



APSF.ORG

뉴 스레터

마취 환자 안전 재단 공식 저널

전 세계적으로 연간 1,000,000명 이상의 독자가 이용

제7권 제2호

한국어 발행

2024년 6월

마취 환자 안전 재단(APSF)에서는 최근 대한 마취 통증 의학회 산하 환자 안전 위원회와 협력 관계를 체결하고 한국 국내에서 APSF 뉴스레터를 제작, 배포하기로 했습니다. 공동의 목표는 수술 전후 환자에 대한 안전 교육을 계속해서 개선하고 마취 환자 안전에 대한 국제적인 아이디어를 교환하는 것입니다. 이 뉴스레터는 영어 외에 일본어, 프랑스어, 중국어, 스페인어, 러시아어, 포르투갈어, 아랍어 등 여러 언어로 발행되어 왔습니다. 앞으로도 더욱 풍성한 콘텐츠를 위해 노력하겠습니다.



Daniel J. Cole, MD
마취 환자 안전
재단(APSF) 의장



Seung Woo Ku, MD, PhD
편집자, 교수, 마취통증의학과,
울산의대 의과대학, 서울아산병원,
대한민국 서울



Jeong-Hyun Choi, MD
편집자, 부교수, 마취 통증 의학과,
경희대학교 의과대학, 경희대학교 병원,
대한민국 서울



Byung-Moon Choi
편집자, 교수, 마취통증의학과,
울산의대 의과대학, 서울아산병원,
대한민국 서울



Hee Young Kim, MD, PhD
보조 편집자, 기금 조교수, 마취통증의학과,
부산대학교 의과대학, 양산부산대학교병원,
대한민국 경상남도 양산시



Kwon Hui Seo, MD, PhD
보조 편집자, 조교수, 마취통증의학과,
의과대학, 가톨릭대학교,
여의도성모병원, 대한민국 서울



Sung-Ae Cho, MD
보조 편집자, 조교수, 마취 통증 의학과,
건양대학교 의과대학, 건양대학교 병원,
대한민국 대전

미국에서 온 APSF 뉴스레터 한국 발행본 편집부 대표:

Steven Greenberg, MD,
FCCP, FCCM

APSF 뉴스레터 편집자

임상 교수

일리노이주 시카고 소재 시카고대학교

마취과/중환자학과

Jeffery S. Vender 일리노이주 시카고

에반스톤 노스쇼어 대학교 보건

시스템 전공 마취과 연구 교육 과장

Jennifer Banayan, MD

APSF 뉴스레터 편집자

일리노이주 시카고

노스웨스턴 대학교 파인버그 의과대학

마취과

부교수

Edward Bittner, MD, PhD

APSF 뉴스레터 보조 편집자

하버드 의과대학

마취과 부교수

매사추세츠주 보스턴의

매사추세츠 종합병원 마취과

Felipe Urdaneta, MD

플로리다주 게인즈빌

플로리다 대학교/노스 플로리다/

사우스 조지아 재향군인 의료 시스템

(NFSGVHS)

플로리다주 게인즈빌

마취 환자 안전 재단

창립 후원자(\$340,000)
미국 마취과 학회(asahq.org)



2024년 기업 자문 위원회 위원(2024년 3월 11일 현재)

플래티넘(\$50,000)



골드(\$30,000)



실버(\$15,000)

Dräger IntelliGuard

브론즈(\$10,000)

Merck Senzyme

APSF/Medtronic 환자 안전 연구 지원금(\$150,000) 지원과 기금 모금에 힘을 보태 주신 Medtronic에 특별히 감사드립니다.

기업체에서 APSF 미션을 지원하고 2024 기업 자문 위원회에 참여하는 방법을 자세히 알아보려면 apsf.org를 참조하거나 담당자 Sara Moser에게 moser@apsf.org로 문의 바랍니다.

지역사회 기부자(전문 기관, 마취과 단체, 미국 마취과 학회(ASA) 주 구성 협회, 개인 포함)

전문 기관

\$2,000 ~ \$4,999

마취 및 수술기 의학회
(Society of Academic
Associations of Anesthesiology
and Perioperative Medicine)

\$750 ~ \$1,999

미국 정골의학 마취과 대학
(American Osteopathic College
of Anesthesiologists)

미국 치과 마취과 학회(American
Society of Dentist
Anesthesiologists)

플로리다 마취 보조원 학회

(Florida Academy of
Anesthesiologist Assistants)
미국 외래 마취 학회(SAMBA)
미국 소아 마취 학회(Society for
Pediatric Anesthesia)

\$200 ~ \$749

마취과 의사 보조 교육 프로그램
협회(Association of
Anesthesiologist Assistant
Education Program)(2023 AA
학생 포스터 대회 우승자)

Alexandria Jenkins, 콜로라도주
덴버 콜로라도 대학교, 결선 진출자.
인디애나주 인디애나폴리스의
인디애나 대학교 의과대학 Isabelle
Manning, 콜로라도주 덴버의
콜로라도 대학교 Erin Daniel,
조지아주 애틀랜타의 메모리
대학교 Amy Sirizi에 대한 축하와
CAA의 Caleb Hopkins를
추모하며

마취과 단체

\$15,000 이상

북미 마취과 파트너(North American
Partners in Anesthesia)
미국 마취과 파트너(US Anesthesia
Partners)

\$5,000 ~ \$14,999

보조 마취과 의사(Associated
Anesthesiologists), PA
Frank Moya 평생교육 프로그램
(Frank Moya Continuing
Education Programs)
(Dr. Frank Moya 추모)
NorthStar 마취(NorthStar
Anesthesia)
TeamHealth

\$2,000 ~ \$4,999

C8 Health

매디슨 마취과 컨설턴트
(Madison Anesthesiology
Consultants), LLP

\$750 ~ \$1,999

스펙트럼 헬스케어 파트너
(Spectrum Healthcare
Partners), PA

**ASA 주별 분과 협회(State
Component Societies)**

\$5,000 ~ \$14,999

미네소타 마취과 의사 협회
(Minnesota Society of
Anesthesiologists)

\$2,000 ~ \$4,999

미시간 마취과 의사 협회(Michigan
Society of Anesthesiologists)
뉴욕주 마취과 의사 협회
(New York State Society
of Anesthesiologists)

\$750 ~ \$1,999

컬럼비아 마취과 의사 협회
(District of Columbia Society
of Anesthesiologists)

플로리다 마취과 의사 협회
(Florida Society of
Anesthesiologists)

조지아 마취과 의사 협회
(Georgia Society of
Anesthesiologists)

일리노이 마취과 의사 협회
(Illinois Society of
Anesthesiologists)

아이오와 마취과 의사 협회(Iowa
Society of Anesthesiologists)

켄터키 마취과 의사 협회
(Kentucky Society of
Anesthesiologists)

네브래스카 마취과 의사 협회
(Nebraska Society of
Anesthesiologists)

오하이오 마취과 의사 협회(Ohio
Society of Anesthesiologists)

오리건 마취과 의사 협회(Oregon
Society of Anesthesiologists)

펜실베이니아 마취과 의사 협회
(Pennsylvania Society
of Anesthesiologists)

\$200 ~ \$749

콜로라도 마취과 의사 협회
(Colorado Society of
Anesthesiologists)

코네티컷주 마취과 의사 협회
(Connecticut State Society
of Anesthesiologists)

미시시피 마취과 의사 협회
(Mississippi Society of
Anesthesiologists)

뉴저지주 마취과 의사 협회
(New Jersey State Society
of Anesthesiologists)

텍사스 마취과 의사 협회(Texas
Society of Anesthesiologists)
(Tajdin R. Popatia, MD, 및 Paul R.
Hummell, MD 추모)

개인

\$15,000 이상

Steven J. Barker, MD, PhD

\$5,000 ~ \$14,999

익명
Isabel Arnone (Lawrence J. Arnone,
MD에 대한 경의 표시)

Daniel J. Cole, MD

Jeffrey, Debra Feldman

James J. Lamberg, DO, FASA
Thomas L. Warren (Frank Rinaldo,
MD 추모)

Mary Ellen과 Mark Warner

\$2,000 ~ \$4,999

Robert A. Caplan, MD (Dr. Robert
Stoelting에 대한 경의 표시)

Fred Cheney, MD

Jeffrey B. Cooper, PhD

Steven Greenberg, MD

Eric P. Ho, MD

May Pian-Smith, MD, MS (Jeffrey
Cooper, PhD에 대한 경의 표시)

Drs. Ximena와 Daniel Sessler

\$750 ~ \$1,999

Donald E. Arnold, MD, FASA
Douglas R. Bacon, MD, MA (Mark
Warner, MD에 대한 경의 표시)

Doug, Jennifer Bartlett (Diana
Davidson, CRNA 추모)

Casey D. Blitt, MD

Frank, Amy Chan (Peter McGinn,
MD 추모)

Dr. Robert와 Mrs. Jeanne Cordes

Timothy Dowd, MD

Kenechi Ebiede

Thomas Ebert, MD

Alexander Hannenberg, MD

Gary와 Debra Haynes
Marshal B. Kaplan, MD 및 Pamela
Fenton, MD (Debbie, Amanda,
Maxwell에 대한 경의 표시)

Catherine Kuhn, MD

Meghan Lane-Fall, MD, MSH

Joshua Lea, CRNA

Alaric C. LeBaron

Mark C. Norris, MD

James M. Pepple, MD

Elizabeth Rebello, MD
Reede 가족(과거 현재, 미래의
APSF 가족을 위하여)

Dru Riddle

Ty A. Slatton, MD, FASA

Robert K. Stoelting, MD

Brian Thomas, JD
Butch Thomas (Bob Stoelting에
대한 경의 표시)

Dr. Donald C. Tyler

\$200 ~ \$749

Arnole Abcejo, MD

Aalok Agarwala, MD, MBA

Shane Angus, CAA, MSA

Valerie Armstead

Marilyn L. Barton (Darrell Barton
추모)

John Beard, MD

William A. Beck, MD, FASA

Drs. David와 Samantha Bernstein
Charles, Celeste Brandon (Steven
Greenberg, MD, 및 Jennifer
Banayan, MD에 대한 경의 표시)

Joseph W. Carter

Laura Cavallone, MD

Dr. Dante A. Cerza

Alexander Chaikin

Dr. Cooper C. Chao

Marlene V. Chua, MD

Jonathan B. Cohen, MD

Heather Ann Columbano

Eileen Csontos (Dr. Patrick Schafer
추모)

Robert A. Daniel

John K. DesMarteau, MD

Andrew E. Dick, MD

James F. Doebele, MD

James DuCanto, MD

Steven B. Edelstein, MD, FASA
Mike Edens와 Katie Megan

Mary Ann과 Jan Ehrenwerth, MD
Thomas R. Farrell, MD

Jim Fehr

Ronald George, MD

Ian J. Gilmour, MD

James, Lisa Grant

Allen N. Gustin, MD

Ronald Hasel, MD, BSc, DABA,
FRCP

John F. Heath, MD

Steve Howard와 Jenifer
Damewood

Jeffrey Huang, MD

Kevin Jenner

Rebecca L. Johnson, MD

Laurence A. Lang, MD

Ruthie Landau Cahana, MD

Sheldon Leslie

Michael Lewis (Jeff Apfelbaum, MD
에 대한 경의 표시)

Della M. Lin, MD

Kevin Lodge

Michael Loushin

Linda S. Magill, MD (베일리의과대학
마취과 교직원 일동 - 1991년
출판생)

Elizabeth Malinzak, MD

Christina Matadial, MD

Edwin Mathews, MD

Stacey Maxwell

Russell K McAllister, MD

Gregory McComas

Roxanne McMurray

Jay Mesrobian

Emily Methangkool, MD

Jonathan Metry, MD

Tricia Meyer, PharmD, MS, FASHP,
FTSHP

Piotr Michalowski

Sara Moser

Joseph Naples, MD (Dr. Carl Hug
추모)

Michael A. Olympio, MD

Dr. Fredrick Orkin

Frank Overdyk, MD (Anders
Pederson 추모)

Amy Pearson, MD (Stacey Maxwell
에 대한 경의 표시)

Lee S. Perrin, MD

Gregory Pivarunas

Paul Pomerantz

Scott A. Scharrel

Scott Segal

Adam Setren, MD

David A. Shapiro, MD와

Sharon L. Wheatley

Emily Sharpe, MD

Stephen J. Skahan, MD

Brad Steenwyk

Samuel Tirer

Andrea Vannucci

Matthew B. Weinger, MD

Andrew Weisinger

Shannon과 Yan Xiao

Zheng Xie

John V. Zipper, MD

Toni Zito

레거시 협회
[https://www.apsf.org/
donate/legacy-society/](https://www.apsf.org/donate/legacy-society/)

Steve와 Janice Barker

Dan과 Cristine Cole

Karma와 Jeffrey Cooper

Burton A. Dole, Jr.

Dr. John H.과 Mrs. Marsha Eichhorn

Jeff와 Debra Feldman

David Gaba, MD와 Deanna Mann

Drs. Alex와 Carol Hannenberg

Drs. Joy L. Hawkins와 Randall

M. Clark

Dr. Eric과 Marjorie Ho

Drs. Michael과 Georgia Olympio

Lynn과 Fred Reede

Bill, Patty, Curran Reilly

Dru와 Arnie Riddle

Steven Sanford

Dr. Ephraim S.(Rick)과 Eileen Siker

Robert K. Stoelting, MD

Brian J. Thomas, JD와 Keri Voss

Mary Ellen과 Mark Warner

Drs. Susan과 Don Watson

Matthew B. Weinger, MD와

Lisa Price

참고: 기부는 언제든지 환영합니다. 온라인(https://www.apsf.org/donate_form.php) 또는 우편(APSF, P.O. Box 6668, Rochester, MN 55903)으로 기부 가능합니다.
(2022년 04월 1일~2024년 3월 31일까지의 최신 기부자 명단입니다.)

목차

기사 목록:

수술 중 저혈압: 마취과 전문가 대상 안전 공지.....	18페이지
수술 전후 품질 개선, 리서치, 환자 안전성 강화를 위한 빅 데이터 도구 및 머신러닝 사용 프레임워크의 진화.....	22페이지
오피오이드로 인한 호흡 억제 - 소아 관련 고려 사항.....	27페이지

APSF 공지사항:

APSF 기부자 페이지.....	16페이지
저자용 가이드.....	17페이지
클라우드 편딩.....	26페이지
스포트라이트: 레거시 협회 멤버 소개.....	31페이지
APSF Stoelting 콘퍼런스 2024 공지 사항: 마취 진료의 변화: 약물 오류 및 오피오이드 안전에 대한 심층 분석.....	32페이지
소셜 미디어 채널을 팔로우하세요!.....	32페이지
APSF 뉴스레터 전 세계에 배포.....	33페이지
2024 이사회 구성원 및 위원회 위원:.....	https://www.apsf.org/about-apsf/board-committees/

저자용 가이드

기사 제출을 위한 구체적인 요건이 기재된 자세한 저자용 가이드를 온라인에서 확인하실 수 있습니다(<https://www.apsf.org/authorguide>).

APSF 뉴스레터는 마취 환자 안전 재단(APSF)의 공식 저널입니다. 이는 다양한 마취 전문가, 수술 전후 관리 제공자, 주요 업계 대표자, 위험 관리자에게 널리 배포됩니다. 따라서 저자들은 환자 안전에 대한 다학제적이고 다전문적인 접근 방식을 강조하고 포함하는 내용을 써주시기를 강력히 권고드립니다. 뉴스레터는 1년에 3회(2월, 6월, 10월) 발행됩니다. 각 호 마감일은 다음과 같습니다. 1) 2월호: 11월 10일, 2) 6월호: 3월 10일, 3) 10월호: 7월 10일 뉴스레터는 보통 마취와 관련한 수술 전후 환자 안전 위주의 내용을 다룹니다. 내용에 관한 결정과 출판물 제출 승인에 대한 결정은 편집자의 책임입니다.

- 모든 제출물은 이메일 newsletter@apsf.org로 보내 주셔야 합니다.
- 제목 페이지를 포함하여 제출물의 제목, 각 기고자의 성명, 소속, 이해 상충 성명서를 기재해 주시기를 바랍니다. 또한, APSF 환자 안전 우선 순위 목록에서 기사 제출과 일치하는 주요 키워드를 제공하십시오. 두 번째 페이지에는 원고 제목을 기재하고, 제목 아래에는 '작성자:'라는 단어와 함께 모든 저자와 학위를 기재하십시오.
- APSF 웹사이트에서 본인의 작업물을 홍보할 때 사용할 수 있도록 제출물의 요약본(3~5 문장)을 함께 기재해 주십시오.
- 모든 제출물은 Microsoft Word에 Times New Roman 폰트, 이중 간격, 글꼴 크기 12로 작성되어야 합니다.
- 원고에 페이지 번호를 기재해 주십시오.

