



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](#)

박사 학위 논문

# 병원 내 의인성 심정지의 원인

계명대학교 대학원  
의 학 과

박 종 성

지도교수 한 성 욱

2021년 6월

# 병원 내 의인성 심정지의 원인

지도교수 한 성 욱

이 논문을 박사학위 논문으로 제출함

2021년 6월

계명대학교 대학원

의학과 내과학 전공

박 종 성

# 박종성의 박사학위 논문을 인준함

주 심 허 승 호

---

부 심 한 성 욱

---

부 심 남 창 욱

---

부 심 김 형 섭

---

부 심 조 용 근

---

계 명 대 학 교    대 학 원

2021년 6월

# 목 차

1. 서론 .....	1
2. 재료 및 방법 .....	2
3. 성적 .....	7
4. 고찰 .....	20
5. 요약 .....	29
참고문헌 .....	27
Abstract .....	30
국문초록 .....	32

## 표 목 차

<표 1> 아미오다론 투약 후 발생한 의인성 심정지의 임상적 특징 .....	13
<표 2> 심각한 저칼륨혈증에 의해 유발된 의인성 심정지의 임상적 특징 .....	14
<표 3> 기타원인에 의해 유발된 의인성 심정지의 임상적 특징 .....	15

## 그림 목차

<그림 1> 심정지의 원인 파악을 위한 협진체계 .....	16
<그림 2> 심정지의 원인 파악을 위한 심전도 분석 .....	17
<그림 3> 병원 내 심정지의 원인분석 .....	18
<그림 4> 병원 내 심정지의 예후 .....	19

# 1. 서 론

## 1.1. 연구배경

병원 내 심정지 환자의 생존율은 10~20%에 불과한 것으로 알려져 있는데 병원 내 심정지의 대부분은 의학적인 상태가 매우 나쁜 환자에게서 발생하기 때문이다(1-3). 대부분의 병원 내 심정지는 기저질환의 악화 등 불가항력적 원인이나 통상적인 진단 또는 치료과정에 수반되는 피할 수 없는 합병증에 의해 발생하지만, 일부는 의료진의 ‘사려 깊지 못한 의료행위’로 인해 발생하는 것으로 알려져 있다(4).

의료진의 사려 깊지 못한 의료행위로 의해 발생한 병원 심정지를 ‘예방 가능한 병원 내 의인성 심정지(preventable and iatrogenic in-hospital cardiac arrest)’로 부를 수 있겠다. 예방 가능한 병원 내 의인성 심정지의 정의가 명확히 정립된 것은 아니지만, 대략적인 발생빈도와 원인을 파악하는 것은 환자의 안전을 보장하고 의료사고를 예방하는 데 도움이 될 수 있다.

## 1.2. 연구목적

연구자는 지난 10년간 부산의 한 대학병원에서 발생했던 병원 내 심정지 사례들을 후향적으로 분석해 예방 가능한 병원 내 의인성 심정지의 대략적인 발생빈도와 원인을 파악하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 연구대상의 선정 및 제외기준

#### 2.1.1. 선정기준

2010년 9월 1일부터 2020년 8월 31일까지 부산광역시 소재 동아대학교병원에 입원했던 환자 중 입원 기간에 심정지가 발생해 심폐소생술을 받은 환자를 분석 대상으로 했다.

#### 2.1.2. 심폐소생술을 받은 환자명단의 확보

병원 의무기록실에 요청해 심폐소생술 기록지(전자의무기록)가 작성된 환자의 명단을 추출했으며 심폐소생술 기록지를 열람해 실제 심정지(무수축, 무맥성전기활동, 지속형단형심실빈맥, 다형심실빈맥, 심실세동)가 발생한 사례를 최종 분석 대상으로 선정하였다.

### 2.2. 심정지의 원인에 대한 구분

- 1) 판단 근거가 불충분한 심정지: 심정지가 발생했지만, 심정지의 원인을 알 수 있는 의학적 근거(경과 기록, 각종 검사소견 등)가 부족해 심정지의 원인을 규명할 수 없는 경우
- 2) 기저질환에 의한 심정지: 심각한 기저질환 또는 기저질환의 합병증으로 의해 불가항력적 심정지가 발생한 경우
- 3) 진단/치료과정 중 발생한 합병증에 의한 심정지: 정상적인 진단 또는 치료과정 중 예상하기 어렵거나 예상했더라도 회피하기 어려운 합병증이 발생해 심정지가 유발된 경우

- 4) 복합적 원인에 의한 심정지: 심정지의 원인이 복합적이어서 예방 가능한 의인성 심정지라고 단정하기 어려운 경우
- 5) 예방 가능한 의인성 심정지: 1), 2), 3), 4) 항목에 해당하지 않으면서 아래의 의인성과 예방 가능성 기준을 만족하는 경우

## 2.3. 예방 가능성 및 의인성의 판단기준

### 2.3.1. 의인성 판단의 기준

아래의 ①,②,③,④ 항목 중 하나 이상을 만족할 때 의료진의 사려 깊지 못한 의료행위가 심정지 발생에 영향을 미쳤다고 판단함.

- ① 의학적인 적응증이 아닌데 판단 착오로 심정지를 유발할 수 있는 약물을 투약하거나 처치를 시행하여 심정지가 발생함.
- ② 잠재적으로 심정지를 유발할 수 있는 약물을 투약하거나 처치를 시행했으나 적절한 감시 또는 예방조치를 시행하지 않아 심정지가 발생함.
- ③ 심정지 발생의 위험신호가 나타났거나 심정지가 발생했는데 의료진이 심정지를 발생 또는 악화시킬 수 있는 대응조치를 해 심정지가 발생하거나 재발함.
- ④ 심정지 발생의 위험신호가 나타났거나 심정지가 발생했음에도 의료진이 12시간 이상 적절한 대응조치를 취하지 않아 심정지가 발생하거나 재발함.

### 2.3.2. 예방 가능성 판단의 기준

아래의 ①,② 항목 중 하나 이상을 만족할 때 심정지를 예방할 가능성이 있었다고 판단함.

- ① 심정지를 유발한 약물 투약 또는 처치를 시행하지 않았거나 적절한 감시 또는 예방조치를 시행했다면 심정지가 발생하지 않았을 것으로 추정됨.
- ② 심정지 발생의 위험신호가 나타났거나 심정지가 발생했을 때, 상태를 악화시키는 대응조치를 하지 않았거나 조기에 적절한 대응조치를 했다면 심정지가 발생 또는 재발하지 않았을 것으로 추정됨.

### 2.3.3. 예방 가능한 병원 내 의인성 심정지의 판단기준

연구 대상에 해당하며 의인성 기준(2.3.1.) 및 예방 가능성 기준(2.3.2.)을 모두 만족할 때 예방 가능한 병원 내 의인성 심정지로 정의함. 의료진의 사려 깊지 못한 의료행위가 있었다 하더라도 심정지 발생의 직접 또는 간접적인 원인이라고 보기 어려운 경우에는 예방 가능한 의인성 심정지가 아니라고 판단함.

