



APSF.ORG

ニュースレター

THE OFFICIAL JOURNAL OF THE ANESTHESIA PATIENT SAFETY FOUNDATION

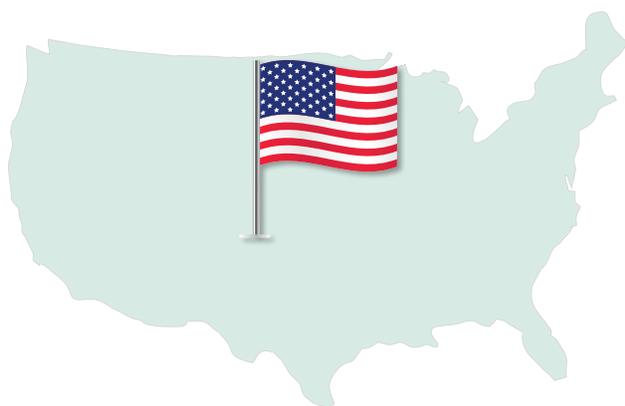
世界中で年間 1,000,000 人以上の購読者

Vol. 4 No. 3

Japanese Edition

2021年10月

Anesthesia Patient Safety Foundation (APSF) は、日本麻酔科学会 (JSA) と提携し、日本語版 APSF ニュースレターを作成し、配布することにしました。JSA の安全委員会がこの企画を担当します。共通した目標は、周術期の患者安全に対する教育を改善することです。麻酔患者の安全に対する国際的な意見交換を歓迎します。



APSF Newsletter Japanese Edition Editorial Representatives from Japan:

*Hiroki Iida, MD, PhD
Professor and Chair,
Department of Anesthesiology
and Pain Medicine
Gifu University Graduate
School of Medicine*

Assistant Editors:

*Kumiko Tanabe, MD, PhD
Department of Anesthesiology
and Pain Medicine
Gifu University Graduate School
of Medicine*

*Tomohiro Sawa, MD, PhD
Professor,
Teikyo University Medical
Information and System
Research Center
Department of Anesthesia,
Teikyo University School of
Medicine*

*Atsushi Yasuda, MD
Department of Anesthesiology
Teikyo University School of
Medicine*

*Kazuya Sobue, MD, PhD
Professor and Chair,
Department of Anesthesiology
and Intensive Care Medicine
Nagoya City University
Graduate School of Medicine*

*Yohei Fujimoto, MD, PhD
Department of Anesthesiology
Osaka City University Graduate
School of Medicine*

*Yoshiki Sento, MD, PhD
Department of Anesthesiology
and Intensive Care Medicine
Nagoya City University
Graduate School of Medicine*

APSF Newsletter Japanese Edition Editorial Representatives from U.S.:

*Steven Greenberg, MD,
FCCP, FCCM
Editor, APSF Newsletter
Clinical Professor
Department of Anesthesiology/Critical Care at
the University of Chicago, Chicago, IL.
Vice Chairperson, Education in the Department
of Anesthesiology at NorthShore University
HealthSystem, Evanston, IL.*

*Jennifer Banayan, MD
Editor, APSF Newsletter
Associate Professor,
Department of Anesthesiology, Northwestern
University
Feinberg School of Medicine,
Chicago, IL.*

*Edward Bittner, MD, PhD
Associate Editor, APSF Newsletter
Associate Professor, Anaesthesia,
Harvard Medical School
Department of Anesthesiology,
Massachusetts General Hospital, Boston, MA.*

Anesthesia Patient Safety Foundation

創設後援者 (\$340,000)
American Society of Anesthesiologists (asahq.org)



2021 Corporate Advisory Council Members (2021年9月1日現在)

プラチナ (\$50,000) Acacia Pharma (acaciapharma.com) BD (bd.com) FRESENIUS KABI caring for life (fresenius-kabi.us) GE Healthcare (gehealthcare.com) Masimo (masimo.com)		ゴールド (\$30,000) Blink Device Company (blinkdc.com) Edwards Lifesciences (edwards.com) ICU Medical (icumedical.com) Medtronic (medtronic.com) NIHON KOHDEN Nihon Kohden America (us.nihonkohden.com) MERCK (merck.com) PPM Preferred Physicians Medical Risk Retention Group (ppmrrg.com)	
シルバー (\$10,000) Heron Therapeutics Pall Corporation Senzime		ブロンズ (\$5,000) Ambu Codonics Medasense Dräger Respiratory Motion, Inc. Frank Moya Educational Programs Smiths Medical	

APSF / Medtronic Patient Safety Research Grant (\$ 150,000)とAPSF Patient Safety Prototype Development Project (\$ 100,000)のサポートと資金提供、MedtronicとDoctor's Company Foundation、Merckの教育助成金に特別に感謝の意を表します。

所属組織からの APSF ミッションの支援方法と 2021 Corporate Advisory Council への参加方法の詳細は、apsf.org にアクセスまたは Sara Moser までご連絡ください: moser@apsf.org.

