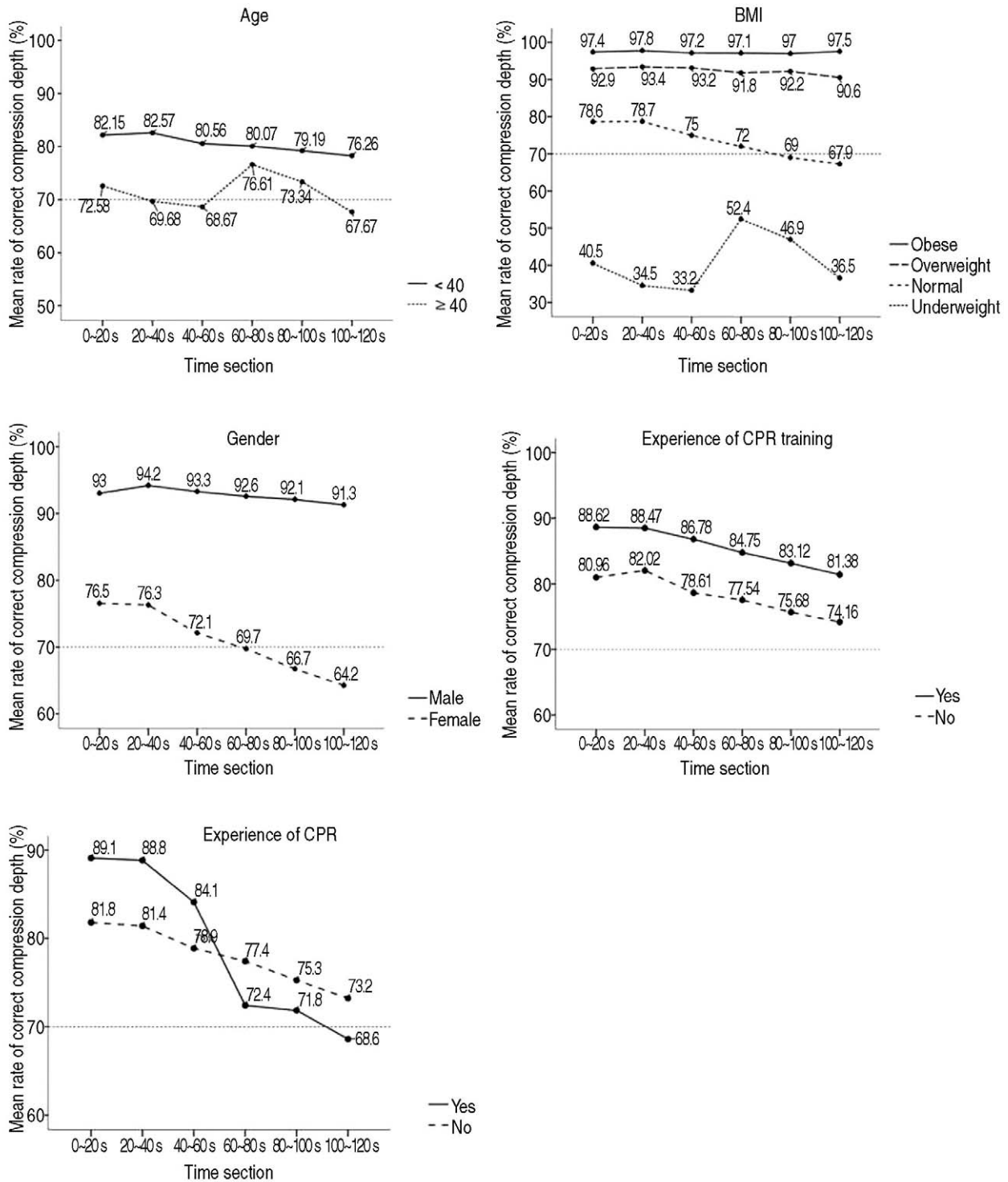
Factor	Reference	Level	Confident	Standard deviation	Wald	p-value	Odd ratio	95% Confidence Interval	
								Lower	Upper
Age	< 40	≥ 40	0.117	0.269	0.189	0.663	1.124	0.664	1.902
BMI	Underweight	Normal	-0.262	0.440	0.354	0.552	0.325	0.325	1.823
		Obese	-1.865	0.868	4.613	0.032	0.028	0.028	0.850
		Overweight	-1.042	0.628	2.751	0.097	0.103	0.103	1.208
Gender	Male	Female	1.772	0.327	29.343	<0.001	5.882	3.098	11.167
	Experience of CPR training	Yes	No	0.771	0.269	8.238	0.004	2.163	1.277
Experience of CPR	Yes	No	-0.556	0.548	1.032	0.310	0.573	0.196	1.677

BMI: body mass index

이지 않았다<sup>1)</sup>. 2분간 가슴압박의 평균 깊이는 감소하였으나 가슴압박의 적절 깊이 압박비율의 저하는 10% 미만으로서 2분간 모두 70%이상을 상회하였다. 70%이상을 유효하다고 가정하였을 경우 현재 국제심폐소생협회의 지침에

의한 2분 간격의 가슴압박의 교체는 적합하다고 판단된다.