## 2.4. 심정지의 원인에 대한 전문가 분석과 평가

2010년부터 2015년까지의 환자는 심폐소생술 기록지를 직접 열람해 대상자 정보를 수집하였고 2016년부터 2020년까지의 환자는 조기대응팀에서 관리하는 심폐소생술 환자 대장을 열람해 대상자 정보를 수집하였다. 심장내과 전문의 자격을 가진 중환자의학과 전문의 1명과 전임의 1명이 심폐소생술 기록지와 심폐소생술 환자 대장을 열람해 1차로 심정지의 원인에 대한 구분을 시행하였다.

예방 가능한 의인성 심정지의 가능성이 있는 사례에 대한 검토는 심장내과 전문의 자격을 가진 1명의 중환자의학과 전문의와 부정맥 분야를 전공한 1명의 심장내과 전문의가 시행했다. 두 전문의의 의견이 일치하면 예방 가능한 의인성 심정지로 확정했고, 의견이 일치하지 않으면 추가로 다른 명의 심장내과 전문의의 의견을 구해 다수의 의견에 따라 원인을 확정

했다.

## 2.5. 심정지의 원인 파악을 위한 협진체계

동아대학교병원에서는 병원 내 심정지가 발생하면 중환자의학과 전문의로 구성된 조기대응팀(rapid response team)이 출동해 환자의 상태를 평가하고 심폐소생술 등의 초기대응을 시행했다. 조기대응팀의 책임자는 심장내과 분과전문의 자격을 가진 중환자의학과 전문의로 심정지의 원인에 대한 초기 평가를 시행하고 심정지의 원인을 알 수 없거나 의인성 심정지가 의심되는 경우 원인에 대한 정확한 평가를 위해 순환기내과 소속 부정맥 전문의에게 협의진료를 요청하였다. 부정맥 전문의는 심정지 발생 전후 96시간의 심전도를 포함한 각종 임상 정보를 분석해 심정지의 원인에 대한 의견을 회신하고 후속 조치를 위한 조언을 하였다(그림 1).

## 2.6. 심정지의 원인 파악을 위한 심전도 분석

병원 내 심정지가 발생하면 원인을 파악하기 위해 일반중환자실, 응급중환자실, 심장중환자실, 신경중환자실, 기타 특수병동에 설치된 필립스(PHILIPS®)사의 심전도 중앙감시체계를 이용해 심정지 발생 전후에 기록된 96시간의 심전도를 분석하였다(그림 2). 필립스사의 심전도 중앙감시체계에 임시로 저장된 심전도는 96시간이 지나면 기록이 자동으로 삭제되었기 때문에 중요한 심전도 이상이 확인되면 심정지 발생 전후 24~96시간의 심전도를 필립스사의 심전도 저장 및 분석체계(TraceMasterVue® ECG management system, Andover, MA, USA)로 전송해 영구저장함으로써 심전도 기록의 소실을 방지하였다. 필립스사의 심전도 저장 및 분석체계에 저장된

심전도는 심정지 발생 시점과 상관없이 언제든지 불러내 재분석을 할 수 있었다.

심전도 감시체계가 도입되어 있지 않은 병동에서 심정지가 발생한 경우는 심정지 발생 전후의 12유도심전도 및 제세동기 사용 전후에 기록된 율동심전도를 확보해 심정지의 원인을 분석하였다.

## 3. 성 적

### 3.1. 병원 안 심정지의 원인분석

2010년 9월 1일부터 2020년 8월 31일까지 동아대학교병에서 발생했던 심폐소생술 기록이 작성된 2,304례의 병원 내 심정지 사례 중 판단 근거가 불충분한 712례, 기저질환에 의해 심정지가 발생한 1,418례, 정상적인 진단 또는 치료과정의 합병증으로 심정지가 발생한 96례, 특정하기 어려운 복합적인 원인에 의해 심정지가 발생한 47례를 제외하고 최종 31례(1.3%)가 예방가능한 의인성 병원 안 심정지 사례인 것으로 파악되었다(그림 3).

판단 근거가 불충분한 심정지 사례는 대부분 심전도 감시가 불가능한 일반병동에서 심정지가 발생해 심전도 기록이 없는 사례였다. 통상적인 진단 또는 치료과정의 합병증으로 심정지가 발생한 사례들은 혈관이나 내장 장기에 대한 침습적인 검사나 중재시술을 시행한 사례가 많았다. 복합적인 원인에 의해 심정지가 발생한 것으로 분류된 사례는 예방 가능성 또는 의인성에 관한 판단에 있어 중환자의학과 전문의와 부정맥 전문의 사이에 의견이 일치하지 않는 사례가 많았다.

### 3.2. 예방 가능한 의인성 심정지의 원인분석

예방 가능한 병원 내 의인성 심정지의 가장 흔한 원인인 아미오다론 투약 및 심각한 저칼륨혈증에 의해 유발된 재분극 이상이었다. 아미오다론 투약 후 다형심실빈맥이 발생하거나 심각한 저칼륨혈증에 의해 다형심실빈맥이 유발되는 것은 부정맥이나 심부전증 환자를 치료하는 과정 중에 나타날 수 있는 통상적인 합병증으로 볼 수 있다. 그러나 비 지속성 다형심실빈맥(R

on T phenomenon)이 출현했음에도 최소 12시간 이상 심전도를 확인하지 않았거나, 적절한 대응조치(QT간격의 연장이나 서맥을 유발하는 약물의 투약 중단, 전해질 불균형의 교정 등)를 하지 않았거나, 오히려 상황을 악화시키는 조치(아미오다론 투약 등)를 하여 심폐소생술을 해야 하는 지속성 다형심실빈맥이 발생하였을 때는 예방 가능한 의인성 심정지로 판단하였다. 다만 적절한 대응조치를 시행하던 중에 다형심실빈맥이 발생했을 때는 예방 가능한 의인성 심정지가 아닌 것으로 판단하였다.

예방 가능한 병원 내 의인성 심정지의 기타원인은 크게 부적절한 인공심박조율, 과도한 자율신경반사, 부적절한 약물 투약의 세 부류로 나누어 볼 수 있었다.

### 3.3. 아미오다론 투약 후 발생한 심정지의 특징

아미오다론 투약 후 다형심실빈맥이 발생해 심폐소생술을 받은 10명의 환자의 사례를 분석했을 때 환자들의 평균연령은  $72 \pm 15$ 세였고 여자가 7명이었다. 아미오다론의 하루 평균 투여량은  $560 \pm 295$ (300~900) mg 이었다. 10명의 환자 중 9명이 심방세동을 동반한 심부전증(좌심실구혈률:  $34 \pm 14\%$ )으로 치료 중이었기 때문에 울동조절을 위해 고용량의 아미오다론을 투약한 것으로 보였다. 9명의 환자 모두에서 아미오다론 투약 후 심방세동이 정상동율동으로 전환되었거나, 직류동율동전환술을 시행했거나, 심방세동의 심실반응수가 떨어졌을 때 다형심실빈맥이 발생하였다. 10명의 환자 중 9명에서 다형심실빈맥이 발생한 당일에 의미 있는 저칼륨혈증(칼륨농도  $4.0$  mEq/L 미만)이 동반되어 있었다. 심정지 발생 당일의 교정QT간격은  $552 \pm 43$  ms 였다. 10명의 환자 중 2명은 아미오다론 투약을 중단하고 저칼륨혈증을 교정한 후에도 교정QT간격이 완전히 정상화되지 않아 QT간격 연장의 유전적인 요인을 가진 것으로 보였다. 아미오다론 투약 후 다형심실

빈맥이 발생했던 환자들의 특성은 표1에 정리하였다.