団体資金供与者(専門機関、麻酔グループ、ASA State Component Societies、個人を含む)

専門機関 \$2,000~\$4,999 The Academy of Anesthesiology \$750~\$1,999 American Society of Dentist Anesthesiologists Intersurgical Incorporated Society for Airway Management Society for Pediatric Anesthesia Anesthesia Groups \$15,000以上 US Anesthesia Partners \$5,000~\$14,999 Associated Anesthesiologists, PA North American Partners in Anesthesia NorthStar Anesthesia \$2,000~\$4,999 Madison Anesthesiology Consultants, LLP TeamHealth \$750~\$1,999 Anesthesia Associates of Columbus, PA Anesthesia Consultants of Athens, LLP (Albert Santora, MDに敬意を表して) NorthShore University Health System CRNA's (Dr. Joseph Szokolに敬意を表して) \$200~\$749 Association of Anesthesiologist Assistant Education Program Children's of Alabama (Jennifer Dollar, MDに敬意を表して) UNC Student College of Clinical Pharmacy Wichita Anesthesiology Chartered ASA State Component Societies \$5,000~\$14,999 Minnesota Society of Anesthesiologists	Tennessee Society of Anesthesiologists \$2,000~\$4,999 California Society of Anesthesiologists Connecticut State Society of Anesthesiologists Massachusetts Society of Anesthesiologists Michigan Society of Anesthesiologists Washington State Society of Anesthesiologists Wisconsin Society of Anesthesiologists \$750~\$1,999 Arizona Society of Anesthesiologists Arkansas Society of Anesthesiologists Illinois Society of Anesthesiologists Iowa Society of Anesthesiologists Kentucky Society of Anesthesiologists Nebraska Society of Anesthesiologists, Inc. Ohio Society of Anesthesiologists Oregon Society of Anesthesiologists Indiana Society of Anesthesiologists Rhode Island Society of Anesthesiologists South Carolina Society of Anesthesiologists Texas Society of Anesthesiologists (Sigurdur S. Sigurdsson, MDを悼悼して) \$200~\$749 Colorado Society of Anesthesiologists Mississippi Society of Anesthesiologists New Jersey State Society of Anesthesiologists Virginia Society of Anesthesiologists 個人 \$15,000以上	Steven J. Barker, MD, PhD James J. Lamberg, DO, FASA Mary EllenとMark A. Warner \$5,000~\$14,999 Robert Bode, Jr., MD Dr. EricとMarjorie Ho Thomas L. Warren, MD (Ursula Dyer, MDを悼悼して) \$2,000~\$4,999 Robert Caplan, MD Jeffrey B. Cooper, PhD Jeffrey Feldman, MD Steven Greenberg, MD Joshua Lea, CRNA (Maria van Pelt, PhDに敬意を表して) Patty Mullin Reilly, CRNA Dr. XimenaとDr. Daniel Sessler Joyce Wahr, MD \$750~\$1,999 Donald E. Arnold, MD, FASA Douglas R. Bacon, MD, MA (Mark Warnerに敬意を表して) Douglas A. Bartlett (Diana Davidson, CRNAを悼悼して) Allison Bechtel Casey D. Blitt, MD Daniel J. Cole, MD Karen B. Domino, MD JamesとPatricia Eisenach David M. Gaba, MDとDeanna Mann Bev and Marty Greenberg (Steven Greenberg, MDに敬意を表して) Alexander Hannenber, MD (Mark A. Warnerに敬意を表して) Catherine Kuhn, MD (Stephen Klein, MDおよびMeredith Muncy, CRNAに敬意を表して) Meghan Lane-Fall, MD, MSHP Mark C. Norris, MD May Pian-Smith, MD, MS (Jeffrey