- 참고 문헌은 미국 의학회(American Medical Association)의 인용 스타일을 준수해야 합니다.
- 참고 문헌은 원고 본문 내에 위치자 번호로 포함되어야 합니다.
- 제출물에 Endnote 또는 기타 서지관리 소프트웨어 도구를 사용한 경우 제목 페이지에 기재해 주십시오.
- 저자는 출처에 대한 전체 세부 정보와 함께 다른 곳에 나타난 직접 인용문, 표, 그림, 삽화 등을 사용하기 위해서는 저작권 소유자의 서면 허가를 제출해야 합니다. 저작권 소유자가 요구할 수 있는 모든 허가 수수료는 APSF가 아니라, 빌린 자료의 사용을 요청하는 저자의 책임입니다. 출판되지 않은 그림은 해당 저자의 허가가 필요합니다.

기사 유형에는 (1) 리뷰 기사, 찬반 토론 및 사설, (2) 질의응답(Q&A), (3) 편집자에게 보내는 편지, (4) 신속한 답변 등이 있습니다.

- 리뷰 기사, 찬반 토론 및 사설은 원본 원고입니다. 이 기사들은 환자 안전 문제에 초점을 맞춘 내용이어야 하며, 적절한 참고 문헌이 있어야 합니다. 참고 문헌은 25개 이하여야 하며, 2,000 단어 제한이 있습니다. 그림 및/또는 표 사용을 적극 권장합니다.
- 마취 환자 안전에 관한 독자의 질문을 다룬 Q&A 기사는 전문 지식을 갖춘 전문가나 지정 컨설턴트가 답변을 제공합니다. 기고문 분량은 750단어로 제한됩니다

- 편집자에게 보내는 편지는 언제나 환영이며, 500 단어 제한이 있습니다. 참고 문헌을 적절히 포함해 주십시오.

- 신속 응답(독자가 보낸 문의 사항)은 기존 "SIRS 문의 사항"(Safety Information Response System, 안전 정보 응답 시스템)의 새로운 버전입니다. 독자가 제기한 기술 관련 안전성 우려 사항을 신속하게 소통하고, 이를 통해 제조업체와 업계 담당자의 의견과 응답을 제공합니다. 현재 기술 위원회(Committee on Technology) 위원장인 Jeffrey Feldman, MD가 칼럼을 총괄하고 독자들의 질문과 업계의 답변을 조정합니다.

APSF 뉴스레터에서는 비판 상품을 광고 또는 옹호하지 않습니다. 다만, 편집자가 특별히 고려한 결과 참신하고 중요한 안전 관련 기술적 발전 특정 사례를 다룬 기고문이라면 게재될 가능성이 있습니다. 기고자는 해당 기술이나 상업적 제품에 대해 상업적 관계나 금전적 이해관계가 없어야 합니다.

게재하기로 승인되면, 승인된 기고문에 대한 저작권이 APSF로 이전됩니다. APSF 뉴스레터에 실린 기고문, 그림, 표 또는 콘텐츠를 재생산하려면 APSF에 허가를 받아야 합니다.

궁금한 점이 있으시면 newsletter@apsf.org로 문의 바랍니다.



APSF.ORG

뉴

스

레

터

마취 환자 안전 재단 공식 저널

인용: Yerdon A, Sherrer DM, Chappell D.
Intraoperative hypotension: a public safety
announcement for anesthesia professionals.
APSF Newsletter. 2024;42-45.

수술 중 저혈압: 마취과 전문가 대상 안전 공지

글: Amy Yerdon, DNP, MNA, CRNA, CNE, CHSE, D. Matthew Sherrer, MD, MBA, FASA, FAACD, Desiree Chappell, MSNA, CRNA, FAANA

마취 전문가가 환자에게 흔히 받는 요청 사항은 “잘 부탁드립니다”라는 말입니다. “예, 그러겠습니다”라고 자신있게 답하겠지만, 많은 마취 전문가들이 수술 중 저혈압(IOH)과 환자 이환율 및 사망률에 관한 데이터가 점점 늘어나고 있다는 사실을 알지 못할 수 있습니다. IOH가 좋지 않은 수술 후 결과와 상관관계가 있다는 점을 뒷받침하는 증거가 점점 쌓이고 있습니다. 특히 급성신부전(Acute Kidney Injury, AKI), 비심장수술 후 심근 손상, 사망과의 관련성이 부각됩니다.^{1,9} 최근 연구에서는 IOH와 섬망, 뇌졸중, 재입원 사이 연관관계도 밝혀졌습니다.^{1,4,9-11} IOH 관련 합병증은 환자와 의료 서비스 시스템에 지대한 영향을 미칩니다. 급성 신부전 자체만으로 뇌졸중, 심근 손상, 만성 신장 질환과 같은 추가적인 합병증 발병이나 병원 내 및 1년 내 사망률 양쪽 모두와도 관계가 있고, 입원 기간 증가, 의료 서비스 자원 활용, 의료 서비스 비용과도 연관성이 있습니다.^{4,12,13} 마취 전문가는 특히 수술 후 결과 데이터를 받아보지 않는 경우, 이처럼 놀라운 결과를 전혀 모를 수도 있습니다. 증거 자료에 따르면 우리는 환자 피해를 막기 위해 반드시 IOH를 줄여야만 합니다.

수술 중 저혈압은 혈압(Blood Pressure, BP)이 “안전 임계값” 미만으로 떨어져 장기 관류 저하를 유발하는 현상으로 정의됩니다.^{1,9} IOH 발생은 어느 정의를 사용하느냐에 좌우되며, 여기에는 혈압 감소 정도와 감소 기간이 둘 다 연관될 수 있습니다. 한 연구에서 IOH와 AKI 및 심근 손상 사이 관계를 평가했습니다.² 여기에서는 기준치(예: 수술 전 BP 대비 20% 미만)로부터의 상대적 감소 및 절대적 임계값을 둘 다 사용하여 IOH를 정의해 평가를 실시했습니다. 연구 결과, 절대적 임계값과 상대적 임계값 둘 다 심근 손상이나 심부전이 발생한 환자와 없는 환자를 구분하는 데 비슷한 역할을 할 수 있는 것으로 드러났으며, 따라서 절대적 임계값을 사용할 수 있다는 결론을 내렸습니다. 평균 동맥압(Mean Arterial Pressures, MAP)이 65mm Hg 미만으로 1분 지속되는 경우 AKI 및 심근 손상 위험이 커지는 것으로 나타났습니다.² IOH 지속 기간이 길수록 AKI와 심근 손상이 발생할 위험도 커집니다.² 이 사실을 알게 되면서 IOH를 MAP가 65mm Hg 미만으로 1분 이상 지속되는 상태로 정의하게 되었습니다.²

2017년부터 2022년 후반까지 시중에서 구할 수 있는 IOH 관련 발행물을 검토하고, 최근의 관련 연구와 취합한 결과 IOH의 가장 보편적인 정의는 65 mm Hg미만의 MAP^{1,4,6,10,14-18} 또는 최소 1분간

표 1. 4가지 연구에서 다른 IOH 사건 비교

IOH 사건(MAP < 65MM HG)					
	Gregory ¹	Chiu ⁶	Saasouh ³⁰	Shah ²⁷	
환자(n)	368,222	32,250	127,095	22,100	
IOH 지속 기간	적어도 1회 이상	적어도 1회 이상	≥ 15분	≥ 1분	≥ 10분
IOH가 발생한 환자	19.3%	*	29%	88%	31%
평균 지속 기간(분)	22	23.9	36.2	28.2	

*연구 내용에는 표시되지 않았습니다

65mm Hg 미만의 MAP로 나타났습니다.^{8,10,19-26} 이러한 절대적 MAP 임계값을 사용하면, IOH는 놀랄 정도로 흔합니다. 최근 환자 22,000여 명을 대상으로 실시한 다기관 후향적 관찰연구에 따르면, 비심장 수술 환자 중 88%는 적어도 한 번 이상 IOH를 경험한 적이 있다고 합니다(평균 지속 기간 28.2분)(표 1 참조).²⁷ 이 연구의 연구진은 연구 대상 기관 11곳의 IOH 관리에 상당한 실무적 편차(practice variation)가 있다고 지적하여, 의료 서비스 제공자마다 IOH 허용치가 다르다는 사실을 암시했습니다.²⁷

미국 의료보험 및 의료급여 서비스 센터(CMS)에서는 15분 이상 MAP < 65mmHg로 정의되는 새로운 IOH 측정 기준을 성과 기반 인센티브 지불 시스템(Merit-Based Incentive Payment System, MIPS)의 기준으로 인정합니다.²⁸ 전체 IOH 측정 점수가 낮으면 정의된 MAP 미만으로 감소한 시간이 짧다는 뜻입니다.²⁸ MIPS 점수는 문제의 수준(quality), 해결하고자 하는 중재 정도, 상호 운용성 추구 및 비용에 따른 성과 측정치 기반입니다. ePreop³¹ 측정치는 MIPS 점수 중 수준 부분에 대해 제출할 수 있는 6가지 마취 측정치 중 하나입니다.^{28,29} 최종 MIPS 점수에 따라 Medicare Part B 보험 클레임에 적용되는 지급금 조정분이 달라집니다.²⁹ CMS MIPS에 따른 IOH 정의를 이용해 실시한 최근 연구 결과, 마취과 계열에서 IOH 발생률은 비심장 수술에서 29%에 달하는 것으로 나타났습니다.³⁰ 이 연구에서는 임상마다 IOH 발생 건수가 각기 다른 것으로 나타나, IOH 관리 서비스 변이를 줄여야 한다는 주장을 뒷받침하는 방대한 증거에 힘을 실었습니다.^{14,30,31} 이 연구의 연구진은 IOH를 조절할 수 있는 위험 요소로 보고, IOH 허용치를 줄이기 위한 품질 개선 이니셔티브를 추진해야 한다고 주장했습니다.³⁰

IOH 정의와 무관한 공통된 주제는 저혈압 정도가 심하고 누적 저혈압 지속 기간이 길수록 환자의 이환율 및 사망률 증가와 관련성이 높다는 사실입니다. 많은 연구에서 MAP가 장기간 65mm Hg 미만으로 유지되거나, 한번이라도 MAP가 55mm Hg 이하로 유지되는 경우, 예후가 좋지 않을 위험이 큰 것으로 밝혀졌습니다.^{1-3,9,16,17,32} 따라서 우리는 간단히 말해 **반드시** IOH의 발생 건수, 심각도, 지속 기간을 최소한으로 줄여야 합니다.

IOH는 상완 커프를 사용하는 기존의 간헐적 진동 방식 혈압(intermittent oscillometric BP, IOBP) 모니터링으로는 줄이기 어려울 수 있습니다. IOBP 모니터링 방식에 따르는 우려 사항으로는 혈압 변동이나 저혈압 에피소드 감지가 늦어지거나 놓칠 가능성, 혈액학적으로 극단적인 경우 정확도가 떨어지고, 저혈압 발생 시 BP를 과대평가하여 생각보다 더 심각한 에피소드가 발생할 가능성이 있습니다.^{19,33} IOBP 모니터링 이용 시 저혈압 이벤트를 놓칠 가능성은 선택한 측정 빈도나 생명 징후 모니터의 기본 설정에 따라 달라질 수 있습니다. 최근 한 연구에서는 IOBP 측정을 위해 선택하는 가장 보편적인 빈도는 2~5분 간격인 것으로 드러났습니다.²⁵ 빈도를 어떻게 설정하면 측정 간 탐지되지 않은 저혈압 기간(분)이 발생할 수 있고, 이때문에 환자가 피해를 볼 위험이 커집니다. 또한 이 문제는 지속적인 모니터링으로 최소화할 수도 있었을 사안입니다.^{15,19,25}

새로운 연구 다수에 따르면 지속적 BP 모니터링을 이용하는 것이 IOBP 대비 여러 가지 장점이 있습니다. 예를 들어 BP 가변성이 덜하고,¹⁶ 혈액학적 안정성이 개선되며,³³ IOBP로는 놓치는 저혈압 에피소드를 감지할 수 있고,¹⁹ IOH를 조기 인식하여 치료할 수 있으며,^{15,25} 전반적으로 IOH를 줄이는 데 도움이 됩니다.^{15,19,25,33} 지속적 BP 모니터링

다음 페이지의 “IOH” 참조

임상의의 IOH 발생률, 심각도, 지속 기간 최소화 의무

이전 페이지 “IOH”에 이어서

은 동맥 주사 BP 모니터링을 통해 침해적인 방식으로 실시할 수 있지만, 이 경우 감염, 신경 손상, 혈전, 거짓 동맥류가 발생할 위험이 있습니다.²⁵ 손가락 커프를 사용한 지속적, 비침습적 BP 모니터링을 사용하면 침습적 동맥 주사와 연관된 위험은 방지하면서 그와 비등한 MAP 값을 얻을 수 있습니다.^{25,33} 이 기술의 한계로는 간헐적 진동 방식보다 비용이 많이 든다는 점, 그리고 고령 환자나 동맥 경화증 환자의 경우 정확도가 떨어질 가능성이 있다는 점이 있습니다.^{25,34,35} 최근 연구에 설

명된 비침해적 손가락 커프의 경우, 손가락 동맥에 다양한 커프 압력을 적용하는 볼륨 클램프 기술을 사용하여 일정한 볼륨을 유지합니다.^{25,33} 손가락 동맥의 BP를 동맥 파형으로 재구성하여 맥파 분석을 실시할 수 있으며, 이를 통해 IOH의 원인을 판단하는 데 유용한 고급 혈역학 변수(예: 1회 박출량, 심박출량, 1회 박출량 변이 등)를 얻을 수 있습니다.²⁵ 비침해적 손가락 커프는 외과 수술 중에 동맥 혈 샘플이 필요하지 않은 경우 지속적인 BP 모니터링에 적절한 옵션일 수 있습니다.³³

수액 관리나 승압제 관리가 부적절하면 장기 관류 저하를 유발하여 장기 손상을 초래할 수 있습니다. 따라서 이러한 문제를 방지하기 위한 전략이 매우 중요합니다.^{1,3,6,7,12,32} 어떤 논문에서는 IOH와 무관한, 승압제 사용량이 많은 경우 수술 후 AKI 발생과의 관련성을 설명했습니다.¹² 또 다른 한 연구에서는 ERAS 프로토콜과 함께 수액 제한을 시행한 것이 수술 후 저혈압 발생 건수가 대폭 증가한 것과 밀접한 관련이 있는 것 같다는 결론을 제시했습니다.³¹ 이 연구에서는 수술 후 저혈압이 발생한 환자가 IOH도 경험한 경우가 많고, 수술 중 투입한 수액 전체 양도 적은 것으로 나타났습니다. 최근 다기관 수술 전후 결과 그룹(Multicenter Perioperative Outcomes Group, MPOG) 기관에서 32,000명 이상의 복부 수술 환자를 대상으로 실시한 5년간의 다기관 후향적 연구에서 전반적인 IOH 감소에도 불구하고 AKI 비율이 증가하는 것이 관찰되었습니다.⁶ 또한 수술 중 수액 투입이 줄고 승압제 사용량이 늘어났는데, 이는 둘 다 AKI 발생 건수가 증가한 것과 연관성이 있습니다. 결정질 용액(crystalloid) 투약량을 시간당 킬로그램당

1mL에서 10mL로 늘리자(mL/kg/hr) AKI 위험성이 58% 감소했습니다. 이와 같은 가슴 아픈 조사 결과는 수액 투여를 최소한으로 제한하면서 BP를 유지하기 위해 승압제에 의존하면 이미 손상된 비장 및 신장 관류를 더욱 저해하고, 장폐색이나 수술 후 메스꺼움과 구토, 수술 부위 감염 및 AKI와 같은 의인성 피해를 초래할 가능성이 있다는 생리학적 개념을 뒷받침합니다.^{6,7,12,36}

IOH의 원인은 다원적이며 심근 수축력 감소, 혈관 확장, 저혈량증, 느린맥, 심실 외벽 압박(예: 심낭 삼출 또는 기흉 등)이나 여러가지 혈역학적 변화로 설명될 수 있는 “혼합 유형”이 대표적입니다.^{8,18} 고급 혈역학적 변수(예: 1회 박출량, 심박출량, 1회 박출량 변이 등)를 제공하는 모니터링을 사용하면 저혈압을 방지, 진단, 치료하는 데 유용할 가능성이 있습니다.⁸ 그러면 단순히 생리적 모니터링에 표시되는 MAP 수치를 개선하는 것이 아니라 목표 지향적 치료(Goal-directed therapy, GDT) 전략을 사용하여 IOH의 근본 원인을 겨냥한 개입을 할 수 있습니다.