### 3.4. 심각한 저칼륨혈증에 의해 유발된 심정지의 특징

심각한 저칼륨혈증에 의해 다형심실빈맥이 발생해 심폐소생술을 받은 11명의 환자의 사례를 분석했을 때 환자들의 평균연령은  $66 \pm 8$ 세였고 여자가 9명이었다. 8명의 환자에서 고용량의 이노제 투여 후 심각한 저칼륨혈증이 유발되었고 3명의 환자에게는 장기간의 영양공급 부족에 의해 심각한 저칼륨혈증이 유발되었다. 11명의 환자 중 8명이 심부전증(좌심실구혈률:  $42 \pm 12\%$ )을 가지고 있었기 때문에 심부전증을 조절하기 위해 고용량의 이노제를 투여한 것으로 보였다. 다형심실빈맥이 발생한 당일의 칼륨농도는  $2.9 \pm 0.5 (1.9 \sim 3.5)$  mEq/L 였다. 심정지 발생당일의 교정QT간격은  $543 \pm 38$  ms 였다. 심각한 저칼륨혈증에 의해 다형심실빈맥이 유발되었던 환자들의 특성은 표2에 정리하였다. 11명의 환자 중 2명은 저칼륨혈증을 교정한 후에도 교정QT간격이 완전히 정상화되지 않아 QT간격 연장의 유전적인 요인을 가진 것으로 보였다. 심각한 저칼륨혈증에 의해 다형심실빈맥이 발생했던 환자들의 특성은 표2에 정리하였다.

### 3.5. 기타원인에 의해 유발된 심정지의 특징

재분극 이상을 제외한 기타원인에 의해 심정지가 발생한 10명의 환자의 사례를 분석했을 때 심정지를 유발한 원인은 크게 부적절한 인공심박조율(3명), 과도한 자율신경반사(3명), 부적절한 약물 투약(승압제 투약 2명, 방실결절억제제 투약 2명)의 세 부류로 나누어 볼 수 있었다. 기타원인에 의해 심정지가 발생했던 환자들의 특성은 표3에 정리하였다.

### 3.5.1. 부적절한 심박조율에 의해 유발된 심정지

부적절한 심실조율에 의해 다형심실빈맥이 발생한 사례에는 ①관상동맥우회로조성수술 후 일시형 인공심장박동기에 의해 부적절한 심실조율(R on T pacing)이 이루어졌으나 1주일간 적절한 대응을 하지 않은 사례, ②인공심장박동기에 의한 빠른 심실조율 때문에 심부전증이 유발된 완전방실전도차단 환자에서 적절한 심전도 감시 없이 심실조율의 횟수를 분당 30회까지 낮춘 후 서맥-유발성 다형심실빈맥이 발생한 사례, ③빈맥-서맥증후군으로 인공심장박동기를 이식한 발작성 심방세동 환자에서 심방조율 횟수를 분당 40회로 낮게 유지한 상태에서 적절한 심전도 감시 없이 고용량의 항부정맥제(flecainide)를 투약해 서맥-유발성 다형심실빈맥이 발생한 사례가 있었다.

### 3.5.2. 과도한 자율신경반사에 의해 유발된 심정지

과도한 자율신경반사에 의해 심정지가 발생한 사례는 모두 뇌질환 또는 경추질환을 가진 신경외과 환자의 사례였으며 기도관리나 욕창 방지를 위한 자세 변경 후 흉부압박을 필요로 할 정도로 오래 지속되는 심실박동정지가 발생하였다. 자율신경반사를 유발할 수 있는 특정 처치를 시행한 직후에 심실박동정지가 반복적으로 유발되었음에도 환자를 담당하던 의료진이 부정맥 전문의에게 관련 정보를 제공하지 않아 심정지의 원인을 파악하기 어려웠다. 심실박동정지가 발생하기 직전의 심전도에서 이상파형(artifact)이 기록된 것을 보고 이상파형을 유발할만한 특정 처치가 있었음을 추정할 수 있었고 처치를 담당했던 의료진을 면담해 기도관리나 욕창 방지를 위한 자세 변경을 시행한 후 심실박동정지가 발생한 것을 확인할 수 있었다. 의료진이 심정지의 원인 파악을 위한 정보를 제공하지 않았고, 기도관리와 자세 변경을 조심스럽게 하는 등의 대응조치를 취한 후에는 심정지가 재발하지 않았거나 재발 횟수가 현저히 감소했으므로 예방 가능한 의인성 심정지 사례로 판단하였다.

### 3.5.3. 부적절한 약물투약에 의해 유발된 심정지

승압제 투약 후 혈역동학적으로 불안정한 넓은QRS과빈맥이 발생한 사례에는 ①내시경적 지혈술을 위해 준비한 에피네프린을 의료진이 판단 착오로 환자에게 정맥주사한 사례, ②혈압이 낮지 않은 스트레스유발성 심근병증 환자에게 심폐소생술 상황이 아님에도 에피네프린을 빠르게 정맥주사한 사례가 있었다. 두 사례 모두 환자가 심방세동을 가지고 있었는데 에피네프린을 정맥주사한 후 넓은QRS과빈맥이 유발되었다. 넓은QRS과빈맥은 심방세동의 심실반응수가 증가하면서 나타난 편위전도인지 지속성단형심실빈맥인지 감별하기 어려웠지만 혈압이 떨어져 직류동율동전환술을 시행해야 했다. 방실결절억제제를 투약한 후 심정지가 발생한 사례에는 ①동기능부전을 동반한 발작성 심방세동 환자에게 혈압조절을 위해 고용량의 베타차단제와 디하이드로피리딘계 칼슘통로 차단제를 동시에 투약해 오래 지속되는 심실박동정지가 발생한 사례, ②심실조기흥분을 동반한 발작성 심방세동 환자에게 디지털리스와 베타차단제를 동시에 투약해 조기흥분 된 심방세동이 심실세동으로 퇴행한 사례가 있었다. 방실전도억제제를 투약한 후 심정지가 발생한 환자들도 심방세동을 기저질환으로 가지고 있었다.

### 3.6. 병원 내 심정지 환자의 예후

예방 가능한 의인성 심정지 환자의 생존퇴원율은 그렇지 않은 환자에 비해 크게 높은 것으로 나타났다. 총 31명의 예방 가능한 병원 내 의인성 심정지 환자 중 28명(90%)에서 심실성빈맥(다형심실빈맥, 단형지속성심실빈맥 또는 심실세동)이나 혈역동학적으로 불안정한 상심실성빈맥(심실조기흥분 또는 편위전도를 동반한 심방세동)이 나타나 제세동 또는 직류동율동전환을 시행할 수 있었다. 반면 예방할 수 없거나 의인성이 아닌 병원 내 심정지가 발생한 환자에서는 제세동 또는 직류동율동전환을 시행할 수 있는

부정맥이 나타난 환자의 비율이 18%에 불과했다. 심정지를 유발한 부정맥의 차이가 생존퇴원율의 차이를 만든 원인일 것으로 추정되었다(그림 4).