Cooper, PhDに敬意を表して) Elizabeth Rebello, MD (Dr. Mark WarnerとDr. Jerome Adamsに敬意を	表して) Lynn Reede, CRNA Ty Slatton, MD Marjorie Stiegler, MD Robert K. Stoelting, MD Brian J. Thomas, JD Dr./Mrs. Donald C. Tyler \$200~\$749 Arnoley Abcejo, MD Aalok Agarwala, MD, MBA Shane Angus, AA-C Marilyn L. Barton (Darrell Bartonを悼悼して) John (JW) Beard, MD David and Samantha Bernstein (Jeff Cooperに敬意を表して) K. Page Branam, MD (Donna M Holder, MDを悼悼して) Bonnie and John Burkert Matthew W Caldwell Michael Caldwell Alexander Chaikin Marlene V. Chua, MD Heather Ann Columbano Jeremy Cook, MD John K. DesMarteau, MD Andrew E. Dick, MD Christine Doyle Thomas Ebert, MD Mike EdensとKatie Megan Mary AnnとJan Ehrenwerth, MD (Charles Cowles, MDを悼悼して) James English Thomas R Farrell, MD John Feadjoe (Rhonda Alexisを悼悼して) Steven Frank James S Gessner, MD Linda K. Groah Allen N. Gustin, MD Gary Haynes, MD, PhD, FASAと	Debra Haynes John F. Heath, MD Michael Hofkamp Steven K. Howard, MD Ken Johnson Rebecca L. Johnson, MD Ann Kinsey, CRNA Goral Krishna, MD Laurence A. Lang, MD Michael C. Lewis, MD, FASA (David Birnbach MDに敬意を表して) Della M. Lin, MD Stacey Maxwell Gregory McComas, MD James P. McMichael, MD (Howard Zauder, MDを悼悼して) Emily Methangkool, MD Tricia Meyer, PharmD Michael D. Miller, MD Sara Moser (Matthew B. Weinger, MDに敬意を表して) Rashmi Mueller Dr. MichaelとDr. Georgia Olympio Ducu Onisei MD Dr. Fredrick Orkin Frank Overdyk, MD Amy Pearson, MD Michele Pelot, MD Lee S. Perrin, MD Paul Pomerantz Cathleen Price Richard Priellipp, MD Sheila Riaz Dru Riddle Drew Rodgers (Stan Strickland, MDに敬意を表して) David Rotberg, MD Steven Sanford, JD Brad and Allison Schneider (Dr. Steven Greenbergに敬意を表して) Scott Segal Adam Setren, MD	Emily Sharpe, MD Simanok Charitable Giving Fund Michael D. Sparkuhl, MD, FACS Brad Steenwyk James F. Szocik, MD Joseph W. Szokol, MD (Steven Greenberg, MDに敬意を表して) EllenとButch Thomas LaurenceとLynn Torsher James A. Totten, M.D. Richard D. Urman, MD, MBA (Jeffrey Cooper, PhDに敬意を表して) Matthew B. Weinger, MD Andrew Weisinger G. Edwin Wilson, MD Richard N. Wissler (Jerry Modellを悼悼して) Cynthia A. Wong (Jeffrey Cooper, PhDに敬意を表して) Jennifer Woodbury Arpad Zolyomi Legacy Society https://www.apsf.org/donate/legacy-society/ DanとCristine Cole KarmaとJeffrey Cooper Dr. John H.とMrs. Marsha Eichhorn Burton A. Dole, Jr. David Gaba, MDとDeanna Mann Dr. AlexとDr. Carol Hannenber Dr. Joy L. HawkinsとDr. Randall M. Clark Dr. EricとMarjorie Ho Dr. MichaelとDr. Georgia Olympio Dr. Ephraim S. (Rick)とEileen Siker Robert K. Stoelting, MD Mary EllenとMark Warner Drs. SusanとDon Watson Matthew B. Weinger, MDとLisa Price
---	---	---	--	--	---

注:ご寄付はいつでも歓迎します。寄付方法:オンライン(<https://www.apsf.org/donate/>)またはAPSF, P.O. Box 6668, Rochester, MN 55903まで郵送(資金供与者一覧2020年8月1日~2021年7月31日現在)

目次

記事:

周術期低血圧.....	38ページ
パルスオキシメーター世界中の患者安全のパラダイムを変えた発明—日本の視点.....	38ページ
ラリンジアルマスク気道確保:手術のための日常的な自発的換気を超えた使用の拡大.....	47ページ