GDT라는 용어는 고급 혈역학적 모니터링을 사용해 가장 적절한 시기에 수액, 감심제 및 혈관수축제를 사용하는 최적의 투약 방법을 나타내는 포괄적인 용어로 개념화할 수 있습니다. GDT 전략 틀 안에서 구사하는 수술 중 개입 기법은 조직 산소 전달을 최적화하고 장기 관류 저하를 예방하기 위한 특정 종착점이나 목표를 지향합니다(그림 1 참조).^{5,17} 혈역학적 모니터링은 이러한 개입 치료에 대한 환자의 반응성을 평가하는 데 사용됩니다. 목표 지향적 수액 치료(Goal-directed fluid therapy, GDFT)는 최신 GDT 개념 중 최초이자 가장 보편적

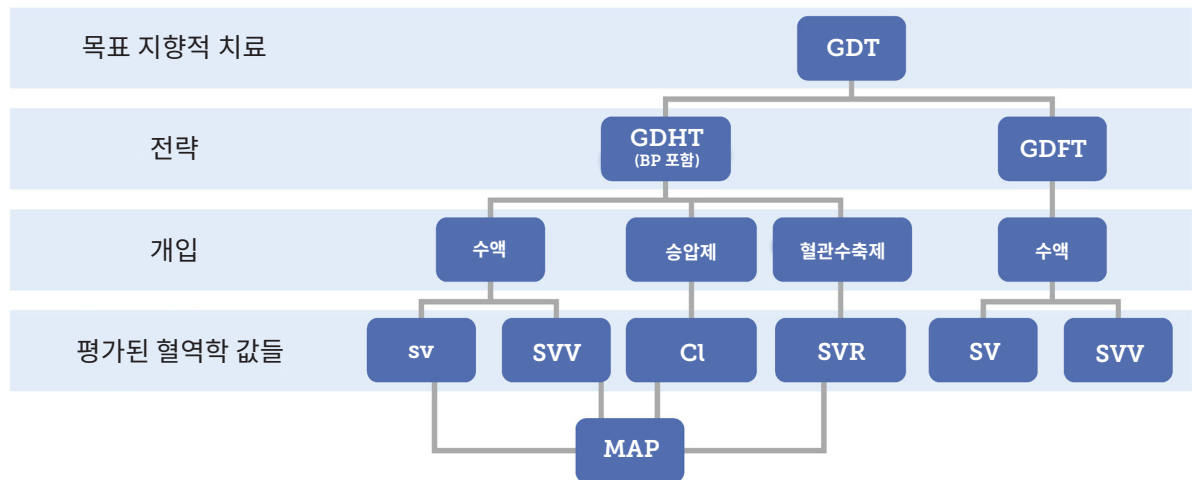


그림 1. GDT 전략의 구성 요소를 나타낸 그림. GDHT와 GDFT 전략을 개념적으로 병합하고, 구체적인 표적화 개입 요법의 지침으로 삼을 혈역학적 수치도 함께 적용.

GDT: 목표 지향적 치료(Goal-directed therapy), GDHT: 목표 지향적 혈역학적 치료(Goal-directed hemodynamic therapy), GDFT: 목표 지향적 수액 치료(Goal-directed fluid therapy), GDFT: 1회 박출량(Stroke volume), SV: 1회 박출량 변이(Stroke volume variation), SVV: 심장 박출 지수(Cardiac index), CI: 전신 혈관 저항(Systemic vascular resistance), SVR: 평균 동맥압(Mean arterial pressure), MAP

인 버전입니다. 고급 혈역학 모니터는 전부하 의존도(preload dependence)를 파악하는 데 사용되어, 프랑크-스탈링 곡선에서 환자의 위치를 최적화하기 위한 수액 볼류스 치료법을 결정하는 데 보조 자료로 쓰이며, 이후 수액에 대한 반응성을 평가하는 데도 사용됩니다.^{7,17} 수액 관리에 관한 2020년 수술 전후 품질 이니셔티브(Perioperative Quality Initiative, POQI) 치료 지침에서는 수액 요법의 지침으로 삼을 가장 안전하고 효과적인 방법은 수액 반응성 평가라는 사실을 확인했습니다.⁷ 또한 수액으로 SV를 최적화하면 위장관류가 개선되고 합병증 발생이 줄어드는 것으로 확인되어, 적절한 순환 볼류와 소화관 혈류의 중요성이 강조되었습니다.³⁶ 목표 지향적 혈역학적 치료(Goal-directed hemodynamic therapy, GDHT)는 GDT의 또 다른 구성 요소로, 프로토콜에 IOH가 발생하지 않도록 방지하기 위해 MAP 유지 관리를 포함하여 원래 GDFT 전략을 개선하는 기법입니다.¹⁷ GDT 전략에 혈역학적 최적화를 포함하면 사망률 대폭 감소와 밀접한 관련이 있습니다.^{5,11,32} 그림 1에 최신 GDT 개념을 설명하였습니다. 우선 GDFT 버전이 생기고, 이후 혈류에 대한 포괄적인 전망을 포함한 GDHT를 포함한 구성 요소를 아우르는 개념입니다.

IOH의 원인별로 적절한 치료법을 결정하고 혈역학을 최적화하기 위해 고급 혈역학 모니터링과 GDT 프로토콜을 활용한 여러 연구에서 수술 후 합병증이 대폭 감소한 것으로 나타났습니다.^{5,11,24,32} 한 연구에서는 GDHT 프로토콜을 사용한 결과 랜드마크 FEDORA 임상시험에서 위험성이 낮거나

다음 페이지의 “IOH” 참조

IOH는 심각한 공중 보건 사안

이전 페이지 “IOH”에 이어서

중간인 환자의 합병증 및 입원 기간(Length Of Stay, LOS) 감소 효과가 있는 것으로 드러났습니다.⁵ 중대한 외과 수술을 앞둔 고위험 환자를 대상으로 포함한 또 다른 연구에서도 GDHT 프로토콜을 사용했습니다. 이 임상시험 결과 수술 후 장기 기능 장애 위험이 감소한 것으로 나타났습니다.³² 후자로 언급된 이 연구의 한 가지 강점은 1회 박출량을 최적화하기 위한 수액 투약의 지침으로 프로토콜화된 혈액학 알고리즘을 사용했다는 것입니다. 이는 혈관 내 볼륨과 장기 혈류압을 유지하고, 관류 저하를 예방하는 효과가 있었습니다. 척추 수술을 받게 된 고령 환자를 대상으로 한 어느 연구에서는 GDT 프로토콜을 적용하자 대조군 대비 GDT 집단에서 IOH가 감소하고 수술 후 메스꺼움과 구토, 섬망 증세가 적게 발생한 것으로 나타났습니다.¹¹ 또한 GDT 프로토콜을 이용한 다른 여러 연구에서도 IOH가 감소한 것으로 보고되어, IOH 원인 표적화를 목표로 치료 지침으로서 이 프로토콜을 이용하는 것이 좋다는 근거가 마련되었습니다.^{21,23,24} GDT는 위험도가 낮음, 중간, 높음인 환자를 포함해 광범위한 환자에게 유익한 것으로 입증되었습니다.

IOH와 부정적 예후와의 관련성에 관한 2021년 논문에서, IOH는 “**심각한 공중 보건 사안**”이라고 설명되었으며, 어떠한 연령대에도, 어느 시점에도 절대 용납할 수 없다고 명시되었습니다.¹ 이 논문의 연구진은 IOH에 노출될 위험이 있는 인구집단의 규모가 워낙 크기 때문에, IOH 예방에 중점을 둔 향후 연구가 시급하다고 촉구했습니다. 기존 혈액학적 관리의 경우 IOH가 발생한 뒤에 이에 대응 치료를 적용하는 데 의존하는데, 이는 이미 장기 손상을 유발한 뒤이기 때문에 너무 늦습니다.²⁰ 2021년에 발간된 APSF 뉴스레터 기고문에서 Sessler는 인공 지능과 머신 러닝에 기반한 첨단 기술로 IOH를 예측하면 유익할 것이라는 전망을 던지시 언급했습니다.³⁷ 이후 무수히 많은 연구가 출간되어 IOH를 정확하게 예측하고 줄이는 데 신기술을 이용하는 것이 효용이 있다는 사실을 입증해 왔습니다.^{8,20~23,26} 그와 같이 IOH가 발생할 임박한 가능성 유무와 그 근본 원인을 예측하는 데 이용할 수 있는 기술 중에 일명 저혈압 예측 지수(Hypotension Prediction Index, HPI)라는 변수를 활용하는 것이 있습니다. HPI를 이용하면 0~100의 척도로 단위 없는 수치가 제공되어 저혈압 이벤트가 발생할 확률을 얻을 수 있습니다.³⁸ 임박한 IOH의 근본 원인과 관련해 모니터에서 제공받은 정보를 활용하면 임상 의사 표적화 치료법을 적용해 적절하게 개입할 수 있고, 따라서 IOH를 예방할 수 있습니다. IOH 감소를 위한 HPI의 기능을 평가하기 위해 실시한 무작위 배정 임상시험을 전체적으로 검토한 결과, 연구진은 HPI가 비심장 수술 중 IOH의 발생률, 지

다음 단계



행동의 요구 (Call to Action)



수술 후 AKI 측정



병원에서 일선 마취 전문가에게 결과 보고



IOH에 대한 지속적 교육



가능한 경우/해당하는 경우 지속적인 혈액학적 모니터링 사용 강화



혈액학적 관리를 위한 예측형 알고리즘



술기 변이를 줄이기 위한 프로토콜화

그림2. 마취 전문가를 위한 다음 단계 제안. 그림에는 최근 출간된 권장 치료 지침 및 APSF 모범 사례도 포함하여 IOH 및 그와 관련된 환자 피해를 최소화한다는 목표의 실현을 돕고자 함.³⁹

AKI: 급성 신부전(acute kidney injury), IOH: 수술 중 저혈압(Intraoperative Hypotension)

속 기간, 심각도를 낮출 잠재력이 있다고 명시했으니 이 기술을 이용할 때는 관리 방법을 프로토콜화하여 준수하는 것이 중요하다고 강조했습니다.²² 이 조사 결과로 IOH 발생률을 낮추는 데 진료 편차를 줄이는 것이 중요한 역할을 한다는 사실을 뒷받침합니다.

마취 전문가는 환자를 위해 우수한 마취 치료를 제공하려고 노력하지만, 그들의 혈액학적 관리가 얼마나 치명적인 결과를 불러올 수 있는지는 인지하지 못할 수도 있습니다. Gregory와 동료 의료진이 강력하게 표명한 것과 같이, IOH는 “**공공 안전과 관련된 사안**”이며, 반드시 최소화해야 합니다.¹ 이 목표를 이루려면 단계별로 접근하는 것이 좋을 수 있습니다. 그림 2에 이 글의 필진이 제안하는 다음 단계를 목록으로 기재했습니다. 특히 최근에 발간된 권장 치료 지침과 APSF 모범 사례도 포함했으니 참조 바랍니다.³⁹

우리는 IOH가 보편적인 문제점임을 인정하고 교육을 통해, 그리고 AKI나 비심장 수술 후 심근 손상과 같은 수술 후 결과를 모니터링하고 추적함으로써 동료들 사이 인식을 제고해야 합니다. 환자의 IOH를 미처 감지하지 못하는 불상사를 막기 위해 고급 혈액학적 측정 기술을 활용해 지속적으로 모니터링해야 합니다. 승압제를 사용해 모니터에 표시된 수치대로 치료하기보다는 문제를 해결하기 위해 순환을 조절하여(예: GDT 프로토콜) 혈액학적으로 적절히 관리해야 합니다. IOH는 경감할 수 있는 위험 요소이며, 단적으로 말해 더 이상 용인해서는 안 됩니다.

Amy Yerdon은(DNP, MNA, CRNA, CNE, CHSE) 앨라배마주 버밍햄 앨라배마대학교 버밍햄 간호대학교 조교수 겸 마취 전문 간호사 프로그램(Nurse Anesthesia Program) 프로그램 디렉터 보조입니다.

D. Matthew Sherrer은(MD, MBA, FASA, FAACD) 앨라배마주 버밍햄 앨라배마대학교 마취 및 수술 전후 의학과 부교수입니다.

Desiree Chappell은(MSNA, CRNA, FAANA) 켄터키주 루이빌 NorthStar Anesthesia의 임상 품질부서 부사장(VP)입니다.

Amy Yerdon은(DNP, MNA, CRNA) Edwards Lifescience의 발원권자 위원회(Speakers' Bureau) 위원입니다. D. Matthew Sherrer에게는(MD, MBA, FASA, FAACD) 이해 상충이 없습니다. Desiree Chappell은(MSNA, CRNA, FAANA), TopMedTalk의 편집장 겸 간판 앵커이며, Edwards Lifesciences and Medtronic의 발원권자 위원회(Speakers' Bureau) 위원, Provation 자문위원회 위원입니다.

참고 문헌

- Gregory A, Stapelfeldt W, Khanna A, et al. Intraoperative hypotension is associated with adverse clinical outcomes after noncardiac surgery. *Anesth Analg*. 2021 ;132:1654–1665. PMID: [33177322](#).
- Salmasi V, Maheshwari K, Yang D, et al. Relationship between intraoperative hypotension, defined by either reduction from baseline or absolute thresholds, and acute kidney and myocardial injury after noncardiac surgery: a retrospective cohort analysis. *Anesthesiology*. 2017;126:47–65. PMID: [27792044](#).