표 1. 아미오다론 투약 후 발생한 예방 가능한 병원 내 의인성 심정지의 임상적 특징

No.	Sex	Age	Mechanism	Arrhythmia	Cardiac diseases	Amiodarone	K <sup>+</sup>	Other provocative factors
1	F	71	QT prolongation	TdP-VT	HFrEF, AF	300	3.9	Electrical cardioversion
2	M	78	QT prolongation	TdP-VT	HFrEF, AF	400	4.6	
3	M	76	QT prolongation	TdP-VT	HFrEF, AF	300	3.4	
4	F	80	QT prolongation	TdP-VT	HFrEF, AF, WPW-SD	300	3.7	
5	M	70	QT prolongation	TdP-VT	HFrEF, AF	900	3.6	Diltiazem
6	F	80	QT prolongation	TdP-VT	HFrEF, AF	900	3.3	
7	F	89	QT prolongation	TdP-VT	HFrEF, AF	900	2.4	
8	F	60	QT prolongation	TdP-VT	HFpEF, AF, CAD	400	3.9	Carvedilol
9	F	34	QT prolongation	TdP-VT	HFpEF, AF, MVR	300	4.9	Electrical cardioversion
10	F	68	QT prolongation	TdP-VT	CAVB with TdP-VT*	900	3.2	

TdP-VT: Torsades de Pointes ventricular tachycardia; HFrEF: heart failure with reduced ejection fraction; HFpEF: heart failure with preserved ejection fraction; AF: atrial fibrillation; WPW-SD: Wolff-Parkinson-White syndrome; CAD: coronary artery disease; MVR: mitral valve replacement; CAVB: complete atrioventricular block  
 Numbers in the amiodarone column mean the daily doses of amiodarone administered (unit: mg/day).

Numbers in the K<sup>+</sup> column mean the concentrations of Kalium ion at the day of cardiac arrest (unit: mEq/L).

\* High dose amiodarone was inappropriately infused to suppress the recurrence of TdP-VT.

표 2. 심각한 저칼륨혈증에 의해 발생한 예방 가능한 병원 내 의인성 심정지의 임상적 특징

No.	Sex	Age	Mechanism	Arrhythmia	Cardiac diseases	K <sup>+</sup>	Other provocative factors
1	F	61	QT prolongation	TdP-VT	None	3.4	Moxifloxacin
2	M	67	QT prolongation	TdP-VT	AF	2.7	AF with SVR < 40 bpm
3	F	76	QT prolongation	TdP-VT	AF	3.4	Amiodarone 900 mg/day*
4	F	56	QT prolongation	TdP-VT	HFmEF	2.9	Moxifloxacin
5	F	60	QT prolongation	TdP-VT	HFrEF, AF	3.5	AF with SVR < 40 bpm
6	F	70	QT prolongation	TdP-VT	HFrEF, AF	2.7	AF with SVR < 40 bpm
7	F	56	QT prolongation	TdP-VT	HFpEF, AF	1.9	Adrenal tumor
8	F	64	QT prolongation	TdP-VT	HFmEF, Post-AVR	2.8	
9	M	61	QT prolongation	TdP-VT	HFmEF, Post-AVR	2.9	
10	F	69	QT prolongation	TdP-VT	HFrEF, CAVB	3.3	Myocarditis
11	F	80	QT prolongation	TdP-VT	HFrEF, CAVB	2.9	

TdP-VT: Torsades de Pointes ventricular tachycardia; AF: atrial fibrillation; HFmEF: heart failure with mid-range ejection fraction, HFrEF: heart failure with reduced ejection fraction; HFpEF: heart failure with preserved ejection fraction; AVR: aortic valve replacement; CAVB: complete atrioventricular block, SVR: slow ventricular response  
 Numbers in the K<sup>+</sup> column mean the concentrations (unit: mEq/L) of Kalium ion at the day of cardiac arrest.

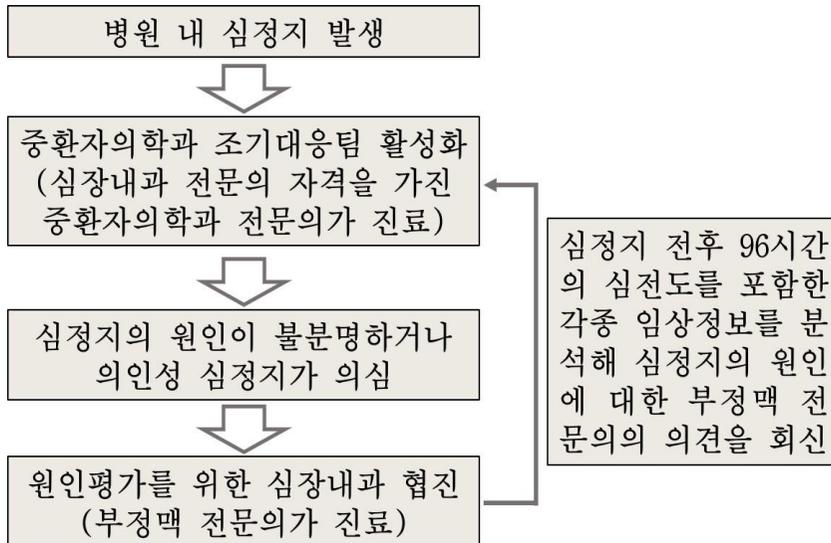
\* High dose amiodarone was infused to suppress the recurrence of TdP-VT.

Table 3. 기타원인에 의해 유발된 예방 가능한 병원 내 의인성 심정지의 임상적 특징

No.	Sex	Age	Mechanism	Arrhythmia	Cardiac diseases	Detailed causes of cardiac arrest
1	F	79	Inappropriate pacing	TdP-VT	Post-CABG	R on T pacing
2	M	82	Inappropriate pacing	TdP-VT	Pacing-CMP	Very low pacing rate < 40 bpm
3	F	76	Inappropriate pacing	TdP-VT	AF	Very low pacing rate < 40 bpm
4	M	36	Neurocardiogenic reflex	Asystole	None	Endotracheal suction, etc.
5	F	80	Neurocardiogenic reflex	Asystole	None	Endotracheal suction, etc.
6	F	52	Neurocardiogenic reflex	Asystole	None	Endotracheal suction, etc.
7	M	72	Inotropic agent	SMMVT	AF, Stress-CMP	Epinephrine volus injection
8	F	70	Inotropic agent	AF aberration	AF	Epinephrine volus injection
9	M	68	Nodal blocking agent	Asystole	AF	Nebivolol & diltiazem
10	F	55	Nodal blocking agent	Preexcited AF	WPW-SD with AF	Digitalis & propranolol

TdP-VT: Torsades de Pointes ventricular tachycardia; SMMVT: sustained monomorphic ventricular tachycardia; AF: atrial fibrillation; CABG: coronary artery bypass graft; Pacing-CMP: pacing induced cardiomyopathy; Stress-CMP: stress induced cardiomyopathy; WPW-SD: Wolff-Parkinson-White syndrome

그림 1. 심정지의 원인 파악을 위한 협진체계



## 그림 2. 심정지의 원인 파악을 위한 심전도 분석



필립스사의 심전도 중앙감시체계를 이용해 심실세동이 발생(①)하는 순간과 제세동을 시행해 심실세동이 종료(②)되는 순간을 확인하는 영상이다.