APSFのお知らせ:

APSF 寄付ページ.....	36ページ
投稿規定.....	37ページ
特別会員.....	50ページ
2021年理事会メンバーおよび委員会メンバー:.....	https://www.apsf.org/about-apsf/board-committees/

投稿規定

特定要件に関するより詳細な投稿規定はこちら: <https://www.apsf.org/authorguide>

APSF NewsletterはAnesthesia Patient Safety Foundation公報です。さまざまな麻酔専門家、周術期医療提供者、主要な業界の代表者、リスク管理者へ幅広く配布されています。したがって、私たちは、患者の安全に対する集学的で専門的なアプローチを強調し、それらを含む記事の出版を強く推奨しています。年に3回(2月、6月、10月)発行されます。各号の締め切りは次のとおりです。1) 2月号: 11月15日、2) 6月号: 3月15日、3) 10月号: 7月15日。ニュースレターの内容は通常、麻酔に関連した周術期の患者の安全性に焦点を当てています。内容に関する決定および投稿原稿の出版の査読は、編集者の責任となります。

1. すべての提出物は、APSF WebサイトのEditorial Managerを介して提出して下さい: <https://www.editorialmanager.com/apsf>
2. 投稿原稿のタイトル、著者の氏名、所属、各著者の利益相反、およびインデックス作成に適した3〜5個のキーワードをタイトルページに含めてください。タイトルページに単語数を明記してください(参考文献は含みません)。
3. 投稿内容の要約(3〜5文)を含めてください。これは、記事の紹介としてAPSFウェブサイト上で使用されます。
4. すべての投稿は、Microsoft WordでTimes New Roman、ダブルスペース、文字サイズ12で作成してください。

5. 原稿にページ番号を記載してください。
6. 参考文献は、米国医師会の引用スタイルに従ってください。
7. 参考文献は、原稿テキスト内に上付き数字として記載してください。
8. 原稿の参考文献用にEndnoteまたは別のソフトウェアツールを使用する場合は、タイトルページに記載してください。
9. 著者は、他の場所に掲載されている直接の引用、表、図、イラストを使用するためには、出典に関する完全な詳細とともに、著作権所有者からの書面による許可を提出する必要があります。著作権所有者が要求する可能性がある許可料は、APSFではなく、転載する資料の使用を要求する著者の責任です。未発表の図は著者の許可が必要です。

記事の種類には、(1)総説、Pro/Conディベート、エディトリアル、(2)Q&A、(3)編集者への手紙、(4)素早い応答および(5)会議レポートが含まれます。

1. 総説、Pro/Conディベート、エディトリアルは原著です。患者の安全性の問題に焦点を合わせ、適切な参考文献を引用する必要があります。記事は2,000 wordsまでに収まるようにし、参考文献数は25以下にしてください。図や表を含めることを強く推奨します。
2. 読者からのQ&A記事は、麻酔患者の安全性に関する質問に関して豊富な知識を持つ専門家や指定コンサルタントに提出され、回答が提供

されます。記事は750 wordsまでに収まるようにしてください。

3. 編集者への手紙は受け付けていますが、500 words以内に収まるようにして下さい。必要に応じて参考文献を含めてください。
4. 「読者からの質問」に対する素早い応答は、以前は「安全情報対応システム」であった「Dear SIRS」として知られており、読者が提起した技術関連の安全性懸念事項をメーカーや業界の代表者のインプットおよび対応と共に迅速に伝達するコラムです。APSF技術委員会の現委員長であるJeffrey Feldman, MDがコラムを監督し、読者からの問い合わせや業界からの回答を調整しています。

商用製品はAPSFニュースレターでは宣伝・承認されません。ただし、編集者からの特別な理由により、特定の新規かつ重要な安全関連の技術進歩に関する記事は公開される場合があります。著者は技術や商用製品との商業的関係や経済的利害関係を持ってはいけません。

掲載が承認された場合、承認された記事の著作権はAPSFに移ります。APSFニュースレターの記事、図、表、またはコンテンツの複製は、APSFの許可を得てください。

記事の投稿に関心のある個人および/または団体の方々は、編集長に直接 greenberg@apsf.org または banayan@apsf.org 宛に連絡してください。



APSF.ORG

ニュースレター

THE OFFICIAL JOURNAL OF THE ANESTHESIA PATIENT SAFETY FOUNDATION

Sessler DI. 周術期低血圧. APSF Newsletter. 2021;36:89,91-96.