그러나 적절 깊이 압박 비율의 변화는 구조자의 특성에 따라 다양하게 나타났으며 전반적인 유효압박의 전달에 구조자 특성 별로 다양하게 반영된다는 것을 알 수 있었다.



**Fig. 1.** Graphs of the mean rate of correct compression depth in lay - bystander CPR for each rescuer factor. There is a significant difference in the time-dependent change over 2 min between subgroups in BMI, Gender and experience of CPR training. (p-value indicated a significant difference of between groups of general linear model for repeated measures analysis)

과거 일부 연구 및 지침에서는 연령에 따른 가슴압박의 질적 혹은 수행상의 제한점을 제시하고 있으나 적어도 본 연구에서는 가슴압박의 질적 변화의 차이는 없는 것 같다<sup>6,13)</sup>. 오히려 가슴압박 수행에 있어서는 연령, 경험보다는 신체적 특성이 많은 영향을 미침을 알 수 있었다. 상대적으로 저체중인 경우 심한 가슴압박 깊이의 질적 하락을 보이며 상대적으로 남성보다 여성에서 두드러진 양질의 가슴압박 전달이 감소됨을 볼 수 있었다. 본 연구의 경우 여러 구조자 특성 중 성별이 적절한 가슴압박 제공에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 외국의 경우 성별에 대한 영향이 없거나 비교적 적은 것으로 알려져 있으나 한국의 경우 한국여성이 서양여성에 비해 신체크기가 작고 체중이 적어 보다 두드러진 가슴압박의 질적 하락을 보인 것으로 추정된다<sup>4,14)</sup>. 실제 교육받은 일반인 여성 혹은 체격이 작은 구조자가 심폐소생술을 시행하게 되는 경우 가슴압박의 질적 향상을 위해 다수의 구조자가 있다면 보다 빠른 구조자 교체가 필요할 것으로 사료된다.

그러나 잦은 구조자 교체는 불필요한 가슴압박 중단의 시간을 증대시킬 수 있다. 그러나 최근 한 연구에 의하면 1분 간격의 교체와 2분의 간격의 교체에 가슴압박 중단의 차이는 없었다고 보고하고 있다<sup>15)</sup>. 현재까지는 2분 간격의 교체가 적절해 보이나 구조자 특성에 따라서 보다 이른 교체가 필요하며 그 적절한 교체간격에 대해 추가연구가 필요하다고 생각된다.

본 연구에서 제한적으로나마 과거 심폐소생술 교육에 대한 효과를 확인할 수 있었다. 일반인의 경우도 과거 교육 경험이 있는 경우, 보다 적절한 깊이의 가슴압박을 제공할 수 있으며 이는 정기적인 반복교육의 중요성을 부각하는데 도움이 될 수 있다. 다만, 본 연구의 경우 과거 교육 시점 및 횟수 등에 대한 구체적인 자료를 확보하지 못해 보다 정확한 연관성을 유추하기에는 한계가 있었다.

본 연구의 제한점으로는 첫째, 마네킹을 이용한 가상연구로서 실제 사람의 흉부의 해부학적 특성을 정확하게 반영하지 못하였다. 마네킹의 경우 신체크기와 압박위치, 압박에 대한 흉부의 저항성이 일정하나 실제 사람의 경우 개인적 차이가 존재한다. 특히 마네킹 자체의 탄력성으로 인해 가상연구에서는 불완전 이완 압박비율이 비교적 낮게 나타날 수 있다. 본 연구의 경우 전반적으로 10% 이하의 불완전 이완 압박비율을 보이나 실제 사람을 대상으로 하는 연구들에서는 30~40%의 불완전 이완 압박비율을 보이고 있다<sup>16,17)</sup>. 이런 상이한 결과는 마네킹 자체의 흉부 탄력성으로 인해 압박 후 쉽게 이완되는 현상에 기인할 수도 있으리라 추정된다. 또한 가상 상황으로서 구조자가 실제 상황에서 느끼는 긴박감 등의 감정이 없으며 비교적 편안한 마음으로 가슴압박을 시행하므로 실제 심정지 상황일 때 가슴압박의 질을 반영하기에는 제한적일 수 있다. 둘째 본 연구대상 군이 일개 병원 및 대학교내에 근무하는 일반

인들로서, 명확히 일반인들의 특성을 대표하기에는 제한적일 수 있다. 보통 인구군에 비해 심폐소생술에 대한 인지 및 관심도, 경험 등이 커 실제 일반인들에 비해 과대 평가 되었을 수 있다. 마지막으로 본 연구에서는 연구 진행상 한계로 구조자의 피로도에 대한 중요한 평가도구 중의 하나인 호흡, 근력 및 혈압, 산소포화도 등의 객관적인 지표 평가를 하지 못하였다. 실제 어떠한 구조자의 체력 지표와 피로 사이의 구체적 연관 관계를 설명할 수 없었다.