그림 3. 병원 내 심정지의 원인분석

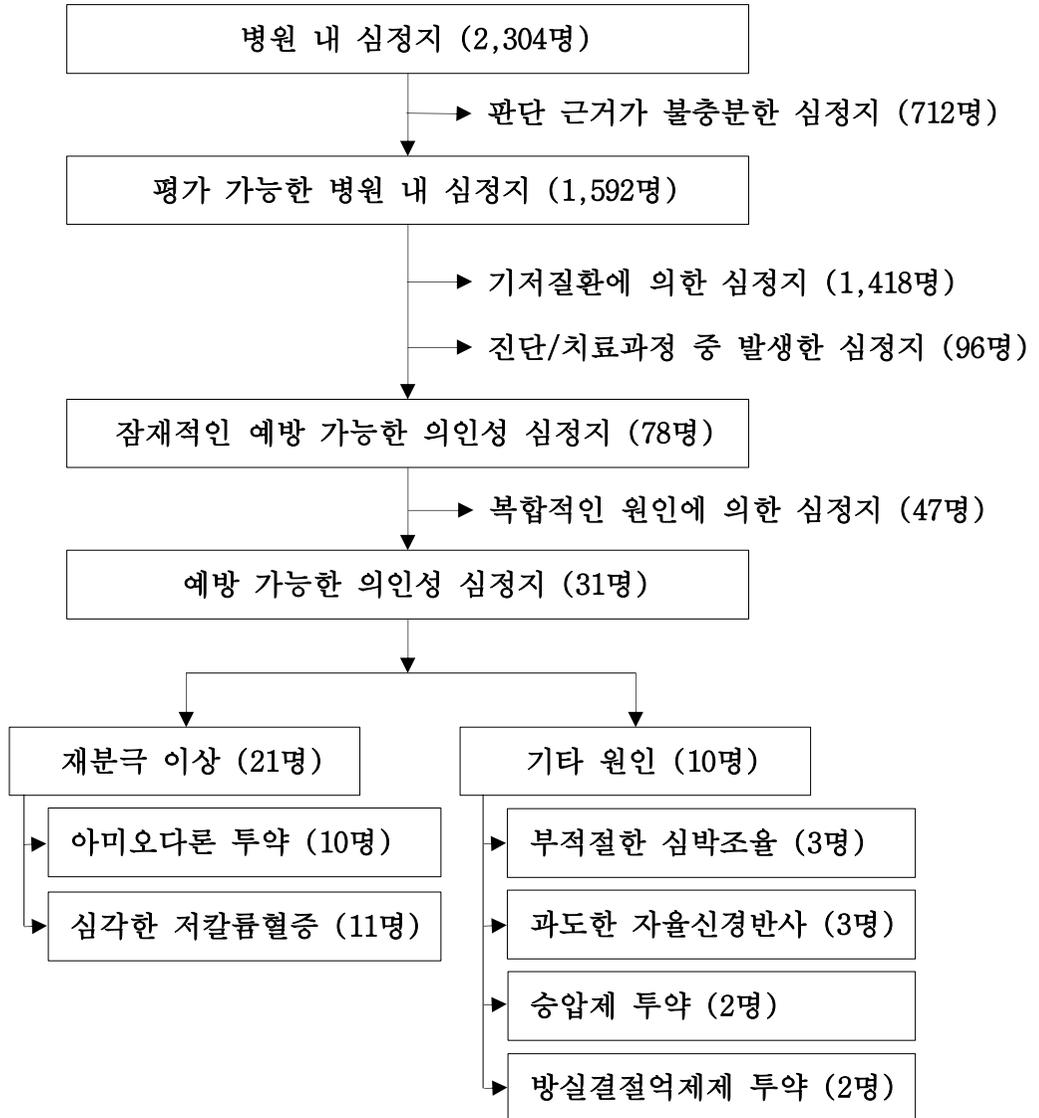
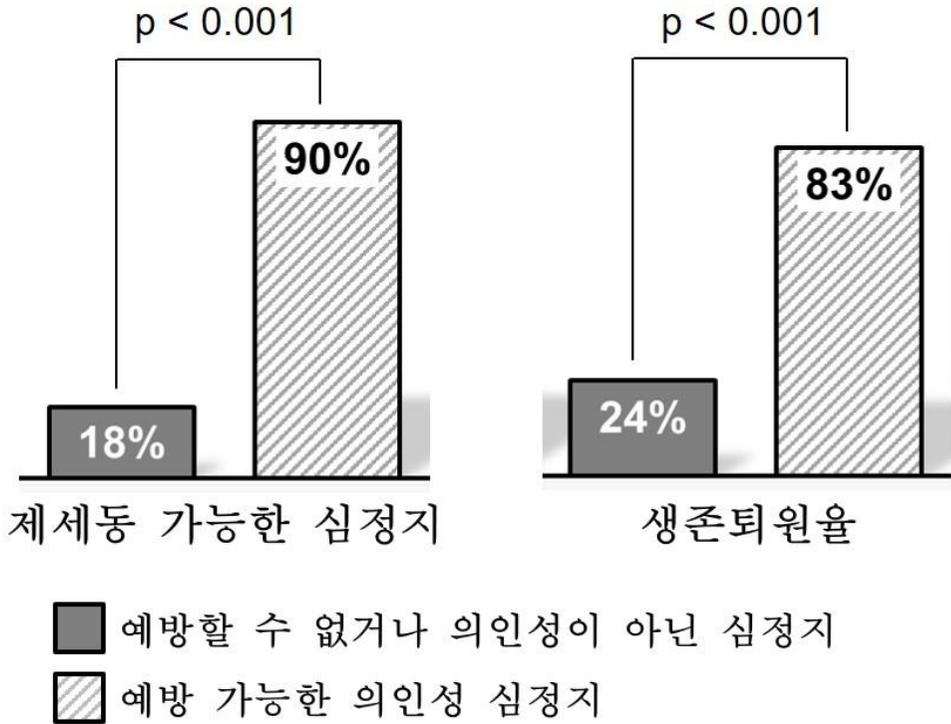


그림 4. 병원 내 심정지 환자의 예후



## 4. 고 찰

### 4.1. 의인성 심정지의 발생빈도에 대한 고찰

2010년부터 2020년까지 10년간 부산광역시에 있는 한 대학병원에서 발생한 2,300여 건의 병원 내 심정지 사례 중 1.3% 정도가 예방 가능한 병원 내 의인성 심정지인 것으로 파악되었다. 인용할만한 연구가 거의 없지만 이전에 발표된 한 연구는 의인성 심정지의 발생률이 14%이며 사망률은 61%에 달한다고 보고하였다(4). 심정지의 원인평가에 있어 ‘의인성’의 정의가 명확히 정립되어 있지 않아 연구자의 주관적인 판단이 개입될 수밖에 없고 연구자에 따라 의인성 심정지의 발생빈도도 다르게 보고할 수밖에 없다. 본 연구에서는 의인성(2.3.1.)을 평가할 때 의료진의 ‘사려 깊지 못한 의료행위’가 있었는지를 중요한 판단기준으로 삼았는데, 의료진의 사려 깊지 못한 판단이나 처치가 직접 또는 간접적으로 심정지 발생을 초래했다고 볼 수 있는 4가지의 구체적인 기준을 만들어 연구자의 주관적인 판단이 개입될 여지를 최소화하였다.