다음 페이지의 “IOH” 참조

임상의의 수술 중 저혈압 방지를 위한 지속적인 노력 의무

이전 페이지 “IOH”에 이어서

3. Wesselink E, Kappen T, Torn H, et al. Intraoperative hypotension and the risk of postoperative adverse outcomes: a systematic review. *Br J Anaesth*. 2018;121:706–721. PMID: 30236233.
4. Stapelfeldt WH, Khanna AK, Shaw AD, et al. Association of perioperative hypotension with subsequent greater healthcare resource utilization. *J Clin Anesth*. 2021;75. PMID: 34536719.
5. Calvo-Vecino JM, Ripollés-Melchor J, Mythen MG, et al. Effect of goal-directed haemodynamic therapy on postoperative complications in low–moderate risk surgical patients: a multicentre randomized controlled trial (FEDORA trial). *Br J Anaesth*. 2018;120:734–744.
6. Chiu C, Fong N, Lazzareschi D, et al. Fluids, vasopressors, and acute kidney injury after major abdominal surgery between 2015 and 2019: A multicenter retrospective analysis. *Br J Anaesth*. 2022;123:317–326. PMID: 29576114.
7. Martin GS, Kaufman DA, Marik PE, et al. Perioperative Quality Initiative (POQI) consensus statement on fundamental concepts in perioperative fluid management: fluid responsiveness and venous capacitance. *Perioper Med (Lond)*. 2020;9:1–12. PMID: 32337020.
8. Ranucci M, Barile L, Ambrogio F, Pistuddi V. Surgical and Clinical Outcome Research (SCORE) Group. Discrimination and calibration properties of the hypotension probability indicator during cardiac and vascular surgery. *Minerva Anestesiol*. 2019;85:724–730. PMID: 30481996.
9. Putowski Z, Czajka S, Krzyż L. Association between intraoperative BP drop and clinically significant hypoperfusion in abdominal surgery: a cohort study. *J Clin Med*. 2021;10(21):5010. PMID: 34768530.
10. Maheshwari K, Ahuja S, Khanna AK, et al. Association between perioperative hypotension and delirium in postoperative critically ill patients: a retrospective cohort analysis. *Anesth Analg*. 2020;130:636–643. PMID: 31725024.
11. Zhang N, Liang M, Zhang D, et al. Effect of goal-directed fluid therapy on early cognitive function in elderly patients with spinal stenosis: a case-control study. *Int J Surg*. 2018;54:201–205. PMID: 29678619.
12. Ariyaratna D, Bhonsle A, Nim J, et al. Intraoperative vasopressor use and early postoperative acute kidney injury in elderly patients undergoing elective noncardiac surgery. *Ren Fail*. 2022;44:648–659. PMID: 35403562.
13. French WB, Shah PR, Fatani YI, et al. Mortality and costs associated with acute kidney injury following major elective, non-cardiac surgery. *J Clin Anesth*. 2022;82:110933. PMID: 35933842.
14. Christensen AL, Jacobs E, Maheshwari K, et al. Development and evaluation of a risk-adjusted measure of intraoperative hypotension in patients having nonemergent, noncardiac surgery. *Anesth Analg*. 2021;133:445–454. PMID: 33264120.
15. Maheshwari K, Khanna S, Bajracharya GR, et al. A randomized trial of continuous noninvasive BP monitoring during noncardiac surgery. *Anesth Analg*. 2018;127:424–431. PMID: 29916861.
16. Park S, Lee HC, Jung CW, et al. Intraoperative arterial pressure variability and postoperative acute kidney injury. *Clin J Am Soc Nephrol*. 2020;15:35–46. PMID: 31888922.
17. French WB, Scott M. Fluid and hemodynamics. *Anesthesiol Clin*. 2022;40:59–71. PMID: 35236583.
18. Kouz K, Brockmann L, Timmermann LM, et al. Endotypes of intraoperative hypotension during major abdominal surgery: a retrospective machine learning analysis of an observational cohort study. *Br J Anaesth*. 2023;130:253–261. PMID: 36526483.
19. Kouz K, Weidemann F, Naebian A, et al. Continuous finger-cuff versus intermittent oscillometric arterial pressure monitoring and hypotension during induction of anesthesia and noncardiac surgery: the DETECT Randomized Trial. *Anesthesiology*. 2023;139:298–308. PMID: 37265355.
20. Frassanito L, Giuri PP, Vassalli F, et al. Hypotension Prediction Index with non-invasive continuous arterial pressure waveforms (ClearSight): clinical performance in gynaecologic oncologic surgery. *J Clin Monit Comput*. 2022;36:1325–1332. PMID: 34618291.
21. Grundmann CD, Wischermann JM, Fassbender P, et al. Hemodynamic monitoring with Hypotension Prediction Index versus arterial waveform analysis alone and incidence of perioperative hypotension. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2021;65:1404–1412. PMID: 34322869.
22. Li W, Hu Z, Yuan Y, Liu J, Li K. Effect of hypotension prediction index in the prevention of intraoperative hypotension during noncardiac surgery: a systematic review. *J Clin Anesth*. 2022;83:110981. PMID: 36242978.
23. Schneck E, Schulte D, Habig L, et al. Hypotension Prediction Index based protocolized haemodynamic management reduces the incidence and duration of intraoperative hypotension in primary total hip arthroplasty: a single centre feasibility randomised blinded prospective interventional trial. *J Clin Monit Comput*. 2020;34:1149–1158. PMID: 31784852.
24. Wijnberge M, Geerts BF, Hol L, et al. Effect of a machine learning-derived early warning system for intraoperative hypotension vs standard care on depth and duration of intraoperative hypotension during elective noncardiac surgery: the HYPE randomized clinical trial. *JAMA*. 2020;323:1052–1060. PMID: 32065827.
25. Wijnberge M, van der Ster B, Vlaar APJ, et al. The effect of intermittent versus continuous non-invasive BP monitoring on the detection of intraoperative hypotension, a sub-study. *J Clin Med*. 2022;11:4083. PMID: 35887844.
26. Kouz K, Monge García MI, Cercutti E, et al. Intraoperative hypotension when using hypotension prediction index software during major noncardiac surgery: a European multicenter prospective observational registry (EU HYPROTECT). *BJA Open*. 2023;6:100140. PMID: 37588176.
27. Shah N, Mentz G, Kheterpal S. The incidence of intraoperative hypotension in moderate to high risk patients undergoing non-cardiac surgery: a retrospective multicenter observational analysis. *J Clin Anesth*. 2020;66:1–12. PMID: 32663738.
28. Provation. ePreop 31: Intraoperative hypotension (IOH) among non-emergent noncardiac surgical cases. 2020. https://www.provationmedical.com/wp-content/uploads/2022/08/ePreop-Provation_IOH_Specifications.pdf. Accessed March 2024.
29. U.S. Centers for Medicare & Medicaid Services (CMS). Traditional MIPS overview. CMS Quality Payment Program. <https://qpp.cms.gov/mips/traditional-mips>. Accessed January 3, 2024.
30. Saasouh W, Christensen AL, Xing F, et al. Incidence of intraoperative hypotension during non-cardiac surgery in community anesthesia practice: a retrospective observational analysis. *Perioper Med (Lond)*. 2023;12:29. Published 2023 Jun 24. PMID: 37355641.
31. Anolik RA, Sharif-Askary B, Hompe E, et al. Occurrence of symptomatic hypotension in patients undergoing breast free flaps: is enhanced recovery after surgery to blame? *Plast Reconstr Surg*. 2020;145:606–616. PMID: 32097291.
32. Futier E, Lefrant JY, Guinot PG, et al. Effect of individualized vs standard BP management strategies on postoperative organ dysfunction among high-risk patients undergoing major surgery. *JAMA*. 2017;318:1346. PMID: 28973220.
33. Meidert AS, Nold JS, Hornung R, et al. The impact of continuous non-invasive arterial BP monitoring on BP stability during general anaesthesia in orthopaedic patients: a randomised trial. *Eur J Anaesthesiol*. 2017;34:716–722. PMID: 28922340.
34. Klose P, Lorenzen U, Berndt R, et al. Continuous noninvasive monitoring of arterial pressure using the vascular unloading technique in comparison to the invasive gold standard in elderly comorbid patients: a prospective observational study. *Health Sci Rep*. 2020;3:e204. PMID: 33204849.
35. Maheshwari K, Buddi S, Jian Z, et al. Performance of the Hypotension Prediction Index with non-invasive arterial pressure waveforms in non-cardiac surgical patients. *J Clin Monit Comput*. 2021;35:71–78. PMID: 31989416.
36. Davies SJ, Mythen M. Hemodynamic and intestinal microcirculatory changes in a phenylephrine corrected porcine model of hemorrhage. *Anesth Analg*. 2021;133:1060–1069. PMID: 33755645.
37. Sessler D. Perioperative hypotension. *APSF Newsletter*. 2021;36:89–94. <https://www.apsf.org/article/perioperative-hypotension/>. Accessed March 2024.
38. Edwards Lifesciences. Acumen IQ sensor: minimally-invasive predictive decision support. <https://www.edwards.com/healthcare-professionals/products-services/predictive-monitoring/acumen-iq-sensor>. Accessed March 27, 2023.
39. Scott MJ, and the APSF Hemodynamic Instability Writing Group. Perioperative patients with hemodynamic instability: consensus recommendations of the Anesthesia Patient Safety Foundation. *Anesth Analg*. 2024;138:713–724. PMID: 38153876.

APSF 지원 – 지금 기부하기

“환자 안전은 반짝 유행이 아닙니다. 과거에 대한 집착도 아닙니다. 이루지 못한 목표나, 해결하지 못한 문제의 반향도 아닙니다. 환자 안전은 현재 진행 중인 필요조건입니다. 연구, 교육, 그리고 현장에서의 일상적인 활용을 통해 지속해야만 합니다.”

– APSF 초대 회장 “Jeep” Pierce, MD

온라인 기부:

<https://apsf.org/FUND>

빅데이터 도구와 머신러닝을 활용한 수술 후 품질 개선, 연구 및 환자 안전 향상을 위한 진화하는 프레임워크

글: Michael R. Mathis, MD, Robert B. Schonberger, MD, MHCDS, Anthony L. Edelman, MD, MBA, Allison M. Janda, MD, Douglas A. Colquhoun, MB ChB, MSc, MPH, Michael L. Burns MD, PhD, Nirav J. Shah, MD

전자 의료 기록(Electronic Health Records, EHR) 도입 완료가 임박하고, 여러 부서와 병원의 의료 데이터를 통합하는 시대가 도래하면서, 진료 방식의 다양성 (practice variation)에 대한 인식이 높아지고 있습니다. 수술 전후 관리도 예외가 아니어서, 최근 연구에서는 어떤 마취 기법을 사용했는지,¹ 투여한 의약품은 무엇인지,^{2,3} 어떠한 수술실 인력 배치 모델을 사용했는지 등 기관 차원의 진료 방식의 다양성을 알아본 사례가 많습니다.⁴ 어떤 경우에는 하위 전문 분야 교육, 지역별 의료 자원 제한, 환자의 정보에 기반한 기대치와 같은 요인으로 인해 진료 방식의 다양성이 타당한 사례도 있습니다. 다만, 다른 사례에서는 다양성을 설명할 수 없거나 다양성이 타당하지 않고, 실무 벤치마킹의 미흡, 병원 자원 할당의 최적화 부족, 또는 개별 환자의 요구에 맞춘 정밀 진료의 부족에서 기인하기도 합니다.^{5,6}

경우에 따라, 이와 같은 진료의 다양성은 마취 전문 인력 배치 비율 실천 패턴,⁴ 병원 차원의 안전 관행 준수,⁷ 소생 실패 비율 등 더 나쁜 결과와 연관성이 있을 가능성도 있습니다.⁸

설명할 수 없거나 타당하지 않은 변이 문제를 해결하기 위해, 최신 품질 개선(Quality Improvement, QI) 및 리서치 이니셔티브는 다기관 학습 건강 시스템(Learning Health System, LHS) 방식을 추구하여 여러 기관에 걸친 서비스 변이를 통해 유사한 효능 결과를 통합하여 성과 벤치마크와 품질 측정치를 도출하는 경우가 늘어나고 있습니다.^{9,10} 전략적 다기관 인프라를 갖추면, 이러한 벤치마크와 품질 측정치를 참여 기관 전체에 전파하여 변화하는 모범 사례를 기반으로 신속하게 반복 재현하고, 나아가 환자 안전과 의료 서비스 가치를 향상할 수 있습니다.^{11,12} 수술 전후 관리와 관련된 한 가지 LHS 인프라로 다기관 수술 전후 결과 그룹(MPOG)을 들 수 있습니다. 이 글에서는 이 주제를 통해 (i) 리서치 및 품질 개선(QI)을 위해 수술 전후 EHR을 통합하는 데 필요한 접근법, (ii) 축적된 대량의 수술 전후 의료 데이터를 효과적으로 활용하는 데 사용할 수 있는 빅 데이터 도구, (iii) 수술 전후 관리와 환자 안전의 발전을 위해 리서치와 품질 측정치 결과 데이터를 공유하는 커뮤니티 수립에 대한 가치 제안 등을 설명하고자 합니다. 마지막으로, 인공 지능과 머신

러닝 접근법이 의료 정보 수집과 임상적 의사 결정을 강화할 새로운 기회로서 대세로 떠오르는 가운데, 이 글을 통해 인공 지능/머신 러닝 방식을 성공적으로, 지속적으로 실행하는 데 방해가 되는 주요 문제점은 무엇이고 그러한 문제를 해결하려면 어떤 방식을 취해야 하는지 알아봅니다.

수술 후 데이터에 기반한 학습 기반 건강 시스템 (LHS) 원칙: 다기관 수술 전후 결과 그룹(MPOG)

학습 기반 건강 시스템(Learning Health System, LHS)이란 "의료 서비스 제공 과정의 자연스러운 결과물 겸 산출물로서 지속적인 관리 개선을 초래하는 의료 실무의 핵심에 포함된 지식 창출이 이루어지는 시스템"으로 정의됩니다.¹³ MPOG는 수술 전후 관리에 중점을 둔 학습 기반 건강 시스템이 되어 지속적으로 높아지는 품질 개선(QI), 연구, 및 환자 안전 기준을 충족시키는 것을 목표로 하고 있습니다 (그림 1 참조). MPOG는 2008년에 여러 학술 센터들에 의해 설립되었습니다. 이들 센터는 새롭게 도입한 전자 마취 기록 시스템을 활용하여 다중센터 관찰

MPOG 리서치 원칙

리서치 도구

- DataDirect 셀프서비스 액세스
- 개념/표현형 탐색기
- 구성된 전자 의료 기록 데이터를 포함한 표준화된 데이터 파일

상담 및 교육

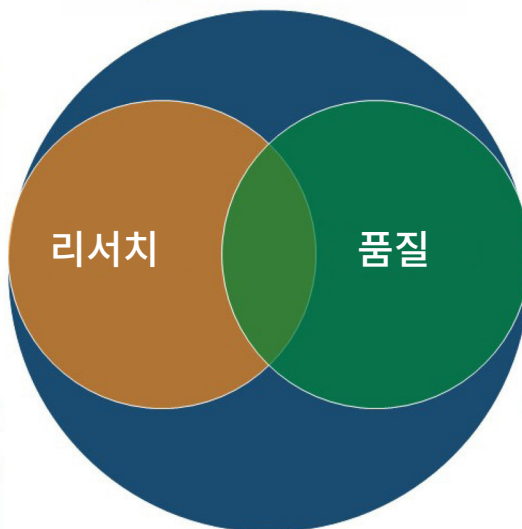
- Data Coordinating Center 지침 및 피드백
- MPOG 리서치 펠로십
- Tips & Tricks 모듈

리서치 위원회

- 관리 구조
- 지식 교환
- 임상 및 방법 전문 지식
- 가상(웹) 및 대면 회의

전파

- 출판물
- 전국적 연수회
- 다기관 임상시험 네트워크



MPOG 품질 원칙

QI 측정법

- 50+ 측정치
- 10+ 치료 분야
- 과정 및 결과
- 지역/전국 벤치마킹

제공자 피드백

- 월간 피드백
- 지역 차원에서 벤치마킹됨
- 개별 사례에 연결됨
- 인증서 유지 관리

품질 위원회

- 관리 구조
- 아이디어 및 전문 지식
- 하위 전공 협업
- 가상(웹) 및 대면 회의

실행

- 도구 키트
- 기관 방문
- 가치 기반 환급/성과 기반 보상

Figure 1. 다기관 수술 전후 결과 그룹(MPOG) 연구 및 품질 개선 원칙.

다음 페이지의 “빅 데이터 도구 사용” 참조

MPOG에서 빅 데이터를 분석할 다양한 프로그램과 도구 개발

이전 페이지의 “빅 데이터 도구 사용”에 이어서

분석을 수행하는 데 관심이 있었습니다. 그러나 얼마 지나지 않아 이와 같은 데이터세트 (dataset) 이 적절한 관리와 협력을 통해 학습 기반 건강 시스템의 기초가 될 수 있으며, MPOG 데이터가 지식을 생성할 수 있다는 것이 명확해졌습니다. 이러한 지식이 실무 변경으로 이어지고, 실무 변경은 곧 새 데이터가 생긴다는 뜻입니다. 이런 접근법의 플라이휠 효과 덕분에 이제 MPOG 그룹에 참가하는 병원이 거의 100곳에 육박합니다. 결과적으로 MPOG는 다양한 연구, 품질 개선(QI), 교육 관련 용도에 사용하기 위해 이러한 데이터를 추출, 수집, 정리, 분석할 도구를 개발하게 되었습니다. 각 기관이 제출하는 최소한의 데이터세트에는 수술 전후 기간의 생리적 데이터, 약물 정보, 텍스트 노트, 인력 배치, 주요 이벤트, 수액 입력 및 출력 데이터 등을 포함합니다. 이러한 지표는 모두 기존 마취과 의료 기록 내에서 기관별로 매핑된 데이터 (mapped data)에서 자동으로 도출했으며, 대체로 각 기관에서 사용하는 전자 의료 기록 공급업체와는 무관합니다. 추가로, 수술 전 병력 및 신체 검사 정보, 실험실 검사 결과, 의료 행위 분류(Current Procedural Terminology, CPT) 코드와 같은 행정 데이터, 퇴원 진단과 병원별 사망률 데이터도 포함됩니다.

전자 의료 기록 데이터는 병원마다 천차만별입니다. 그래서 MPOG의 기본적인 구성 요소는 참여 기관 전체의 전자 의료 기록 데이터를 미리 계산된, 검증된 표현형으로 변환해 연구 및 품질 개선에 사용할 수 있게 하는 방법론입니다.¹⁴ 이러한 엄격한 절차에는 MPOG 내에서 모든 데이터 유형의 조합을 통합할 알고리즘을 적용해 더 신뢰도 높은 임상 추론을 제공하는 것도 포함됩니다. 이러한 추론은 연구자들이 분석을

표 1: 대기관 수술 전후 결과 그룹 내부의 품질 개선 프로그램

프로그램	설명
품질 개선 측정법 개발	MPOG는 여러 마취, 하위 전문 분야, 인구 집단, 및 공공 보건 영역에서 60개 이상의 과정 및 결과 측정 지표를 개발하였습니다. 이러한 측정치는 품질 위원회에서 승인 및 검토하며, 사양은 공개되어 누구나 검토 및 사용할 수 있습니다. ¹⁵
실무 수준 피드백	MPOG의 품질 개선 보고 도구는 실무진 리더십이 지역적으로나 전국적으로 벤치마킹되는 측정 성과를 알아보기 쉽게 표시하여 환자, 케이스, 제공자별 편차를 파악하는 데 도움이 됩니다(그림 2). 사용자가 한 가지 수술 중 마취 기록이나 유사한 기록 그룹에 대하여 의료 시스템 수준 성과를 자세히 조사하여 실제 사례를 파악하거나 개선의 여지를 확인할 수 있습니다.
개인 제공자 피드백	MPOG는 매달 이메일을 통해 마취 전문가들에게 기관의 진료 책임자들이 선정한 품질 개선 측정 지표에 대한 피드백을 전송합니다. 이러한 측정치의 성과를 지역별로 벤치마킹하고, 각각의 마취 기록에 연결하여 성찰을 통해 실질적인 변화를 효과적으로 주도할 수 있습니다.
품질 개선 도구 키트	품질 개선 계획의 교육 및 구현에 대한 장벽을 제거하기 위해, MPOG 조정 센터는 우리 측정 지표에 대한 가용 증거를 요약하고 지역적으로 적용할 수 있는 구현 팁을 제공하는 도구 키트를 개발하였습니다. 도구 키트는 수술 후 메스꺼움 및 구토 방지, 수혈 관리, 신부전 방지, 폐 손상 방지 및 환경 지속 가능성 등 여러 가지 마취 관련 관리를 다룹니다. ¹⁶
품질 협업 회의	MPOG에서는 이러한 품질 지표, 피드백 플랫폼, 도구 키트 적용을 보강하고 논의하기 위해 여러 차례 협업 회의를 주최하며 이 자리에는 마취과 품질 개선 담당자와 외과의 협업 담당자가 참석합니다.