周術期低血圧

Daniel I. Sessler, MDとXimena Sessler, MD 著
と深く関連している。MINSには、心筋梗塞および心筋梗塞の定義を満たさないその他の虚血性心筋傷害が含まれる。

患者が大きな非心臓手術を終えて麻酔後回復室に辿り着くと、その家族は患者が周術期の最も危険な部分を自然に乗り越えたものと思いがち。それは間違っている。手術後30日での死亡率は、術中死亡率の100倍以上である。^{1,2} 実際には、術後1ヵ月間を疾患であるとみなした場合、米国における死因の第3位を占める。³

術後死亡率の4分の3は、最初の入院中、つまり、最高レベルの施設で直接治療を受けているときに発生する。⁴ 非心臓手術後30日間で最も多い死因は大量出血と心筋損傷である。^{5,6}

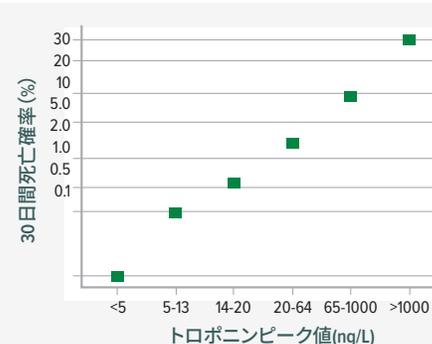
心筋傷害

心筋梗塞は、第4版ユニバーサル定義によると、トロポニンの上昇および心筋虚血の症状または徴候があることである。⁷ 非心臓手術後の心筋傷害 (Myocardial injury after non-cardiac surgery, MINS) は、虚血由来と思われるトロポニン上昇があることと定義され、30日⁸ および1年⁹ の死亡率

非心臓手術周術期の心筋傷害は、一般にタイプ2の事象であり、主に酸素需要供給ミスマッチが原因である。したがって、MINSおよび周術期の心筋梗塞とは異なる。周術期の心筋事象による死亡率は、非手術的梗塞よりも高いため、かなりの注意が必要である。^{10,11}

トロポニンスクリーニング

MINSとMIの90%以上が術後2日以内に発生し、その90%以上が無症候性である。¹² 無症候性のトロポニン上昇を擬陽性として却下することは魅力的だが、死亡率は無症候性でも症候性とはほぼ同じである (図1)。したがって、MINSも古典的な症候性梗塞と同様に深刻に捉える必要がある。



VISION試験責任医師の執筆委員会 (Writing Committee for the Vision Study Investigators) からのデータ: 非心臓手術を受けた患者における術後高感度トロポニンレベルと心筋傷害および30日間死亡率との相関関係。¹² この図は、参考文献12に示されているデータをから転用している。

図1: 術後の高感度トロポニンTピーク値の関数としての30日間死亡率。死亡率は、トロポニンT濃度が5ng/L未満の場合の0.1%からトロポニンTが1,000ng/Lを超える場合の30%まで著しく増加する。

パルスオキシメーター—世界中の患者安全のパラダイムを変えた発明—日本の視点

宮坂勝之 (MD, PhD) 著

オキシメトリー原理はあるが理論はない

私はパルスオキシメーターが発明される前の麻酔科学を経験した世代である。青柳卓雄博士がパルスオキシメトリーの原理を思い描いていた1973年から1977年まで、私は北米に留学していた。ちょうどミノルタがフィンガータイプの装置を販売し始めた頃であり、私はまだ青柳氏の存在もパルスオキシメーターのアイデアも知らなかった。当時、最新の情報を入手することは困難であった。国際通話料金は3分間で8000円もかかった。(現在の5万円もしくは500米ドルに相当する) 日本は「日本製 = 安くて、出来が悪い」というイメージを払拭し始めたばかりであった。ヒューレット・パッカートの耳に装着する8波長型オキシメーターは、すでに研究室で

使用されていた。これは正確だとは思われたが、臨床使用には面倒そうであった。

国際標準化機構の日本小委員会で青柳氏に出会ったのは、帰国してから6年後のことだった。私たちは標準化較正法の確立を試みたが、失敗に終わった。あれから36年間、私は青柳氏から学び、臨床医そして開発者として同じ時代を生きた幸運に恵まれてきた。青柳氏の偉大な発明がどのようにして生まれ発展してきたかを報告すべき責任を感じている。そこで、この機会を活かして、世界中の方々に、日本で着想を得たパルスオキシメーターの発展の経緯と未解決の問題についてお伝えしたい。

パルスオキシメーターは、肌の色、人種、年齢、体型、測定場所、装置の種類を問わず、あら

宮坂勝之、パルスオキシメーター: 世界中の患者安全のパラダイムを変えた発明—日本の視点。APSF Newsletter. 2021;36:89,97-100.