또한, 본 연구에서는 심정지의 의인성뿐 아니라 예방 가능성(2.3.2.)까지 평가했는데 불가항력적 원인에 의한 심정지는 의료진이 노력하더라도 발생빈도를 줄이기 어려우므로 예방 가능한 심정지의 발생빈도와 원인을 파악하는데 연구의 초점을 맞추었다. 정상적인 진단 또는 치료과정 중 발생한 합병증으로 심정지가 유발되었거나(예: 중심정맥 삽관을 하던 중 심낭압전이 발생해 심정지가 유발된 사례), 심정지의 위험성을 인지하고 적절한 대응을 하던 중에 심정지가 발생(예: 비지속성 다형심실빈맥이 발생한 것이 확인되어 아미오다론 투약을 중단하고 전해질을 교정하던 중 지속성 다형심실빈맥이 발생한 사례 등)한 경우에는 의인성이 없거나 예방 가능성이 없다고 판단하였다. 의인성과 예방 가능성을 판단하는 기준을 엄격하게 적용했기 때문에 예방 가능한 병원 내 의인성 심정지의 발생빈도가

1.3%로 낮게 파악된 것으로 보인다.

의인성 심정지가 발생했을 때 소수의 인원만이 의료진의 사려 깊지 못한 의료행위와 심정지 발생 간의 인과관계를 알 수 있고, 의료진이 자신에게 불리한 의무기록을 남기지 않거나 심정지의 원인을 파악하기 위한 검사나 협의진료를 시행하지 않았을 가능성이 있다. 특히 조기대응팀이 출동하거나 부정맥 전문의가 협의진료를 시행하기 전에 환자가 사망하면 사망 경위를 밝힐 수 있는 중요한 의무기록이 잘 보존되어 있지 않은 경우가 많았는데 판단 근거가 불충분한 심정지 사례로 분류되거나 기저질환의 악화 또는 통상적인 합병증으로 사망한 사례로 분류되었을 가능성이 크다. 연구의 특성상 제한된 의무기록을 근거로 의인성과 예방 가능성을 평가해야 했으므로 판단기준을 엄격하게 적용할 수밖에 없었는데 예방 가능한 병원 내 의인성 심정지의 실제 발생률은 1.3% 이상일 것으로 추정된다.

## 4.2. 심정지의 원인에 대한 고찰

본 연구에서처럼 심방세동과 같은 부정맥을 치료하기 위해 고용량의 아미오다론을 투약했을 때 또는 심부전증을 치료하기 위해 고용량의 이노제를 투약한 후 심각한 저칼륨혈증이 유발되었을 때 다형심실빈맥이 발생하는 사례는 후천성 긴QT증후군으로 알려져 있다(5, 6). 치료를 위해 약물을 투약한 후 심정지가 발생했다고 해서 이러한 사례를 모두 의인성 심정지로 분류해서는 안 되겠다. 다만 재분극 이상을 반영하는 QT간격의 연장과 T파의 형태변화가 나타났음에도 전해질 농도를 측정하지 않거나, 심정지의 전조인 비 지속성 다형심실빈맥(R on T phenomenon)이 출현했음에도 일정 시간 이상 적절한 대응조치(서맥 및 전해질 불균형의 교정, QT간격을 연장하는 약물의 투약 중단 등)를 취하지 않아 실제로 심폐소생술을 해야 하는 지속성 다형심실빈맥이 발생했다면 의인성 심정지로 볼 여지가 있다 하겠

다(5).

본 연구에서는 비지속성 다형심실빈맥이 처음으로 심전도에 기록된 후 심폐소생술을 해야 하는 지속성 다형심실빈맥이 발생하기까지 최소 12시간 이상 적절한 대응조치가 없었거나, 심폐소생술을 해야 하는 지속성 다형심실빈맥이 발생했음에도 적절한 대응조치를 취하지 않았거나 오히려 상태를 악화시키는 대응조치를 해 심폐소생술을 반복 시행한 사례만 예방 가능한 의인성 심정지 사례로 분류하였다. 그러나 어느 정도의 시간 동안 대응조치가 없었을 때 의인성이 있다고 볼 것인지와 어느 정도까지의 치료를 적절한 대응조치로 볼 것인지에 대한 명확한 기준은 없다.

재분극 이상으로 인해 다형심실빈맥이 발생했던 사례는 모두 중환자실이나 준중환자실에 입원해 있던 환자의 사례였는데 심전도 감시체계가 잘 갖추어져 있었음에도 의료진이 적절한 의학적 대응조치를 하지 못한 이유를 의무기록 열람만으로 알기는 어려웠다. 그러나 중환자실에 입원해 있는 환자의 경우 교정QT간격이 연장된 것만으로도 사망률이 증가한다는 보고도 있으므로(7) 중환자를 진료하는 의료진을 교육해 재분극 이상을 반영하는 특징적인 심전도 소견이 나타나는지 지속해서 확인하고 적절한 의학적 대응조치를 하도록 하는 것이 재분극 이상에 의한 의인성 심정지의 발생률을 낮추는 데 도움이 될 것으로 보인다.

기타원인에 의한 예방 가능한 의인성 심정지의 원인은 다양했다. 일시형 인공심장박동기가 QRS파를 제대로 감지하지 못하면서 부적절한 인공심실조율(R on T pacing)이 시행되면 다형심실빈맥이 발생할 수 있다는 사실은 잘 알려졌지만(8), 인공심장박동기의 심방 또는 심실조율 횟수를 부적절하게 낮게 설정한 것도 서맥-유발성 다형심실빈맥 발생의 원인이 될 수 있었다. 약물을 부적절하게 투약했을 때 심정지가 발생할 수 있다는 사실 역시 잘 알려졌지만(4), 본 연구에서는 약물투약이 심정지 발생의 직접적인 원인으로 보이는 경우에만 예방 가능한 의인성 심정지로 분류했기 때문에 사례 수가 많지는 않았다. 디지털리스나 QT간격을 연장시키는 약물을 투약한 후 발생한 심실성부정맥이 발생한 사례들은 근거자료 부족으로 원인을 평

가할 수 없는 사례로 분류되거나 기저질환의 악화로 의한 심정지 사례로 분류되었을 가능성이 커 보인다. 뇌질환 또는 경추질환을 가진 환자에서 간호처치 후 심각한 무수축이나 동서맥이 발생한 사례는 드물지 않게 보고 되었지만(9), 본 연구에서는 신경중환자실에 근무하는 의료진이 이를 알지 못해 적절한 대응조치를 하지 못하는 것을 알 수 있었다.

### 4.3. 연구의 제한점

이 연구는 단일 의료기관에서 진행되었으며 의무기록 분석에 의존한 후향적 연구이므로 아래와 같은 제한점이 있어 연구 결과의 해석에 주의해야 한다.