수행할 수 있도록 하고, 품질 개선 전문가와 임상 의사들이 진료 패턴의 변화를 이해할 수 있도록 하는 기초 자료로 활용됩니다. MPOG 연구 및 품질 개선의 필수 구성 요소로는 마취 기법, 미국 마취과 학회(American Society of Anesthesiologists)의 신체적 상태, 환자의 흡연 여부 등이 있습니다. 이러한 사례마다 기관별로 데이터를 기록하는 방법은 수천 가지에 달하며, MPOG에서 개발한 소프트웨어 알고리즘이 이러한 데이터를 상호 운용 가능한 표현형으로 변환하는 것입니다.

수술 전후 전자 의료 기록 데이터를 지식과 행동으로 변환하여 환자 안전을 향상하는 MPOG 도구

MPOG에서는 환자 안전 개선을 목표로 미묘한 차이에 주목한, 의미 있는 품질 개선과 연구 프로젝트를 위해 빅 데이터를 분석하고 추론을 지원할 프로그램과 도구를 개발했습니다.

MPOG의 품질 개선 업무는 자체적으로 구성된 품질 관리 위원회가 담당합니다. 이 위원회는 참여하는 각 기관의 마취 전문가 품질 개선 담당자로 구성되어 있습니다. 이 위원회에서 가용 증거 자료 중 최선의 자료를 반영하는 품질 지표를 승인 및 유지 관리하고, 정기적으로 품질 개선 지표를 다시 돌아볼 계획을 정해 놓아 이 분야의 점차 넓어지고 진화하는 지식 기반을 수용하고 있습니다. 새로운 품질 개선 계획에 대한 아이디어도 이 위원회에서 발안하며, 이외에도 소아 마취, 산부인과 마취, 심장 마취 등에 중점을 둔 하위 전공 위원회가 있어 참여 기관에 소속된 품질 관리자와 분야별 전문가로 구성되어 운영합니다. 이러한 위원회는 열린 토론, 협업 분위기를 조성하며 모범 사례와 현장에서 배운 교훈을 공유하는 창구가 되기도 합니다.

MPOG에서는 구성원이 각자 자신의 소속 기관에서 변화를 주도하도록 돕기 위해 계산된 표현형을 기반으로 일련의 프로그램을 다음 페이지의 “빅 데이터 도구 사용” 참조

귀하의 성과 vs. 다른 모든 참석자

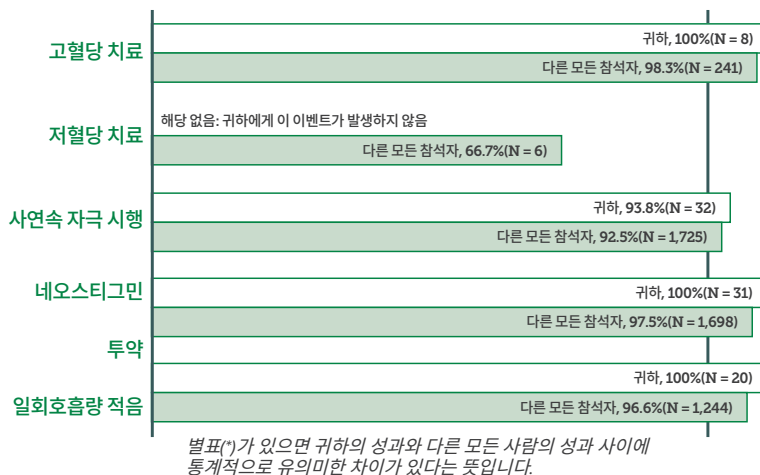


Figure 2. 수술 후 품질에 대한 개인 제공자 피드백: 개인별 성과 이메일.

전자 의료 기록 데이터는 병원마다 천차만별

이전 페이지의 “빅 데이터 도구 사용”에 이어서

고안했습니다. 이러한 프로그램 중에는 품질 개선 측정법 개발, 실무 수준의 피드백, 개인 제공자 피드백, 품질 개선 도구 키트, 품질 협업 회의 등이 있습니다(표 1 참조). 각종 품질 개선 수치를 모두 자세하게 설명한 내용은 <https://spec.mpog.org/Measures/Public>에서 확인하실 수 있습니다. 개별 제공자의 성과는 추적할 수 있고, 이를 통해 개개인에게 피드백을 제공할 수 있습니다(그림 2 참조).

MPOG의 연구 업무는 품질 개선 업무를 보완하는 의미에서 연구 위원회에서 주관합니다. 여기에서 제출된 제안서를 검토하고, 진행 중인 프로젝트의 진행 상황을 확인하여 MPOG의 임상 연구 프로젝트를 조율하는 것입니다. 이 위원회는 각 참여 기관에서 지명된 MPOG 시험 책임자로 구성되며, 각종 MPOG 연구 제안서를 모두 평가하고, 가설과 방법론과 관련해 중대한 지침을 제공하며, 프로젝트를 승인하기 전에 MPOG 데이터를 활용해 임상 리서치의 과학적 적절성을 확인하는 역할을 합니다. MPOG에서는 자체 데이터를 이용해 의미 있는 연구를 실시하도록 돕고자 레지스트리를 활용할 프로그램과 도구를 몇 가지 제작했습니다. 이 프로그램에는 정기적인 연구 위원회 회의와 연례 MPOG 워크숍이 포함되며, 연구 집단을 개발하고 연구 쿼리를 간소화할 수 있는 소프트웨어 도구(예: DataDirect®, Ann Arbor, Michigan)도 포함됩니다.

미시간주 내 성과 개선

미시간주에서는 MPOG가 Blue Cross Blue Shield of Michigan(BCBSM)이 자금을 지원하는 품질 개선 프로그램의 일부분으로, 일종의 학습 기반 건강 시스템의 기능을 하고 있습니다.¹⁷ 이 프로그램은 광범위한 전공 분야와 건강 상태를 총망라하여 품질 개선 그룹에 자금을 지원합니다.¹⁸ 위에 설명한 방식을 따라, 비맹검(unblinded) 성과 검토, 다분야 협업 회의, 지급자-주도 재정 인센티브 등을 통해 상당한 관리 개선을 이루고 있습니다. 예를 들어 혈당 및 체온 관리와 같은 중요한 마취 치료 분야가 개선되고, 이 프로그램에 참여하는 병원에서 더욱 비용 효율적인 치료를 실행할 수 있었다는 점이 증거입니다(표 2 참조).¹⁹

RESEARCH INITIATIVE: 다기관 진료 다양성 및 수술 전후 관리 구조 평가

임상의와 기관마다 수술 전후 진료 방식 다양성의 폭이 워낙 넓기 때문에, MPOG의 중요한 연구 결과 중에는 진료 패턴을 환자나 수술 종류가 아니라 임상이나 기관 기준으로 설명 가능한 정도를 수량화한 연구가 포함되어 있습니다. 이러한 진료 방식의 다양성은 임상 의사 교육, 개인의 진료 선호도, 또는 기관 수준의 진료 구조

표 2: 품질 관리 영향력에 관한 다기관 수술 전후 결과 그룹 예시.

품질 개선 계획	프로그램 및 결과
저체온증 예방	MPOG에서는 지난 2018년, 미시간주 전역에서 수술 중 저체온증을 줄이기 위한 계획을 시행했습니다. 적극적인 보온과 적절한 체온 모니터링 적용을 결정하는 과정 지표와 저체온증 발생률을 결정하는 결과 지표가 개발되었습니다. 미시간주 MPOG 기관에서 케이스 종료 시 저체온증 발생률이 10.8%에서 5.6%로 감소했습니다(2018년~2023년).
고혈당 치료	MPOG에서는 지난 2015년, 고혈당 관리법 개선을 위한 계획을 시행했습니다. 고혈당의 적절한 검사 및 치료 여부를 판단하는 지표를 통해 미시간 주내 MPOG 참여 기관에서 인슐린을 사용한 적절한 고혈당 치료 규정 준수율이 2015년 59.7%에서 2023년 81%로 개선되었습니다.

이 글은 2023년 8월 현재 MPOG 데이터베이스에서 추출했으며, 2023년 9월 라스베이거스 APSF 콘퍼런스에서 발표한 데이터 기준입니다.

및 인프라를 나타낼 수 있으며, 이를 통해 환자 결과에 미치는 영향을 연구하는 데 활용되었습니다. 어떤 경우에는 진료 방식의 변동성—예를 들어, 마취 전문 인력 배치 비율, 병원 수준의 안전 실천 준수⁷ 및 소생 실패 비율⁸ 등)이 더 나쁜 결과와 관련이 있을 수 있습니다. 반면, 다른 경우에는 불리한 결과와의 연관성이 없으며, 예를 들어 주치의의 수술 일정이 겹치거나²⁰ 외과과의가 수술을 전일 밤새워 실시한 경우 등이 대표적입니다.²¹

수술 전후 관리 분야에 인공지능과 머신러닝이 도입되면서 생긴 기회와 문제점

다기관 리서치와 품질 개선을 수행하기 위해 전자 의료 기록 데이터를 처리할 빅 데이터 도구를 개발함과 동시에, 데이터 품질을 개선하고 품질 개선 측정 방법을 개발하며 예측형 알고리즘 개발을 통해 임상 관리를 개선하고자 인공지능과 머신러닝을 사용하는 방법을 적용할 기회도 생겼습니다. 수술 전후 전자 의료 기록 데이터는 복잡하고 세분화되어 있으므로, 여러 변수를 총망라하는 복잡한 비선형적 상호작용을 대량으로 취급할 수 있는 인공지능/머신러닝 방식을 이용하면 고전적인 통계 방식보다 훨씬 유익합니다. 다만, 수술 전후 학습 기반 건강 시스템에 인공지능/머신러닝에 기반한 방법을 안전하게 도입하려면 몇 가지 난관이 존재합니다. 여기에는 다음이 포함됩니다: (i) 임상 의사의 지식 기반에서의 광범위한 변동성, 강점과 한계에 대한 이해 부족; (ii) 임상 알고리즘에 대한 감독 및 관리 필요성; (iii) 인공지능/머신러닝 알고리즘이 학습하는 원본 데이터의 신뢰성을 보장할 필요성; (iv) 인공지능/머신러닝 기반 임상 의사 결정 지원 시스템에서 잠재적으로 전파되는 편향을 인식하고 해결하기 위한 체계적인 접근 방식(그림 3 참조).

임상 의사의 지식과 관련하여, 인공지능/머신러닝 교육이 의료 교육 커리큘럼과 지속적인 의료 교육 기회에 통합되고 있습니다.²²

알고리즘의 관리 및 감독과 관련하여, 품질 개선 및 환자 안전 노력이 건강 시스템 내에 배포된 인공지능/머신러닝 모델을 모니터링할 수 있는 위원회 프레임워크를 제안하고 있습니다.²³ 데이터 신뢰도와 관련해서는, 전자 의료 기록 데이터 품질을 진단하고 변경 사항을 바로잡는 방법(“데이터세트 이동(dataset shift)”)이 제안되었으며,²⁴ 이 경우 일선 임상과의 알고리즘 관리 위원회 사이 폐쇄 루프형 커뮤니케이션을 유지하는 데 중점을 두었습니다. 이러한 접근 방식은 모델의 성능 저조를 인식하고 임상 의사들에게 예측 모델이 신뢰할 수 있는 상황과 그렇지 않은 상황에 대해 교육함으로써 환자 안전을 향상시킬 수 있습니다. 마지막으로, 알고리즘 편향이라는 우려 사항이 있으므로, 다양한 임상 하위 그룹에 대하여 서로 다른 모델 성능을 알아보되(특히 인종, 민족성, 성별 기반 편향)²⁵ 그러한 하위 그룹에서 인공지능/머신러닝 모델의 성능을 명확하게 검토해야 할 것입니다.

결론

환자, 임상, 기관, 지역을 총망라하여 수술 전후 EHR 데이터를 통합할 때가 되었습니다. 이를 통해 비교 효과 연구를 수행하고 마취 치료의 품질과 안전성을 개선해야 합니다. 참신한 인공지능/머신러닝 기반 방법을 적절하게 활용하는 빅 데이터 도구를 갖춘 학습 기반 건강 시스템은 임상 커뮤니티에서 데이터를 공유하고 아이디어를 교환할 플랫폼이 되어줄 것입니다. 또한 학습 기반 건강 시스템 내에서 점점 발전하는 모범 사례를 널리 퍼뜨릴 수도 있습니다.

Michael R. Mathis는 미시간주 앤아버 미시간대학교 미시간 의과대학 마취과 부교수 겸 전산 생명정보학과 겸임 교수입니다.

Robert B. Schonberger는 코네티컷주 뉴헤이븐 예일 의과대학 마취과 부교수 겸 학교운영위원회 부회장입니다.

다음 페이지의 “빅 데이터 도구 사용” 참조

안전한 인공지능 도입을 위해서는 몇 가지 난관이 존재



Figure 3. 수술 전후 관리에 인공지능(AI)과 머신러닝(ML)을 안전하게 도입하기 위한 고려 사항

이전 페이지의 “빅 데이터 도구 사용”에 이어서

Anthony L. Edelman은 미시간주 앤아버 미시간대학교 미시간 의과대학 마취과 조교수 겸 성인 마취학회 부회장입니다.

Allison M. Janda(MD)는 미시간주 앤아버 미시간대학교 미시간 의과대학 마취과 조교수입니다.

Douglas A. Colquhoun(MB ChB, MSc, MPH)은 미시간주 앤아버 미시간대학교 미시간 의과대학 마취과 조교수입니다.

Michael L. Burns(MD)는 미시간주 앤아버 미시간대학교 미시간 의과대학 마취과 조교수입니다.

Nirav J. Shah는 미시간주 앤아버 미시간대학교 미시간 의과대학 마취과 부교수입니다.

Michael Mathis는 미국 국립 보건원(US National Institutes of Health)의 리서치 지원금(NHLBI, NIDDK, AHRQ)을 수령했으며 여기에 기재된 현재 작업물과 무관한 연유로 Chiesi, USA에서 미시간대학교에 지급한 리서치 지원금을 받았습니다. Robert Schoenberger(MD, MCDHS)는 Johnson and Johnson 주식을 보유하고 있으나, 현재 프로젝트와는 무관하다고

보고했습니다. Anthony Edelman(MD)은 현재 프로젝트와 무관한 사유로 미국 국립 보건원에서 제공하는 자금(AHRQ)을 수령했습니다(수혜자 명의 미시간대학교). Allison Janda(MD) 미국 국립 보건원(NHLBI)에서 제공하는 리서치 지원금과 Patient Centered Outcomes Research Institute(PCORI)에서 제공하는 지원금을 받았으며, 이는 현재 프로젝트와는 무관합니다. Douglas Colquhoun(MB ChB, MSc, MPH)은 미국 국립 보건원(NHLBI)에서 제공하는 리서치 지원금과 Merck & Co 및 Chiesi, USA에서 미시간대학교 명의로 지급한 연구 지원금을 받았으며, 이는 현재 프로젝트와는 무관합니다. Michael Burns(MD)는 현재 프로젝트와는 관련 없이 Blue Cross Blue Shield of Michigan (BCBSM)과 Patient Centered Outcomes Research Institute(PCORI)에서 제공하는 리서치 지원금을 받았으며, Decimal Code, Inc.의 공동 창립자이지만 이는 현재 프로젝트와는 무관합니다. Nirav Shah(MD)는 미국 국립 보건원에서 자금(NLM, NIA)을 받았으며 (미시간대학교 명의로 지급됨) Patient Centered Outcomes Research Institute(PCORI), Blue Cross Blue Shield Michigan, Edwards Lifesciences 및 Apple, Inc.에서 지원을 받았으나

현재 프로젝트와는 무관합니다. 제출한 기고문에 영향을 미친 것으로 보이는 다른 관계나 활동은 없습니다.