ゆる人々に対して使用することが可能である。スイッチを入れるだけで0~100%の明確な数値が表示され、健康な人には「正確と思われる」数値が表示される。しかし、青柳卓雄氏によると、表示されている数字の根拠は、たまたま正確に見えるようになっているということだ。表示された数値を正しく解釈するためには、測定パラメータの精度と信頼性を見逃さないようにすること、および関連する生理学および医学的問題を理解することが重要である。

パルスオキシメーターは呼吸ではなく酸素化を測定するが、一般の人々だけでなく、一部の医療専門家さえこれを見落としがちである。¹ さまざまな因子による経皮的測定であるが、体の動きがない場合や脈拍が安定している患者

術後低血圧は心筋梗塞に関連している

定期的なトロポニンスクリーニングがない場合、ほとんどの心筋傷害は見落とされる。合理的な戦略は、術前および術後最初の3日間トロポニンを測定することである。MINSの閾値は、アッセイの世代と種類によって異なる。

1. 非高感度(第4世代)トロポニンT $\geq 0.03\text{ng/ml}^4$;
2. 高感度トロポニンT $\geq 65\text{ng/L}$; または高感度トロポニンT = 20–64ng/Lおよびベースラインから5ng/L以上の増加¹²;
3. 高感度トロポニン(アボットアッセイ[アボットパーク,IL]) $\geq 60\text{ng/L}^{13}$;
4. 高感度トロポニン(Siemensアッセイ[ミュンヘン,ドイツ]) $\geq 75\text{ng/L}$ (Borges, 未発表);
5. トロポニン(他のアッセイ)の局所的99パーセンタイルが少なくとも2倍
6. 術前の高感度トロポニン濃度が項目2~5の関連閾値の80%を超える患者では、少なくとも20%の増加

低血圧

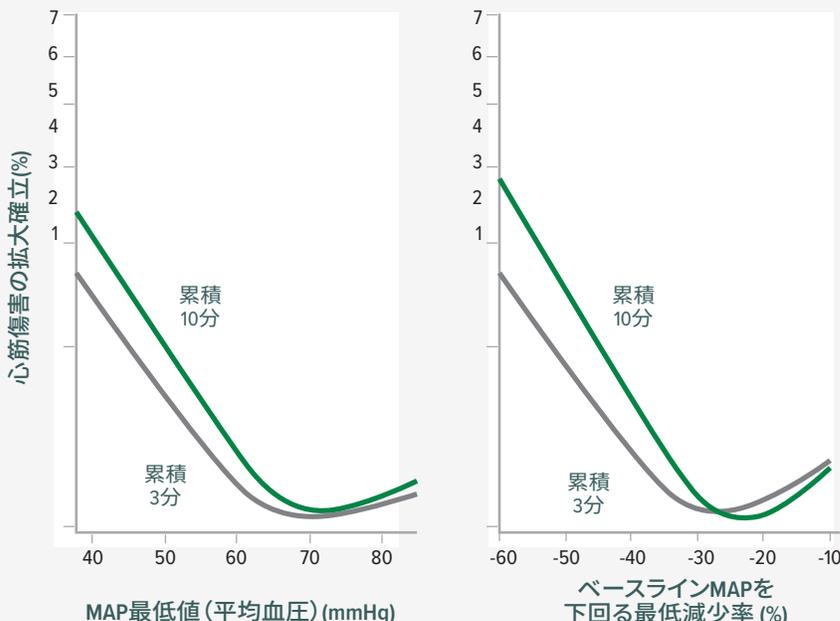
MINSとMIはどちらも、年齢、糖尿病、心血管系の病歴など、多くの修正不可能なベースライン特性と強く関連している。大規模なランダム化試験(n = 7,000–10,000)によると、ベータ遮断薬¹⁴、亜酸化窒素の回避¹⁵、クロニジン¹⁶、アスピリン¹⁷によってMIが安全に予防できないことが示されている。最近の大規模な試験では、MINSを発症した7人に1人の患者が、術後17か月以内に主要な血管事象(主に再梗塞)を発症した。¹¹