첫째, 단일병원의 자료라 연구대상자의 특성이 일반적인 병원 내 심정지 환자의 특성을 대표한다고 보기 어렵다. 병원의 규모에 따라 환자의 특성이 다를 수 있고 심정지의 원인을 정확하게 평가하고 적절히 치료할 수 있는 전문가의 수와 역량도 다르므로 병원에 따라 전혀 다른 연구 결과가 도출될 가능성이 있다.

둘째, 본 연구에서는 상대적으로 예후가 좋은 환자가 예방 가능한 의인성 심정지 환자로 분류되었을 가능성이 크다. 예방 가능한 의인성 심정지 환자로 분류된 환자들은 대부분 중환자의학과 전문의나 부정맥 전문의가 진료를 할 때까지 생존했기 때문에 심정지 발생의 원인을 평가할 수 있었다. 본 연구에서는 재분극 이상에 의해 심정지가 발생한 환자들이 많이 포함되었는데, 대부분 각종 중환자실이나 준중환자실에 입실 중이었기 때문에 의인성 심정지의 발생이 확인된 후에는 적절한 사후조치를 할 수 있었다. 예방 가능한 병원 내 의인성 심정지 환자들의 생존퇴원율이 80%를 상회하는 것도 선택편견이 있었음을 뒷받침하는 간접적인 증거로 볼 수 있겠다.

셋째, 연구자에 따라 심정지의 원인에 관한 판단이 다르거나 틀릴 수 있

다. 예방 가능한 의인성 심정지의 명확한 정의가 없어 똑같은 상황에 관한 판단이 연구자마다 다를 수 있다. 또한 제한된 의무기록을 근거로 심정지 발생 전후의 정황을 추정해 의인성과 예방 가능성을 평가했기 때문에 연구자의 판단이 틀렸을 가능성도 충분히 있다. 실제로 상당수의 사례에서는 중환자의학과 전문의와 부정맥 전문의 사이에 의인성에 대한 판단이 달랐다. 본 연구와 유사한 의인성 및 예방 가능성 기준을 가지고 전향적 연구를 진행해야 예방 가능한 병원 내 의인성 심정지의 정확한 유병률과 원인을 알 수 있겠다.

넷째, 의인성과 예방 가능성을 평가하기 위한 근거자료가 부족한 사례가 많았다. 심전도 감시체계가 없는 일반병동에서 심정지가 발생했을 때는 심전도 기록이 남아 있지 않은 경우도 많았고 중환자실이나 준중환자실에서 심정지가 발생했더라도 심전도를 TraceMasterVue<sup>®</sup> ECG management system으로 전송하지 않아 재분석이 불가능한 경우도 많았다.

#### 4.4. 연구의 의의와 제안

제한점이 많은 연구이지만 예방 가능한 병원 내 의인성 심정지의 의학적 정의에 대해 생각해보는 기회를 제공하고 발생률과 원인에 대한 정보를 제공한다는 점에서 연구의 의의를 찾을 수 있겠다. 예방 가능한 병원 내 의인성 심정지에 대한 최소한의 정의를 만들고 대략적인 발생률과 원인을 파악하는 것만으로도 적절한 예방대책을 수립하는 데 도움이 될 수 있으므로 향후 추가적인 연구가 시행되어야 할 분야라 하겠다.

예방 가능한 의인성 심정지의 발생은 치명적인 의료사고로 연결될 수 있지만, 병원 내부에서 일상적으로 이루어지는 진료 질 개선활동 만으로는 정확한 발생률과 원인을 파악하기 어려울 가능성이 크다. 체계적인 감시체계를 구축해 병원 안 심정지 발생을 감시하면서 의료진에 대해 지속적인 교육을 시행해야 예방 가능한 의인성 심정지의 발생을 줄일 수 있을 것으

로 보인다. 이전에 발표된 연구들 역시 심전도 감시를 시행하고, 심정지 사례들을 정기적으로 공유하며, 심폐소생술에 대해 의료진을 교육했을 때 병원 내 심정지 환자의 사망률을 낮출 수 있다고 보고하였다(10, 11).

또한, 이전 연구들은 병원 내 심정지가 발생했을 때 즉각 대응할 수 있는 조기대응팀을 운영하는 것이 병원 내 심정지 환자의 사망률을 낮출 수 있다고 보고하였다(12, 13). 실제로 본 연구를 위해 지난 10년간의 자료를 분석하면서 병원 내 심정지의 발생 건수는 늘었지만, 조기대응팀의 활동이 정착된 2016년 이후 예방 가능한 의인성 심정지 사례가 점진적으로 감소하는 경향을 확인할 수 있었다(2016년 이전 18례, 2016년 이후 13례). 조기대응팀을 운영하는 중환자의학과 전문의의 숫자가 늘고, 심정지 상황에 대처하는 조기대응팀의 활동이 증가했으며, 조기대응팀에 의해 심정지 사례 공유 및 심폐소생술에 대한 직원교육이 이루어진 것이 복합적으로 작용해 예방 가능한 의인성 심정지 사례가 감소한 것으로 추정된다. 조기대응팀과 심장내과 전문의의 협력을 중심으로 하는 체계적인 병원 내 심정지 감시체계를 운영하면 병원 내 심정지의 원인에 대한 더 정확한 사후평가가 가능해지고 예방 가능성도 커질 것으로 보인다.

## 5. 요 약

병원 내 심정지의 일부는 의료진의 사려 깊지 못한 의료행위로 인해 발생하는 것으로 알려져 있다. 연구자들은 2010년 9월부터 2020년 8월일까지 부산광역시 소재 한 대학병원에 입원했던 환자의 의무기록을 분석해 의료진의 사려 깊지 못한 의료행위로 인해 심정지가 발생한 사례를 파악하였다. 총 2,304례의 병원 내 심정지 사례 중 31례(1.3%)가 예방 가능한 병원 내 의인성 심정지 사례로 분류되었다. 21례는 고용량의 아미오다론을 투약하거나 이노제를 투약한 후 나타난 심각한 저칼륨혈증에 의해 다형심실빈맥이 발생한 사례였다. 예방 가능한 병원 내 의인성 심정지의 기타원인은 크게 부적절한 인공심박조율, 과도한 자율신경반사, 부적절한 약물투약으로 나누어 볼 수 있었다. 예방 가능한 병원 내 의인성 심정지 환자의 생존 퇴원율은 90%로 높았는데 체세동을 시행할 수 있는 리듬이 많았던 것이 이유로 생각된다. 심정지 상황에 대처하는 조기대응팀을 운영하고, 체계적인 병원 내 심정지 감시체계를 운영하며, 의료진에 대한 지속적인 교육을 시행했을 때 예방 가능한 의인성 심정지의 발생률을 낮출 수 있을 것으로 보인다.