모든 기고문과 일부 자금 직원은 미시간대학교 미시간 의과대학 마취과에서 제공했습니다(미국 미시간주 앤아버). 본문에 설명된 프로젝트는 일부 미국 국립 보건원의 지원을 받았습니다.(NIDDK R01DK133226, NHLBI R01HL167790, NIA R01AG059607, NHLBI K08HL159327, NHLBI K23HL166685, Bethesda, MD). 또한 다기관 수술 전후 결과 그룹 레지스트리로 기본 전자 의료 기록 데이터 컬렉션을 입력하기 위한 작업을 지원하는 자금은 일부 Blue Cross Blue Shield of Michigan/Blue Care Network에서 제공했으며, 이는 Blue Cross Blue Shield of Michigan/Blue Care Network Value Partnerships 프로그램의 일환으로 진행된 것입니다. Blue Cross Blue Shield of Michigan/Blue Care Network와 다기관 수술 전후 결과 그룹이 협업 형태로 프로젝트를 진행한 것은 사실이나, 필진이 표명한 의견, 신념 및 견해는 Blue Cross Blue Shield of Michigan/Blue Care Network 또는 그 직원의 의견, 신념 및 견해를 반영한 것이라고는 볼 수 없습니다. 또한

다음 페이지의 “빅 데이터 도구 사용” 참조

인공 지능/머신 러닝은 임상이가 모범 사례 관련 데이터를 공유할 플랫폼 제공

이전 페이지의 “빅 데이터 도구 사용”에 이어서

필진이 표명한 의견, 신념 및 견해가 미국국립보건원 또는 그 직원의 의견, 신념 및 견해를 반영한 것이라고도 볼 수 없습니다. 본 연구에는 산업 기여자가 아무런 역할을 수행하지 않았습니다.

참고 문헌

1. Roberts DJ, Mor R, Rosen MN, et al. Hospital-, anesthesiologist-, surgeon-, and patient-level variations in neuraxial anesthesia use for lower limb revascularization surgery: a population-based cross-sectional study. *Anesth Analg*. 2022;135:1282–1292. PMID: [36219577](#).
2. Janda AM, Spence J, Dubovoy T, et al. Multicentre analysis of practice patterns regarding benzodiazepine use in cardiac surgery. *Br J Anaesth*. 2022;128:772–784. PMID: [35101244](#).
3. Mathis MR, Janda AM, Kheterpal S, et al. Patient-, clinician-, and institution-level variation in inotrope use for cardiac surgery: a multicenter observational analysis. *Anesthesiology*. 2023;139:122–141. PMID: [37094103](#).
4. Burns ML, Saager L, Cassidy RB, et al. Association of anesthesiologist staffing ratio with surgical patient morbidity and mortality. *JAMA Surg*. 2022;157:807–815. PMID: [35857304](#).
5. Sutherland K, Levesque JF. Unwarranted clinical variation in health care: definitions and proposal of an analytic framework. *J Eval Clin Pract*. 2020;26:687–696. PMID: [31136047](#).
6. Sessler DI. Implications of practice variability. *Anesthesiology*. 2020;132:606–608. PMID: [32053562](#).
7. Brooke BS, Dominici F, Pronovost PJ, et al. Variations in surgical outcomes associated with hospital compliance with safety practices. *Surgery*. 2012;151:651–659. PMID: [22261296](#).
8. Portuondo JI, Farjah F, Massarweh NN. Association between hospital perioperative quality and long-term survival after noncardiac surgery. *JAMA Surg*. 2022;157:258–268. PMID: [35044437](#).
9. Casey JD, Courtright KR, Rice TW, Semler MW. What can a learning healthcare system teach us about improving outcomes? *Curr Opin Crit Care*. 2021;27:527–536. PMID: [34232148](#).
10. Foley T, Vale L. A framework for understanding, designing, developing and evaluating learning health systems. *Learn Health Syst*. 2023;7:e10315. PMID: [36654802](#).
11. Sheetz KH, Englesbe MJ. Expanding the quality collaborative model as a blueprint for higher-value care. *JAMA Health Forum*. 2020;1:e200413–e200413. PMID: [36218502](#).
12. Smith M, Saunders R, Stuckhardt L, McGinnis JM. Committee on the Learning Health Care System in America; Institute of Medicine. Best care at lower cost: the path to continuously learning health care in America. National Academies Press (US); 2013 May 10. PMID: [24901184](#).
13. Olsen L, Aisner D, McGinnis JM, eds. The Learning Healthcare System: Workshop Summary. National Academies Press; 2007. PMID: [21452449](#).
14. Colquhoun DA, Shanks AM, Kapeles SR, et al. Considerations for integration of perioperative electronic health records across institutions for research and quality improvement: the approach taken by the Multicenter Perioperative Outcomes Group. *Anesth Analg*. 2020;130:1133–1146. PMID: [32287121](#).
15. MPOG Measure Specs—Measure List. <https://spec.mpopg.org/Measures/Public>. Accessed February 16, 2024.
16. Toolkits. MPOG. Published July 24, 2019. <https://mpog.org/toolkits/>. Accessed February 16, 2024.
17. Howard R, Grant J, Leyden T, Englesbe M. Improving the quality of health care through 25 years of statewide collaboration in Michigan. *NEJM Catalyst*. 3:CAT.22.0153. doi: [10.1056/CAT.22.0153](#).
18. Collaborative quality initiatives—value partnerships.com — blue cross blue shield of Michigan. <https://www.valuepartnerships.com/programs/collaborative-quality-initiatives/>. Accessed February 16, 2024.
19. Janda AM, Vaughn MT, Colquhoun DA, et al. Does anesthesia quality improvement participation lead to incremental savings in a surgical quality collaborative population? A retrospective observational study. *Anesth Analg*. 2023;137:1093–1103. PMID: [37678254](#).
20. Sun E, Mello MM, Rishel CA, et al. Association of overlapping surgery with perioperative outcomes. *JAMA*. 2019;321:762–772. PMID: [30806696](#).
21. Sun EC, Mello MM, Vaughn MT, et al. Assessment of perioperative outcomes among surgeons who operated the night before. *JAMA Intern Med*. 2022;182:720–728. PMID: [35604661](#).
22. Howell MD, Corrado GS, DeSalvo KB. Three epochs of artificial intelligence in health care. *JAMA*. 2024;331:242–244. PMID: [38227029](#).
23. Reddy S, Allan S, Coghlan S, Cooper P. A governance model for the application of AI in health care. *J Am Med Inform Assoc*. 2020;27:491–497. PMID: [31682262](#).
24. Finlayson SG, Subbaswamy A, Singh K, et al. The clinician and dataset shift in artificial intelligence. *N Engl J Med*. 2021;385:283–286. PMID: [34260843](#).
25. Chin MH, Afsar-Manesh N, Bierman AS, et al. Guiding principles to address the impact of algorithm bias on racial and ethnic disparities in health and health care. *JAMA Netw Open*. 2023;6:e2345050. PMID: [38100101](#).



#APSF Crowd에 참여하세요!
지금 기부하기: <https://apsf.org/FUND>



마취 환자 안전 재단은 첫 번째 크라우드펀딩 이니셔티브를 시작했습니다.
이는 많은 사람들로부터 소액을 모금하는 방식으로 정의됩니다.
단 \$15만으로도 우리의 목표를 달성할 수 있습니다.

“마취 치료로 인해 아무도 해를 입지 않도록 하겠다”는 비전을 지원합니다.

오피오이드로 인한 호흡 억제 – 소아환자에서의 고려 사항

글: Tricia Vecchione, MD, MPH, 및 Constance L. Monitto, MD

수술 후, 호흡 억제는 여러 가지 이유로 발생할 수 있으며, 이는 잠재적으로 치명적인 합병증을 초래할 수 있습니다.¹ 수술 후 호흡 억제의 반복적인 원인 중 하나는 수술 전후에 사용되는 오피오이드입니다.² 이에 따라, 마취 환자 안전 재단(APSF)을 포함한 기관과 전문 학회는 환자 모니터링에 관한 권고 사항을 개발하였으며,^{3,4} 수술 후 모니터링의 적절한 수준에 대한 결정은 수술 전 환자의 특정 위험 요소를 평가하여 안내받아야 한다고 주장하는 기사를 발표하였습니다.⁵ 성인과 마찬가지로, 소아 환자에서도 수술 전후 호흡 합병증이 발생하며, 이는 수술 후 부작용의 흔한 원인이 됩니다.⁶ 다만, 어린이는 “작은 어른”이 아닙니다. 따라서 이전에 출간된 지침과 연구 내용을 주의해서 받아들이야 합니다.

소아 환자에서의 오피오이드로 인한 호흡 억제의 위험 요인

소아에서의 오피오이드로 인한 호흡 억제 위험 요인을 다루는 문헌은 많지 않습니다. 성인의 경우, 당뇨병과 심장 질환과 같은 동반 질환이 주사형 오피오이드 요법 후에 중대한 호흡 사건의 위험 요인으로 작용하지만,^{7,8} 어린이의 경우 발생률이 낮기 때문에 주요 위험 요인이 아닐 가능성이 큼니다. 대신, 환자 감사 및 나록손의 투여 데이터 추적 을 통해 OIRD의 대리 지표로서 위험 요인을 식별할 수 있었습니다 (그림 1 참조). 예를 들어, 기저 호흡기 질환과 발달 지연은 소아 OIRD의 위험을 증가시킬 수 있는 동반 질환으로 확인되었습니다.⁹⁻¹¹

소아에서 OIRD의 또 다른 위험 요인은 어린 나이입니다. 중증 호흡기 이벤트 때문에 나록손을 투약해야 했던 소아과 환자를 대상으로 실시한 후향적 검토 결과, 발생 빈도가 어린 나이와 조산과 연

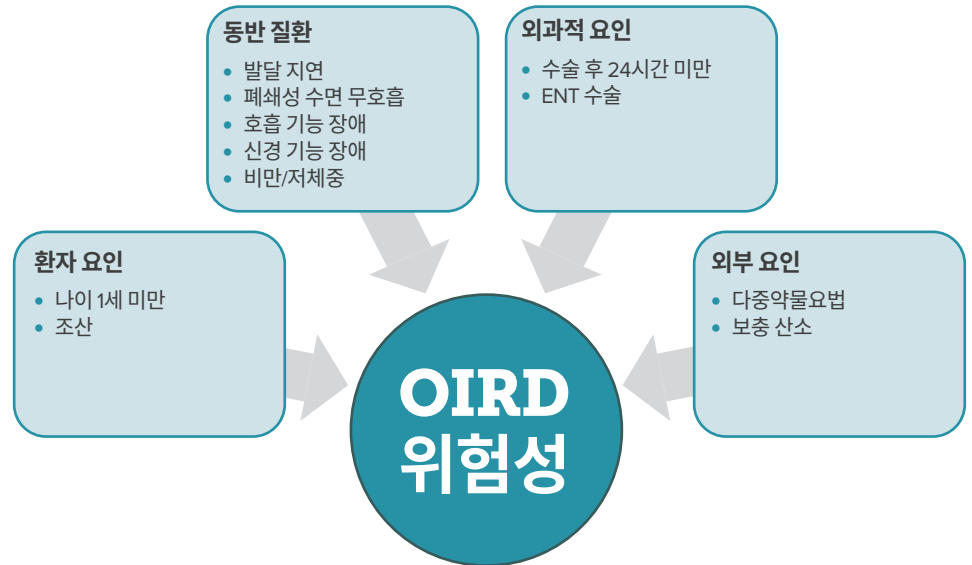


그림1. 어린이의 오피오이드로 인한 호흡 기능 저하(OIRD) 위험 증가와 관련한 위험 요인 요약.^{4,10}

관이 있었습니다.¹⁰ 이 위험 증가의 원인은 젊은 영아와 나이가 많은 어린이 및 성인 간의 오피오이드 대사 및 배설에 대한 생리적 차이 때문일 수 있습니다. 예를 들어 신생아의 경우, 모르핀의 반감기가 긴 편이고 청소율(clearance)이 낮습니다. 따라서 투여 용량에 따라 월령이 1개월 미만인 영아는 나이 많은 어린이 및 성인에 비해 혈청 농도가 더 높고 감소 속도가 느려져, 높은 위험에 처할 수 있습니다.¹²

소아 환자의 경우, 폐쇄성 수면 무호흡증(OSA)과 관련된 수술 후 호흡 억제의 위험이 커진다는 사실도¹³ 보고되었습니다. 편도선 절제술 후, 중증

OSA를 가진 어린이는 모르핀 유도 호흡 억제에 더 민감하며, 경증 수면 무호흡증을 가진 어린이보다 적은 모르핀을 필요로 합니다.¹⁴ OSA는 소아에서 비교적 흔한 편으로, 전체 어린이의 1~5%에게서 발생합니다.¹⁵ 다만, 수술 전 스크리닝이 다소 까다롭습니다. 진단 시 수면다원검사가 최적의 표준 방법이지만, 대부분의 소아 환자에게는 이용할 수 없습니다. 모든 연령대의 소아에 적용 가능한 유효한 위험 평가 설문지는 없으나, 소아에서의 OSA 관련 위험 요소와 증상은 보고되었습니다.¹⁶

다음 페이지의 “호흡 억제” 참조



전문 의료진은 오피오이드 치료를 받는 소아과 환자의 경우, 수술 후 최소 24시간 이상 산소 공급 및 환기 상태를 계속 모니터링해야 한다고 주장

이전 페이지의 “호흡 억제”에 이어서

소아 비만도 날록손 투약 시 위험 요인입니다.¹⁰ 이것은 비만과 OSA 사이 밀접한 관련이 있어서일 수도 있고, 비만과 관련해 투여 용량이 잘못된 것을 반영한 결과일 수도 있습니다. 성인과 달리, 많은 소아 약물에서 체중 기반 용량 조정이 일반적인 방법이지만, 총 체중에 따라 오피오이드 용량을 조정하면 위험한 호흡 억제를 초래할 수 있습니다. 따라서 투여 용량은 이상 체중이나 제지방 체중을 기준으로 해야 합니다.¹⁷ 흥미롭게도, 소아에서 저 체중도 호흡 사건의 위험 요인으로 작용합니다.¹⁰

대부분의 어린이에서 오피오이드 관련 합병증이 발생하기 전에 과도한 진정이 관찰되었습니다.⁴ 오피오이드 무경험 환자에게 오피오이드 투여 시 진정 효과는 잘 알려져 있지만, 항불안제, 근이완제, 항경련제 및 기타 진정제를 동반 투약하는 경우 중추 신경계(CNS) 기능 저하를 악화할 수 있습니다. 이러한 조합은 생명을 위협하는 호흡 사건을 초래하고 날록손 개입의 위험을 증가시킬 수 있습니다.¹⁰ 이는 특히 중요하며, 오피오이드와 다른 CNS 억제제를 병용하는 경우가 소아 진료에서 흔하다는 보고가 있습니다. 2010년 소아 통증 관리 실태 조사에서는 응답자의 40% 이상이 이러한 약물의 병용 투여를 허용한다고 답했습니다.¹⁸ 이후 십 년간 진료 현황은 달라졌는지 몰라도, 최근 다중 모달 진통 요법을 통한 오피오이드 절감에 대한

관심이 높아진 점을 고려할 때, 이러한 약물 병용이 극적으로 줄어들었을 가능성은 낮습니다.

수술 후 호흡 억제 위험이 가장 큰 시기는 수술 후 첫날입니다. 실제로, 날록손을 투여받은 소아 환자의 75%가 수술 후 첫 24시간 내에 중대한 호흡 사건을 경험했습니다. 이러한 이벤트는 정맥 주사, 경구, 신경축 경로를 통해 오피오이드를 투약받은 환자에서 발생했으며, 어떠한 투약 방법도 본질적으로 위험이 없지는 않다는 사실을 시사합니다.¹⁰

소아과 환자 모니터링에 관한 현행 권장 사항

호흡 억제의 위험을 최소화하기 위해, APSF는 보충 산소를 제공할 때 산소화와 환기를 지속적으로 전자 모니터링하여 오피오이드 유도 호흡 억제를 사전 식별하고 예방할 것을 오랫동안 권장해 왔습니다.³ 소아 환자에 대해서만 구체적으로 모니터링 요구 사항을 구분한 연구는 따로 없지만, 소아 마취 학회(Society for Pediatric Anesthesia)에서 옹호하는 치료 지침에 따르면 몇몇 환자를 관리할 때 각별히 경계해야 한다고 되어 있습니다. 예를 들어 신생아, OSA 환자, 기저 신경 근육질환이나 인지 기능 장애가 있는 환자 등이 대표적으로, 이런 질환은 호흡기 근육 기능을 저해하고/거나 환자의 통증 수준 또는 의식 수준을 평가하는 데 방해가 되기 때문입니다. 또한, 오피오이드 요법을 시작하는 소아 환자, 특히 초기 수술 후 기간에 있

는 환자, 주사형 오피오이드의 용량이 증가하는 환자, 그리고 다른 CNS 억제제와 함께 오피오이드를 받는 환자는 더욱 신중한 관리가 필요하다고 여겨집니다.⁴

전문가 견해 또한 비경구로 오피오이드를 처음 투약하는 소아과 환자나 자가 조절 진통(PCA), 대리 PCA(PCA by proxy) 및/또는 연속 주입으로 투약하는 환자는 첫 24시간 동안 지속적으로 호흡수를 모니터링하고 맥박 산소 측정을 실시하는 것이 좋다고 구체적으로 권장하고 있습니다(단, 환자가 깨어 있고 계속 관찰 중인 경우는 예외).^{4,12} 이전 연구에서도 소아는 지속적인 모니터링을 더 자주 활용해야 한다는 주장을 뒷받침합니다. 2010년에 실시한 소아과 통증 조절 설문조사에서, 응답자는 PCA 오피오이드를 제공하는 경우 지속적인 맥박 산소 측정이 보편적이라고 답했습니다.¹⁸ 하지만 지속적인 호흡수 모니터링은 덜 일관되게 사용되었습니다.(그림 2 참조).