術中低血圧はMINSとMIに関連しており、有害閾値は平均動脈圧(MAP) $\approx 65\text{mmHg}$ である(図2)。^{18,19}術後低血圧は、術中低血圧とは独立して心筋梗塞に関連している(図3)。^{20,21}

VISIONコホートの結果は、術後低血圧が一般的であり(図4)、主要な血管事象と強く関連していることを示している。術後低血圧は、術中低血圧よりも心筋梗塞およびまたは死亡とより強く関連している(図5)。²²術後低血圧も脳卒中と関連しているが、^{14,22-25}一貫性はない。²⁶

その他因子

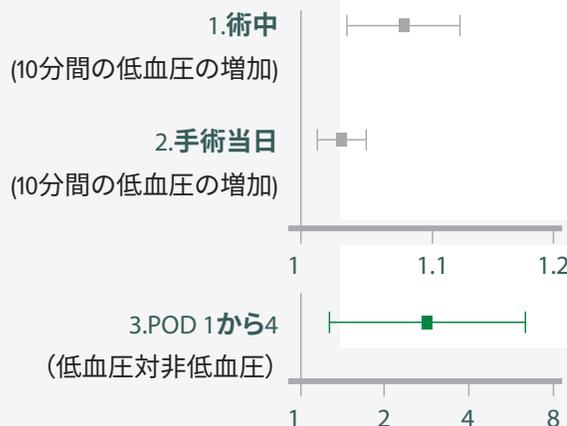
最近の2つの研究では、ベースラインの患者特性と術前貧血を調整した後でも、²⁸術後貧血と心筋傷害²⁷および梗塞との間にきわめて強い関連性があることが確認された。一方、最大100/分の心拍数と最大200mmHgの収縮期高血圧は、術後の心筋障害の重要な危険因子ではない。²⁹低酸素血症は一般病床でよく見られ、重篤で長期化する。³⁰しかし、低酸素血症が心筋傷害に寄与するかどうかは不明の



許可を得て改変転載。Salmasi V, Maheshwari K, Yang D, Mascha EJ, Singh A, Sessler DI, Kurz A. ベースラインまたは絶対値からの低下によって定義される術中低血圧と非心臓手術後の急性腎および心筋傷害との関係: 後ろ向きコホート分析。Anesthesiology. 2017;126:47–65.

図2: 非心臓手術後の心筋損傷に対する最低平均動脈圧(MAP)の閾値。左のグラフは3分間および10分間の最低累積絶対平均動脈圧と心筋損傷の関係を示したものの。右のグラフは3分間および10分間の最低累積相対平均動脈圧と心筋損傷の関係を示したものの。両グラフともにベースライン特性を調整した多変量ロジスティック回帰分析である。¹⁸

オッズ比(98.3% CI)



許可を得て改変転載。Sessler DI, Meyhoff CS, Zimmerman NM, Mao G, Leslie K, Vasquez SM, Balaji P, Alvarez-Garcia J, Cavalcanti AB, Parlow JL, Rahate PV, Seeberger MD, Gossetti B, Walker SA, Premchand RK, Dahl RM, Duceppe E, Rodseth R, Botto F, Devereaux PJ. 非心臓手術中および術後4日間の低血圧と心筋梗塞および死亡の複合との間の期間依存性の相関関係: POISE-2試験のサブスタディ Anesthesiology. 2018;128:317–327.

図3: 3つの周術期期間(術中、麻酔後回復室後の手術当日、術後入院4日間)における30日心筋梗塞・死亡率(主要複合評価項目)に対する平均相対効果のオッズ比。多重比較のCIはボンフェローニ補正によって調整した。これに応じて、平均相対効果は、 $P < 0.017$ (0.05/3) の場合を有意であるとみなした。図中の箱はオッズ比、ひげはCIを表す。POD = 術後日数²⁰

急性腎障害の低血圧害閾値は、心筋傷害のそれと同等か、それよりわずかに高い

ままである。幸いなことに、低血圧と低酸素血症の合併は、需要供給障害を引き起こす可能性があるが、稀である。

急性腎障害

新たに発症する急性腎障害 (AKI) は、非心臓手術後によく見られ、ステージ2~3は患者の最大1%で発生し、³¹、ステージ1のAKIを含めると患者の最大7.4%で発生する。³²現在、AKIを予測する信頼できる方法はない。³³AKIの低血圧による有害閾値は、おそらく腎臓の代謝率が高いため、心筋傷害の閾値と同じか、わずかに高めである。^{18,32,34}