## 결 론

교육받은 일반인의 경우 2분간 가슴압박 대 인공호흡을 30:2의 비율로 하는 심폐소생술을 시행하는 경우 비교적 양질의 가슴압박을 제공할 수 있어 여러 구조자가 있을 시 현행대로 약 2분 후 가슴압박을 교대하는 것은 적절하다. 그러나 일반인들 중, 여성 및 체질량지수가 매우 낮은 경우 시간의 흐름에 따라 가슴압박의 질이 빨리 떨어질 수 있으므로 보다 나은 양질의 가슴압박 전달을 유지하기 위해 다수의 구조자가 있을 때는 가슴압박의 중단을 최소화하면서 2분보다 더 빨리 구조자를 교체하는 것이 필요할 수 있다고 사료된다.

## 참고문헌

1. International Liaison Committee on Resuscitation. 2005 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science with Treatment Recommendations. Part 2: Adult basic life support. Resuscitation 2005 Nov-Dec;67:187-201.
2. Berg RA, Hemphill R, Abella BS, Aufderheide TP, Cave DM, Hazinski MF, et al. Part 5: adult basic life support: 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. Circulation 2010;122(18 Suppl 3):S685-705.
3. Hightower D, Thomas SH, Stone CK, Dunn K, March JA. Decay in quality of closed-chest compressions over time. Ann Emerg Med 1995;26:300-3.
4. Ochoa FJ, Ramalle-Gomara E, Lisa V, Saralegui I. The effect of rescuer fatigue on the quality of chest compressions. Resuscitation 1998;37:149-52.
5. Neset A, Birkenes TS, Myklebust H, Mykletun RJ, Odegaard S, Kramer-Johansen J. A randomized trial of the capability of elderly lay persons to perform chest compression only CPR versus standard 30:2 CPR. Resuscitation 2010;81:887-92.
6. Chamberlain DA, Hazinski MF, European Resuscitation

- Council, American Heart Association, Heart and Stroke Foundation of Canada, Australia and New Zealand Resuscitation Council, et al. Education in resuscitation. *Resuscitation* 2003;59:11-43.
7. Bridgewater FH, Bridgewater KJ, Zeitz CJ. Using the ability to perform CPR as a standard of fitness: a consideration of the influence of aging on the physiological responses of a select group of first aiders performing cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 2000;45:97-103.
  8. Heidenreich JW, Berg RA, Higdon TA, Ewy GA, Kern KB, Sanders AB. Rescuer fatigue: standard versus continuous chest-compression cardiopulmonary resuscitation. *Acad Emerg Med* 2006;13:1020-6.
  9. Bjorshol CA, Soreide E, Torsteinbo TH, Lexow K, Nilsen OB, Sunde K. Quality of chest compressions during 10 min of single-rescuer basic life support with different compression: ventilation ratios in a manikin model. *Resuscitation* 2008;77:95-100.
  10. Swor R, Compton S, Vining F, Ososky Farr L, Kokko S, Pascual R, et al. A randomized controlled trial of chest compression only CPR for older adults-a pilot study. *Resuscitation* 2003;58:177-85.
  11. Odegaard S, Saether E, Steen PA, Wik L. Quality of lay person CPR performance with compression: ventilation ratios 15:2, 30:2 or continuous chest compressions without ventilations on manikins. *Resuscitation* 2006;71:335-40.
  12. Nishiyama C, Iwami T, Kawamura T, Ando M, Yonemoto N, Hiraide A, et al. Effectiveness of simplified chest compression-only CPR training for the general public: a randomized controlled trial. *Resuscitation* 2008;79:90-6.
  13. Sim MS, Jo IJ, Song HG. Basic cardiac life support education for non-medical hospital employees. *Emerg Med J* 2009;26:327-30.
  14. Ashton A, McCluskey A, Gwinnutt CL, Keenan AM. Effect of rescuer fatigue on performance of continuous external chest compressions over 3 min. *Resuscitation* 2002;55:151-5.
  15. Manders S, Geijsel FE. Alternating providers during continuous chest compressions for cardiac arrest: every minute or every two minutes? *Resuscitation* 2009;80:1015-8.
  16. Aufderheide TP, Pirralo RG, Yannopoulos D, Klein JP, von Briesen C, Sparks CW, et al. Incomplete chest wall decompression: a clinical evaluation of CPR performance by EMS personnel and assessment of alternative manual chest compression-decompression techniques. *Resuscitation* 2005;64:353-62.
  17. Aufderheide TP, Pirralo RG, Yannopoulos D, Klein JP, von Briesen C, Sparks CW, et al. Incomplete chest wall decompression: a clinical evaluation of CPR performance by trained laypersons and an assessment of alternative manual chest compression-decompression techniques. *Resuscitation* 2006;71:341-51.