소아 마취 학회(Society for Pediatric Anesthesia)는 소아에서 수술 전후 오피오이드 사용에 대해, 절차적 진정을 모니터링하기 위한 스케일이 아닌, 환자의 각성 수준을 평가하는 검증된 진정 점수를 사용하여 진정 수준을 정기적으로 평가할 것을 추가로 권장합니다. Pasero 오피오이드 진정 척도가 그런 선택지 중 하나입니다.¹⁹ 월령 3개월 미만인 영아에게 오피오이드 진통제 요법을 시작할 때는 준중환자실(Step-down unit, SDU), 회복실(PACU) 또는 중환자실(ICU) 등 고도로 모니터링되는 환경에서 투약하는 것이 좋습니다. 또한 산소 요법을 받는 소아 환자에서는 호흡수와 심전도의 지속적인 모니터링도 고려하는 것이 좋습니다. 보충용 산소 때문에 무호흡/호흡 저하에 대한 모니터링으로 맥박 산소 측정의 감도와 대응 시간이 저하될 가능성이 있기 때문입니다.⁴

소아과 호흡기 모니터링 및 그와 관련된 문제점

성인 환자와 마찬가지로, 어린이도 호흡기 모니터링 또한 OIRD를 미리, 적시에 식별하여 중대한 이벤트가 발생하지 않도록 개입하여 방지하는 것이 좋습니다. 호흡기 모니터링을 통해 산소 공급, 호흡수, 이산화탄소(CO₂) 장력 및 공기 흐름 등을 끊임없이, 정확하게 측정하는 것이 가장 이상적입니다. 지금도 각 매개변수를 추적하는 모니터가 있지만, 각 모니터는 임박한 호흡 부전을 예측하는 데 한계가 있습니다.(표 1 참조).

소아 진료에서 가장 흔한 모니터링 방법은 지속적인 맥박 산소측정과 경흉부 임피던스 측정입니다. 1980년대 소아 진료에 도입된 이후, 맥박 산소 측정은 영아와 어린이의 산소화 적절성에 대한 중요한 정보를 제공해 왔습니다. 맥박 산소측정 모니터

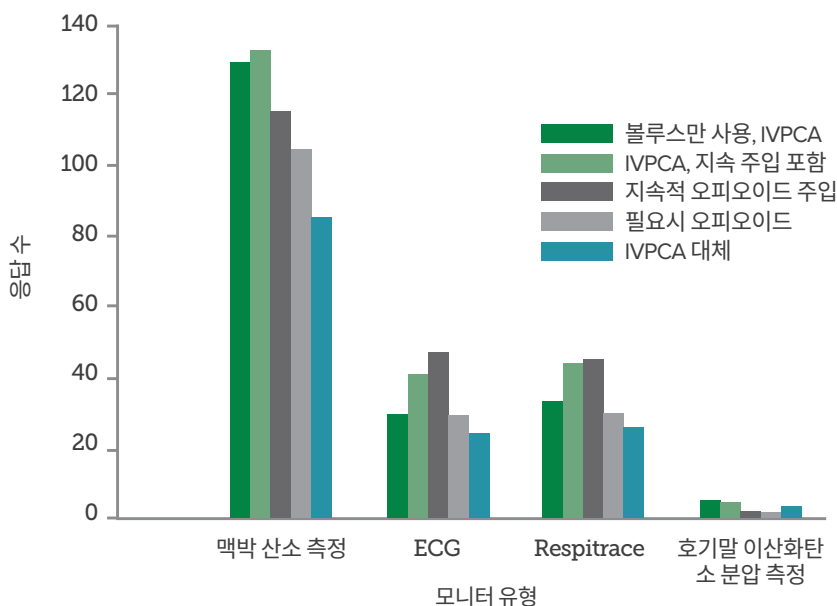


Figure 2. 소아 환자에게 오피오이드를 투약하는 경우 사용되는 환자 모니터링 유형. (질문에 답변한 응답자 전체 수 149명, 환자 조절 무통주사[IVPCA]를 대신 제공한 응답자 전체 수 95명) 응답자의 90%가 환자에게 PCA를 투약했을 때 맥박 산소 측정을 사용했다고 보고했습니다. 심전도 모니터링과 호기말 이산화탄소 분압 측정을 맥박 산소 측정과 항상 동반 사용했으며, 인덱스 호흡 감시 장치(RespiTrace)는 거의 항상 맥박 산소 측정과 함께 제공되었으나(> 90%) 유일한 모니터링 유형으로 사용된 경우도 있습니다.¹⁷ Anesthesia & Analgesia 및 Wolters Kluwer Health, Inc. Nelson KL, Yaster M, Kost-Byerly S, Monitto CL의 허가를 받아 재인쇄했습니다. 미국 소아 마취과 의사 전국 설문 조사: 소아과 급성 통증 평가에서 자가조절진통 및 여러 정맥주사 형태의 오피오이드 요법 Anesth Analg. 2010;110:754–760.¹⁸

다음 페이지의 “호흡 기능 저하” 참조

환자에게 산소 제공 시 산소 포화도 저하는 호흡 부전에 대한 뒤늦은 경고 신호일 가능성 존재

이전 페이지의 “호흡 억제”에 이어서

터링은 소아 병동에서 자주 사용되며, 모든 연령대의 환자들이 잘 견딜 수 있습니다. 다만 산소 포화도 저하는 호흡 부전에 대한 뒤늦은 경고 신호일 가능성이 있습니다. 특히, 환자가 보충용 산소를 공급받는 경우 더 위험합니다.⁴ 안타깝게도 여러 연구에서 수술 후 산소 공급을 적절한 수준으로 유지하려면 보충용 산소가 필요한 경우가 많다고 하는데, 그 이유는 수술 난이도, 환자 동반 이환이나 진통제 투여 등일 수 있습니다.^{11,18} 이러한 필요는 무호흡/저호흡과 산소 포화도 감소 사이의 시간을 증가시켜, 소아 환자가 인지되지 않은 저환기 상태의 위험에 처할 수 있습니다.

경흉부 임피던스 측정법을 이용한 호흡수 모니터링은 무호흡과 저호흡을 식별할 수 있는 기술로, 오피오이드가 뇌간 호흡 중추에 미치는 영향을 나타내는 주요 지표로 널리 사용되며 잘 견딜 수 있습니다. 다만, 연령대별로 적절한 호흡기 매개변수를 이용하도록 주의를 기울여야 합니다. 불행히도, 이 기술을 사용한 호흡수 모니터링은 최적이지 아닌 ECG 전극 배치, 운동 아티팩트, 기침과 울음과 같은 가슴벽 움직임을 유발하는 생리적 사건으로 인해 부정확할 수 있습니다. 또한, 진단되지 않은 기도 폐쇄가 있는 상황에서는 호흡 부전을 식별하지 못할 수 있습니다.

동맥혈 이산화탄소 분압(arterial PaCO₂)을 측정하면 검증된 방식으로 환기를 평가할 수 있지만, 그러려면 동맥에 접근해야 하고 지속적인 정보를 제공하지는 않습니다. 비침습적 대리 이산화탄소 분압(PaCO₂) 측정법 중 지속적인 데이터를 제공하는 것도 있습니다. 경피적 및 호기말 이산화탄소 분압(PCO₂/etCO₂) 모니터링이 대표적인 예입니다. 경피적 가스 모니터링은 1980년대에 인기가 떨어졌습니다. 신생아에게 사용하면 피부에 화상이 발생할 위험이 있는 등 기술적인 문제가 있었기 때문입니다. 다만 기술 발전으로 인해 요즘에는 경피적 PCO₂ 모니터링이 임상적으로 실현 가능해졌으며, 안전하다고 평가받습니다. 이러한 모니터는 소아 인구에서 평가되었으나,²⁰ 수술 후 오피오이드 약물을 받는 영아와 어린이에서는 연구된 바가 없습니다. 안정상태의 PaCO₂와는 좋은 상관관계를 보이거나, 반응 시간이 급격한 환기 변화의 신속한 식별을 방해하여 초기 경고 모니터로서의 유용성이 제한됩니다.

그 대신, 호기말 CO₂(etCO₂) 모니터링을 사용하면 삽관했거나, 마취했거나, 깊은 진정 요법을 실시한 환자를 모니터링할 때 초기에 믿을 수 있는 환기 부족 경고를 얻을 수 있습니다. 비강 및 경구 샘플링을 사용한 호기말 이산화탄소 분압 측정의 경우, 삽관하지 않고 PCA²⁷를 받는 성인 환자를 대상으로 연구된 적이 있으며, 산소 포화도 모니터링보다 호흡 손상을 예민하게 알아채는 지표이므로 호기

표 1: OIRD 감지를 위한 호흡기 모니터링 방식 요약.^{2,4,6,7,20~23}

모니터	측정한 매개변수	장점	단점
맥박 산소 측정기	• 산소 포화도	• 고가용성 • 내성 우수 • 중요 임계값이 명확하게 정의됨	• 호흡 저하/무호흡에 대한 뒤늦은 지표일 가능성이 있음 • 보충용 산소 공급 시 대응 시간이 늦어짐
경흉 저항 혈량 측정	• 호흡률	• 고가용성 • 내성 우수 • 연령대에 적절한 중요 임계값이 명확하게 정의됨	• 기도 폐색으로 인한 과호흡 증후군을 놓칠 가능성 있음 • 움직임으로 인한 동잡음(Motion artifacts) 발생
호기말 이산화탄소 분압 측정	• 호흡률 • etCO ₂	• 호흡률 지표 우수 • 삽관한 환자의 PaCO ₂ 에 대한 적절한 지표 제공	• 수술실과 ICU를 벗어나서는 가용성에 한계가 있음 • 어린이가 견디기 힘들 • 자연 호흡하는 환자의 경우, PaCO ₂ 와 etCO ₂ 간 상관관계 일관성 불량
경피적 CO ₂ 모니터	• 피부 표면의 CO ₂ 분압	• PaCO ₂ 와의 상관관계 정립 우수 • 중요 임계값이 명확하게 정의됨	• 가용성에 한계가 있음 • 호흡 간(breath-to-breath) 모니터링 기능 없음 • 대응이 느려 환기 상태가 급변하면 파악할 수 없음 • 12시간이 지난 후 또는 센서가 빠진 경우 보정을 다시 해야 함
비침습 호흡량 모니터	• 호흡수 • 일회호흡량 • 분당 환기	• 일회호흡량 및 호흡수 추세 제공 우수 • 내성 우수	• 구하기 힘들 • 자발 호흡하는 환자의 경우 분당환기 측정치 정확도가 떨어짐 • 어린이의 임계 분당 환기(critical minute ventilation)/일회호흡량 임계값이 정의되지 않음

etCO₂ = 호기말 이산화탄소 분압(end-tidal carbon dioxide), PaCO₂ = 동맥혈 이산화탄소 분압(partial pressure of carbon dioxide), ICU = 집중 치료 병동(중환자실, intensive care unit), CO₂ = 이산화탄소(carbon dioxide).

말 이산화탄소 분압 측정을 임박한 호흡 기능 저하에 대한 초기 경고 모니터로 사용할 가능성이 있습니다. APSF에서는 이러한 소견을 근거로, 오피오이드를 투약한 수술 후 환자에게 보조 산소를 제공하는 경우 호흡 모니터링을 위해 호기말 이산화탄소 분압 측정을 사용하도록 권장해 왔습니다. 그러나 적절한 사용을 위해서는 환자가 입과 코에서 배출되는 낮은 호흡량을 감지하기 위해 특별히 설계된 호기말 이산화탄소 분압 측정 캐놀라를 장기간 착용하는 것이 필요합니다. 이러한 캐놀라는 불편할 수 있으며, 식사나 대화와 같은 활동을 방해할 수 있어 환자의 협조를 저하시킬 수 있습니다. 실제로 비삽관, 비진정 상태의 수술 후 소아 환자에서 호기말 이산화탄소 분압 측정은 사실 바로 이런 이유 때문에 환자가 견디기 힘들어해 소아 모니터링 패러다임에서는 시행에 한계가 있었습니다.²¹

호기말 이산화탄소 분압 측정 모니터링이 제공하는 정보를 명확히 이해하는 것이 무엇보다 중요합니다. 호기말 이산화탄소 분압 측정은 호흡수를 정확하게 측정하기는 하지만, etCO₂ 값의 의미는

자연 호흡 또는 인공 호흡하는 환자 간 큰 차이를 보일 수 있습니다. PRODIGY 임상시험에서 지적한 바와 같이, 모니터링한 환자 중 60% 이상이 etCO₂가 15mm Hg 미만(50% 이상은 etCO₂ 농도가 낮고 호흡률이 낮음)인 증상을 경험했지만, etCO₂가 60mm Hg를 넘는 환자는 없었습니다.⁷ 이러한 결과를 보면 대다수의 경우 etCO₂ 값이 PaCO₂를 반영하는 것이 아니라, 오히려 인식되지 않은 기도 폐쇄로 인한 불량한 기류의 대리 지표일 수 있음을 시사합니다.

신기술인 비침습적 호흡 용적 모니터링은 기류, 특히 호흡량과 분당 환기량에 대해 더 민감한 평가를 제공할 수 있습니다. 이러한 모니터는 성인과 전신 마취하에 기계 환기를 받는 영아 및 어린이에서 검증되었습니다.^{6,22} 단, 자발 호흡하는 성인의 경우 호흡량과 호흡수의 추세는 좋았지만, 최적 표준인 폐활량 측정법에 비하면 분간 환기 측정치 정확도는 떨어졌습니다.²³ 그렇다고 해도, 이러한 장

다음 페이지의 “호흡 억제” 참조

오피오이드 치료 중인 수술 후 환자가 보충용 산소를 사용하는 경우 호기말 이산화탄소 분압 측정이 적절

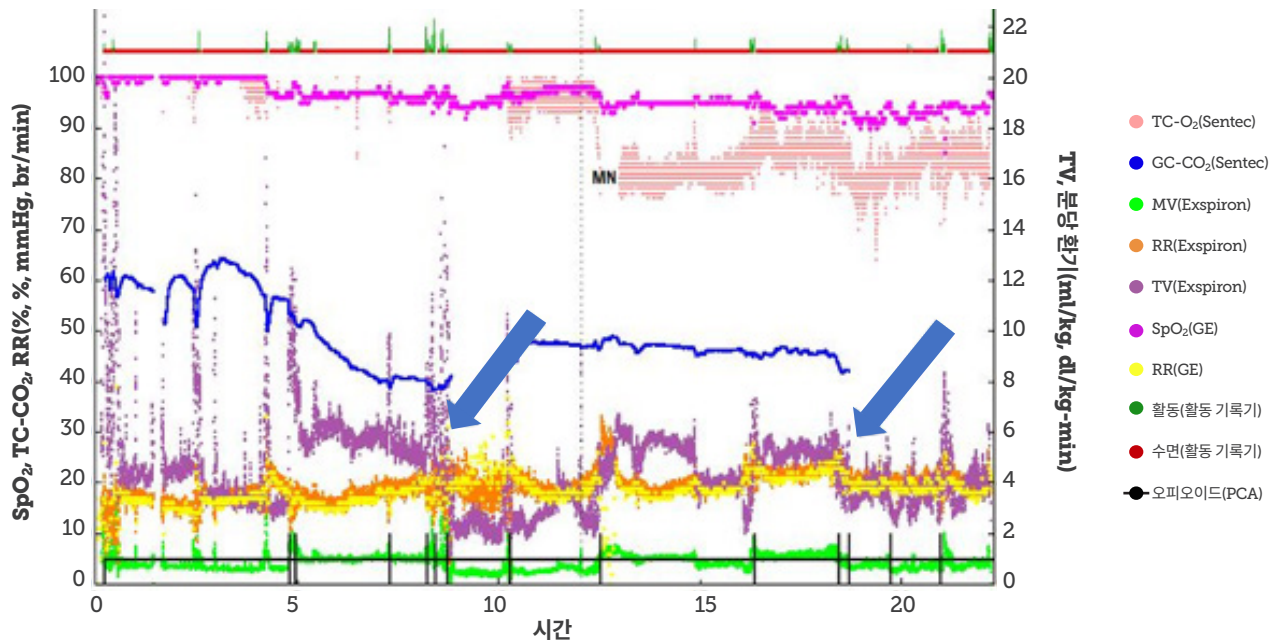


Figure 3. 후방 척추 융합술(Posterior Spinal Fusion, SPF) 수술 후 청소년 환자의 산소 포화도, 호흡수, 경피적 CO₂ 분당환기, 일회호흡량, 활동기록기 및 PCA 오피오이드 사용에 관한 24시간 데이터스트림 PCA 블루스 사용 후 일회호흡량(Tidal Volume, TV)이 떨어진 것을 파란색 화살표로 표시했습니다. MN은 자정(midnight)이라는 뜻입니다. (미출간 데이터 제공: Constance Monitto).