## 참고문헌

1. Girotra S, Nallamothu BK, Spertus JA, Li Y, Krumholz HM, Chan PS, et al. Trends in survival after in-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med* 2012; 367: 1912-20.
2. Tunstall-Pedoe H, Bailey L, Chamberlain, Marsden AK, Ward ME, Zideman DA. Survey of 3765 cardiopulmonary resuscitations in British hospitals (the BRESUS Study): methods and overall results. *British Medical Journal* 1992; 304: 1347-00.
3. Andersen LW, Holmberg MJ, Berg KM, Donnino MW, Granfeldt A. In-Hospital Cardiac Arrest: A Review. *JAMA* 2019; 321: 1200-10.
4. Bedell SE, Deitz DC, Leeman D, Delbanco TL. Incidence and characteristics of preventable iatrogenic cardiac arrests. *JAMA* 1991; 265: 2815-20.
5. Drew BJ, Ackerman MJ, Funk M, Gibler WB, Kligfield P, Menon V, et al. Prevention of Torsade de Pointes in Hospital Settings. *Circulation* 2010; 121: 1047-60.
6. Yu H, Zhang L, Liu J, Liu Y, Kowey PR, Zhang Y, et al. Acquired

- long QT syndrome in hospitalized patients. *Heart Rhythm* 2017; 14: 974-8.
7. Pickham D, Helfenbein E, Shinn JA, Chan G, Funk M, Weinacker A, et al. High prevalence of corrected QT interval prolongation in acutely ill patients is associated with mortality: results of the QT in Practice (QTIP) Study. *J Am Heart Assoc* 2016; 5: e003638.
  8. Chemello D, Subramanian A, Kumaraswamy N. Cardiac arrest caused by undersensing of a temporary epicardial pacemaker. *Can J Cardiol* 2010; 26: e13-e14.
  9. Shaikh N, Rhaman MA, Raza A, Shabana A, Malstrom MF, Al-Sulaiti G. Prolonged bradycardia, asystole and outcome of high spinal cord injury patients: Risk factors and management. *Asian J Neurosurg* 2016; 11: 427-32.
  10. Chan PS, Krein SL, Tang F, Iwashyna TJ, Harrod M, Kennedy M, et al. Resuscitation Practices Associated With Survival After In-Hospital Cardiac Arrest: A Nationwide Survey. *JAMA Cardiol* 2016; 1: 189-97.
  11. Thorén A, Rawshani A, Herlitz J, Engdahl J, Kahan T, Gustafsson

- L, et al. ECG-monitoring of in-hospital cardiac arrest and factors associated with survival. *Resuscitation* 2020; 150: 130-8.
12. Mankidy B, Howard C, Morgan CK, Valluri KA, Giacomino B, Marfil E, et al. Reduction of in-hospital cardiac arrest with sequential deployment of rapid response team and medical emergency team to the emergency department and acute care wards. *PLoS One* 2020; 15: e0241816.
13. Jung B, Daurat A, Jong AD, Chanques G, Mahul M, Monnin M, et al. Rapid response team and hospital mortality in hospitalized patients. *Intensive Care Med* 2016; 42: 494-504.

# Iatrogenic Causes of Cardiac Arrest in Hospitalized Patients

Park, Jong-Sung

Department of Internal Medicine

Graduate School

Keimyung University

(Supervised by Professor Han, Seongwook)

(Abstract)

Some of the in-hospital cardiac arrest are caused by careless medical practice. However, it is difficult to know the exact incidence and causes of preventable and iatrogenic in-hospital cardiac arrest. Medical records of the hospitalized patients, who experienced cardiac arrest which required cardiopulmonary resuscitation from 2010 to 2020 years in Dong-A University Hospital, were reviewed. Among 2,304 in-hospital cardiac arrest cases, 31 (1.3%) were classified to have preventable and iatrogenic causes. In about 2/3 of the 31 cases, Torsades de Pointes ventricular tachycardia occurred due to abnormal repolarization, which was caused by high dose amiodarone administration or severe hypokalemia. Inappropriate cardiac

pacing, excessive neurocardiogenic reflex, inappropriate administration of inotropic or nodal blocking agents were other causes of preventable and iatrogenic cardiac arrest. Survival discharge rate of the patients who experienced preventable and iatrogenic in-hospital cardiac arrest was high over 90% because most of the presenting arrhythmias were shockable. Activation of rapid response team, systemic surveillance of in-hospital cardiac arrest and continuous education for medical team members may reduce the incidence of preventable and iatrogenic in-hospital cardiac arrest.

## 병원 내 의인성 심정지의 원인

박 중 성  
계명대학교 대학원  
의학과 내과학 전공  
(지도교수 한 성 옥)

(초록)

병원 내 심정지의 일부는 의료진의 사려 깊지 못한 의료행위로 인해 발생하는 것으로 알려졌다. 그러나 예방 가능한 의인성 심정지의 정확한 발생빈도와 원인을 파악하는 것은 쉽지 않다. 연구자들은 2010년부터 2020년까지 부산광역시 소재의 한 대학병원에 입원했던 환자 중 심폐소생술 기록지가 작성된 환자의 의무기록을 분석해 의료진의 사려 깊지 못한 의료행위로 인해 심정지가 발생한 사례를 파악하였다. 총 2,304례의 병원 내 심정지 사례 중 31례(1.3%)가 예방 가능한 의인성 심정지 사례로 분류되었는데, 2/3는 아미오다론 투약 또는 심각한 저칼륨혈증으로 인한 재분극 장애로 다형심실빈맥이 발생한 사례였다. 부적절한 인공심박조율, 과도한 자율신경반사, 승압제나 방실결절억제제의 부적절한 투약 등도 예방 가능한 의인성 심정지의 원인이 되었다. 예방 가능한 의인성 심정지 환자의 생존퇴원율은 90%로 높았는데 제세동을 시행할 수 있는 리듬이 많았던 것이 원인인 것으로 보였다. 심정지 상황에 대처하는 조기대응팀을 운영하고, 체계

적인 병원 내 심정지 감시체계를 운영하며, 의료진에 대한 지속적인 교육을 시행했을 때 예방 가능한 의인성 심정지의 발생률을 낮출 수 있을 것으로 보인다.

## □ 논문 저자 약력

1975년 부산 출생

동아대학교 의학과 졸업

동아대학교 대학원 의학석사

계명대학교 대학원 의학박사 취득 예정

동아대학교 의학과 부교수(현)

동아대학교병원 순환기내과 과장(현)

## □ 논문 및 저서

「Cardiac intramural arteriovenous malformations presented as ventricular tachycardia and fibrillation storm」. Pacing Clin Electrophysiol 2021;1-4

「Stereotactic Cardiac Radiation to Control Ventricular Tachycardia and Fibrillation Storm in a Patient with Apical Hypertrophic Cardiomyopathy at Burnout Stage: Case Report」. J Korean Med Sci 2020; 35: e200.

「Rapid and Potent Antiarrhythmic Effect of Cardiac Resynchronization Therapy in a Patient with Advanced Dilated Cardiomyopathy and a Large Ventricular Arrhythmia Burden」. Korean Circ J; 2017; 47: 523-7.

「Inhibition of Angiotensin II-Induced Cardiac Fibrosis by

Atorvastatin in Adiponectin Knockout Mice」. *Lipids* 2017; 52: 415-22.

「Community-Based Pre-Hospital Electrocardiogram Transmission Program for Reducing Systemic Time Delay in Acute ST-Segment Elevation Myocardial Infarction」. *Korean Circ J* 2020; 50: 709-19.