이전 페이지의 “호흡 억제”에 이어서

치가 제공하는 추세 모니터링은 향후 모니터링 전략을 지원하는 용도로 사용될 수 있습니다. 후방 척추 융합술을 받고 PCA 오피오이드 요법을 실시한 청소년 환자를 대상으로한 파일럿 연구의 초기 데이터는 (그림 3 참조), 이러한 모니터링을 청소년 환자가 견딜 수 있는 것으로 나타났으므로(C. Monitto의 개인적 커뮤니케이션) 소아 모니터링 분야에서도 현실적으로 사용이 가능할 것으로 시사됩니다. 그럼에도 불구하고, 임박한 호흡 부전 예측이나 현재 인식되지 않은 호흡 부전을 감지하는 데 사용할 수 있는 중요한 환기 임계값은 아직 소아에서 명확히 정의되지 않았습니다.

결론적으로, 현재 소아에서 오피오이드로 인한 호흡 부전 위험을 예측하기 위해 설계된 모델은 존재하지 않습니다. 위험 요소를 계층화할 때, 성인 대상의 연구로부터 결과를 추론할 것이 아니라 소아에게 특화된 환자 특정 요인을 포함해야 합니다. 소아의 경우 지속적인 전자 호흡기 모니터링이 성인에서보다 보편적으로 활용되는 것으로 알려져 있지만, 자연 호흡하는 환자의 모니터링을 위한 종합적인 솔루션을 제공하는 한 가지 기술은 없습니다. 앞으로는 여러 상호 보완적인 모니터를 사용하고, 소아 특화된 임계값 알람 매개변수를 포함한 양식과 함께 사용하면 이 취약한 집단에서 호흡 부전 에피소드를 더 일찍 식별할 수 있을 것입니다.

Tricia Vecchione(MD, MPH)는 메릴랜드주 볼티모어 존스 홉킨스 의과대학교 마취과 조교수입니다.

Constance L. Monitto(MD)는 메릴랜드주 볼티모어 존스 홉킨스 의과대학교 마취과 부교수입니다.

저자들은 이해관계 상충이 없습니다.

참고 문헌

- Lee LA, Caplan RA, Stephens LS, et al. Postoperative opioid-induced respiratory depression: a closed claims analysis. *Anesthesiology*. 2015;122:659–665. PMID: 25536092.
- Overdyk FJ, Carter R, Maddox RR, et al. Continuous oximetry/capnometry monitoring reveals frequent desaturation and bradypnea during patient-controlled analgesia. *Anesth Analg*. 2007;105:412–418. PMID: 17646499.
- Weinger MB, Lee LA. “No patient shall be harmed by opioid-induced respiratory depression.” *APSF Newsletter*. 2011;26:21–40. <https://www.apsf.org/article/no-patient-shall-be-harmed-by-opioid-induced-respiratory-depression/>. Accessed February 28, 2024.
- Cravero JP, Agarwal R, Berde C, et al. The Society for Pediatric Anesthesia recommendations for the use of opioids in children during the perioperative period. *Paediatr Anaesth*. 2019;29:547–571. PMID: 30929307.
- Weingarten TN. Opioid-induced respiratory depression—beyond sleep disordered breathing. *APSF Newsletter*. 2023;38:2,42–45. <https://www.apsf.org/article/opioid-induced-respiratory-depression-beyond-sleep-disordered-breathing/>. Accessed February 28, 2024.
- Gomez-Morad AD, Cravero JP, Harvey BC, et al. The evaluation of a noninvasive respiratory volume monitor in pediatric patients undergoing general anesthesia. *Anesth Analg*. 2017;125:1913–1919. PMID: 28759491.
- Khanna AK, Bergese SD, Jungquist CR, et al. Prediction of Opioid-induced respiratory Depression in Patients monitored by capnoGraphY (PRODIGY) group collaborators. prediction of opioid-induced respiratory depression on inpatient wards using continuous capnography and oximetry: an international prospective, observational trial. *Anesth Analg*. 2020;131:1012–1024. PMID: 32925318.
- Ramachandran SK, Haider N, Saran KA, et al. Life threatening critical respiratory events: a retrospective study of post-operative patients found unresponsive during analgesic therapy. *J Clin Anesth*. 2011;23:207–213. PMID: 21570616.
- Morton NS, Errera A. APA national audit of pediatric opioid infusions. *Paediatr Anaesth*. 2010;20:119–125. PMID: 19889193.
- Chidambaran V, Olbrecht V, Hossain M, et al. Risk predictors of opioid-induced critical respiratory events in children: naloxone use as a quality measure of opioid safety. *Pain Med*. 2014;15:2139–2149. PMID: 25319840.
- Voepel-Lewis T, Marinkovic A, Kostorzewa A, et al. The prevalence of and risk factors for adverse events in children receiving patient-controlled analgesia by proxy or patient-controlled analgesia after surgery. *Anesth Analg*. 2008;107:70–75. PMID: 18635469.
- Monitto CL, George JA, Yaster M: Pediatric acute pain management. In: Davis PJ, Cladis FP (eds). *Smith’s anesthesia for infants and children*. 10th edition. Elsevier, Philadelphia, PA, 481–518, 2022.
- Chung F, Liao P, Elsaid H, et al. Factors associated with postoperative exacerbation of sleep-disordered breathing. *Anesthesiology*. 2014;120:299–311. PMID: 24158050.
- Brown KA, Laferriere A, Moss IR. Recurrent hypoxemia in young children with obstructive sleep apnea is associated with reduced opioid requirement for analgesia. *Anesthesiology*. 2004;100:806–810. PMID: 15087614.
- Marcus CL, Brooks LJ, Draper KA, et al. Diagnosis and management of childhood obstructive sleep apnea syndrome. *Pediatrics*. 2012;130:576–584. PMID: 22926173.
- Coté CJ, Posner KL, Domino KB. Death or neurologic injury after tonsillectomy in children with a focus on obstructive sleep apnea: Houston, we have a problem! *Anesth Analg*. 2014;118:1276–1283. PMID: 23842193.
- Mortensen A, Lenz K, Abildstrom H, Lauritsen TL. Anesthetizing the obese child. *Paediatr Anaesth*. 2011;21:623–629. PMID: 21429056.
- Nelson KL, Yaster M, Kost-Byerly S, Monitto CL. A national survey of American pediatric anesthesiologists: patient-controlled analgesia and other intravenous opioid therapies in pediatric acute pain management. *Anesth Analg*. 2010;110:754–760. PMID: 20185654.
- Quinlan-Colwell A, Thear G, Miller-Baldwin E, Smith A. Use of the Pasero Opioid-induced Sedation Scale (POSS) in pediatric patients. *J Pediatr Nurs*. 2017;33:83–87. PMID: 28209260.
- Berkenbosch JW, Tobias JD. Transcutaneous carbon dioxide monitoring during high-frequency oscillatory ventilation in infants and children. *Crit Care Med*. 2002;30:1024–1027. PMID: 12006797.
- Miller KM, Kim AY, Yaster M, et al. Long-term tolerability of capnography and respiratory inductance plethysmography for respiratory monitoring in pediatric patients treated with patient-controlled analgesia. *Paediatr Anaesth*. 2015;25:1054–1059. PMID: 26040512.
- Atkinson DB, Sens BA, Bernier RS, et al. The evaluation of a noninvasive respiratory volume monitor in mechanically ventilated neonates and infants. *Anesth Analg*. 2022;134:141–148. PMID: 33929346.
- Gatti S, Rezoagli E, Madotto F, et al. A non-invasive continuous and real-time volumetric monitoring in spontaneous breathing subjects based on bioimpedance-ExSpiron®Xi: a validation study in healthy volunteers. *J Clin Monit Comput*. 2024;38:539–551. PMID: 38238635.

스포츠라이트: 레거시 협회 멤버 소개

Dru와 Amie Riddle

“누구도 마취 치료로 인해 피해를 보아서는 안 된다.” 사회인이 된 이후 환자를 위해 안전한 치료를 보장하는 데 모든 세월을 바쳐 온 우리로서는 APSF의 사명에 깊이 공감합니다. APSF는 이 목표를 달성하는 데 중요한 역할을 하며, 저희는 이 재단을 오랫동안 지원할 수 있기를 바라는 마음으로 자랑스럽게 후원하고 있습니다. 유산 기부는 어떤 조직에게나 매우 중요하며, 저희의 개인적 및 직업적 가치와 일치하는 조직을 지원하게 되어 영광입니다.

Dru는 공인 마취 전문 간호사(Certified Registered Nurse Anesthetist, CRNA)이고 Amie는 정신 건강 간호사(Psychiatric Mental Health Nurse Practitioner, PMHNP)입니다.



Brian Thomas와 Keri Voss

저는 미국 전역을 대표하는 선도적인 마취과 보험업체인 Preferred Physicians Medical(PPM) 위험 관리 사업부 부사장(VP)으로서, 저는 변호사로서 거의 전 생애 동안 마취 전문가들에게 위험 관리 서비스를 제공하여 환자 안전을 향상시키는 일에 헌신해 왔습니다. PPM은 30년도 넘게 마취 환자 안전 재단(APSF)의 후원사 겸 환자 안전 협력사로서 재단과 동행해 왔습니다. 그 기간, APSF와 PPM은 다수의 중요한 환자 안전 이니셔티브와 프로젝트를 통해 협업해 왔습니다. 예를 들어 *APSF 뉴스레터*, *ASA Monitor*와 학술지 *Anesthesia & Analgesia*가 대표적입니다. 개인적으로 APSF Stoelting 콘퍼런스에서 객원 발표자로 연단에 선 적도 있고, APSF 환자 안전 팟캐스트에 출연하기도 했고, *APSF 뉴스레터*의 “관련 저서 소개(In the Literature)” 개요 요약본을 기고한 적도 있습니다.

제 개인으로서 APSF와의 인연은 십 년도 더 전에 저의 멘토이자 APSF 레거시 협회 멤버인 Steve Sanford가 저를 APSF 가족과 제 생애 첫 Stoelting 콘퍼런스에 소개해 주면서 시작되었습니다. 그 이후, 감사하게도 2018년부터는 *APSF 뉴스레터* 편집 위원회와 기업 자문 위원회에 몸담아 왔고, 2019년에는 APSF 이사회에 소속되는 특권과 영예를 누렸습니다. APSF는 세계에서 가장 잘 알려지고 존경받는 환자 안전 단체 중 하나입니다. 이렇게 좋은 단체에 소속되어 유능하고, 지칠 줄 모르는 다양한 마취학계 리더 및 이해관계자와 함께 협력하여 “누구도 마취 치료로 인해 피해를 보아서는 안 된다.”는 APSF 비전을 실현하고자 노력해 온 것은 사회생활 중 가장 보람 있는 경험이었습니다. 이와 같은 여러 이유로 저와 제 아내 Keri는 우리 부부의 자산 상속 계획에 APSF를 포함하고, 이로써 APSF 레거시 협회의 다른 너그러운 멤버들과 함께 재단을 지원할 수 있어 기쁘게 생각합니다.



마취학의 미래를 지키겠다는 확고한 신념

APSF 레거시 협회(APSF Legacy Society)는 2019년에 발족한 단체로, 유산, 유언장 또는 신탁을 통해 재단에 기부하여 우리가 깊은 열정을 갖고 있는 직업을 위해 환자 안전 연구 및 교육이 지속될 수 있도록 보장하는 사람들을 기립니다.

APSF는 유산이나 유산 기부를 통해 APSF를 아낌없이 지원해 준 창립 회원분을 인정하고 감사의 뜻을 표합니다.

기부 계획과 관련한 자세한 정보는 APSF 개발 디렉터(Director of Development) Sara Moser에게 moser@apsf.org로 문의 바랍니다.

우리와 함께하세요! <https://www.apsf.org/donate/legacy-society/>

2024년 APSF Stoelting 컨퍼런스 마취 진료의 변화: 약물 오류 및 오피오이드 안전에 대한 심층 분석

컨퍼런스 기획 위원회:

Elizabeth Rebello, MD, FACHE, FASA, CPPS, CMQ, Ken Johnson, MD, Josh Lea, DNP, MBA, CRNA,
Angie Lindsey, Emily Methangkool, MD, MPH, Tricia Meyer, PharmD, Nat Sims, MD

2024년 9월 4일~5일
Markell Conference Center
Somerville, MA

하이브리드 컨퍼런스로 제공 예정

Stoelting 컨퍼런스 후원에 관한 자세한 정보는
APSF 개발 디렉터(Director of Development)
Sara Moser에게 문의 바랍니다(moser@apsf.org).

컨퍼런스에 등록하고자 하거나 컨퍼런스 관련 문의 사항이 있는 경우,
APSF 관리자인 Stacey Maxwell(maxwell@apsf.org)에게 문의 바랍니다.
*호텔 예약 기간은 추후 공개 예정

Stoelting 컨퍼런스 서포터

 **FRESENIUS
KABI**
caring for life
Fresenius Kabi(fresenius-kabi.us)

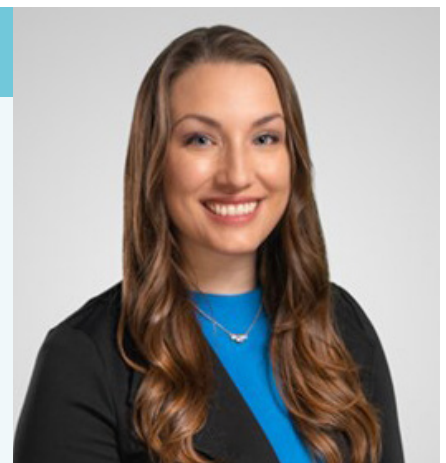
 **Medtronic**
Further, Together
Medtronic
(medtronic.com)

 **VERTEX**
Vertex Pharmaceuticals
(vrtx.com)

소셜 미디어 채널을 팔로우하세요!



APSF에서는 소셜 미디어 플랫폼을 통해 인터넷상에서 환자 안전을 위해 활발히 활동하는 이들과 교류하는 데 큰 관심이 있습니다. 지난 한 해 동안, 저희는 청중을 확대하고 커뮤니티를 위한 최적의 콘텐츠를 식별하기 위해 집중적인 노력을 기울였습니다. 덕분에 팔로워가 늘고 참여율도 몇천 퍼센트나 늘었으며, 2024년에도 이 방향으로 진전을 이루기를 바랍니다. Facebook 채널 <https://www.facebook.com/APSEforg/>와 Twitter 계정 <https://twitter.com/APSEforg>를 팔로우해 주세요. LinkedIn에서도 <https://www.linkedin.com/company/anesthesia-patient-safety-foundation-apsf>를 통해 교류할 수 있습니다. 여러분의 목소리를 꼭 듣고 싶습니다. 환자 안전성 관련 작업에 APSF를 태그해 주세요. 특히 학술지 기고문이나 프레젠테이션은 대환영입니다. 그런 자료를 태그해 주시면 주요 내용을 커뮤니티와 공유하겠습니다. 명예 대사가 되어 인터넷상에서 APSF의 활동 범위를 넓히도록 일조하는 데 관심이 있으시면, APSF 명예 대사 프로그램 디렉터인 Emily Methangkool 박사(MD)에게 이메일 methangkool@apsf.org로, 아니면 디지털 전략 및 소셜 미디어 디렉터인 Amy Pearson에게 pearson@apsf.org로 문의 바랍니다. 온라인에서 뵈겠습니다!



Amy Pearson, MD, APSF 디지털 전략 및 소셜 미디어 디렉터



기부금은 중요한 프로그램에
자금을 제공합니다

스캔하여 기부하세요



<https://www.apsf.org/donate/>

APSF 뉴스레터, 전 세계에 배포

현재 중국어, 프랑스어, 일본어, 한국어, 포르투갈어, 스페인어, 러시아어,
아랍어로 번역되어 234여 개 나라 독자와 접하는 중



apsf.org
700,000명의
연간 순 방문자

독자들:

마취과 의사, 공인 마취 전문
간호사(CRNA), 공인 마취
전문의 보조(CAA), 간호사,
외과의사, 치과의사,
의료 전문가, 위험 관리자,
업계 리더 등



현재까지
실시한 APSF
컨센서스
컨퍼런스 횟수
(등록비 없음)

22

총
1,350만
달러를 넘는
연구 지원금 수여