特に、MAPカットオフ値をより厳密に55mmHg未満、この血圧を下回るのは5分未満とすると、AKIのリスクが18%増加する。³⁴他の分析でも、同様の関連性について報告されている。³⁵これらの研究を併せて考えると、周術期低血圧の程度および期間とAKIの間には堅牢な関連性があることが確認できるため、低血圧を定量化する際は、期間と変動の両方を考慮することが重要である。

周術期AKIの影響は、過去の発端となる入院を超えて広がる。1,869例の患者を対象に周術期AKIと1年死亡率の関連性を検証した観察コホート研究では、AKIと死亡の調整ハザード比3.3の間に関連性が認められた。³⁶最後に、AKIの程度がさらに軽度であっても、その影響は継続する。ステージ1のAKIの37%は、非心臓手術後1~2年持続する、または悪化する (図6)。³⁷

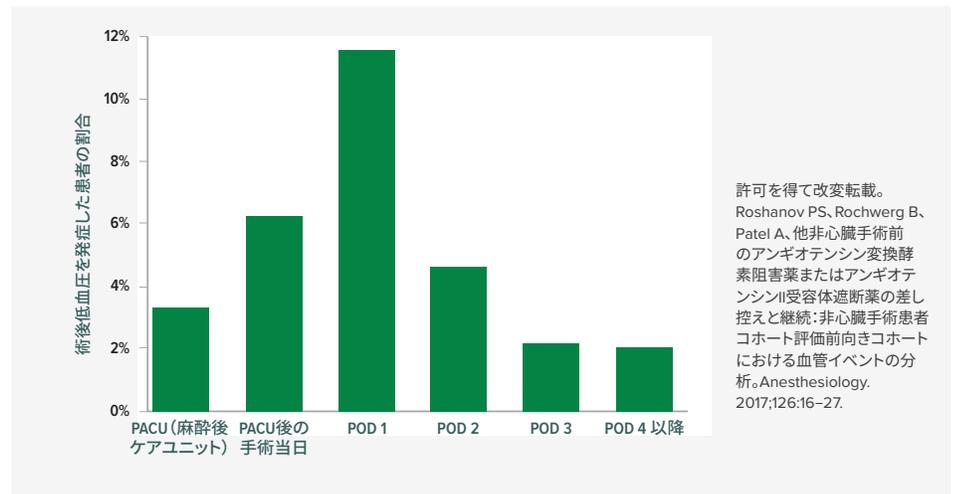


図4: 臨床的に意味のある低血圧 (収縮期血圧<90および介入を要する。合計で、14,687人の患者のうち2,860人 (19.5%) が、手術後に臨床的に意味のある低血圧発作を少なくとも1回発症した。そのうちの2,728人 (95.4%) は、術後3日目までに低血圧発作を発症した。OR =手術室; PACU =麻酔後ケアユニット。²²

せん妄

せん妄は、心臓手術の一般的な合併症であり、罹患率と死亡率に関連する。³⁸⁻⁴² 大きな非心臓手術後のせん妄発生率は約10%と報告されており、患者の年齢が65歳を超えると著しく増加する。⁴³ せん妄の病態生理は多因子的だが、おそらく平均動脈圧が自己調節の下限よりも低い場合に生じる不十分な脳灌流が一因と考えられる。⁴⁴⁻⁴⁶

脳の自動調節の閾値は依然不明だが、患者間で大きく異なることが予想され、一部の患者

では85mmHgにもなる可能性がある。^{47,48} この理論と一致して、低血圧はせん妄と認知機能低下に関連するが⁴⁹⁻⁵¹ (図7)、一貫性はない。⁵²⁻⁵⁴ せん妄が低血圧に起因することを示す限られたランダム化データ (n = 199) が存在する。⁵⁵

術後にせん妄を発症する患者は、他の患者よりも、長期的な認知機能障害を発症する確率が高くなるに高い。⁵⁶ ただし、その関連性に因果関係があるかどうかは不明のままである。低血圧はまた、せん妄と強く関連する顕在性脳



図5: 14,687人の患者全員における低血圧と術後死亡および血管イベントとの間の調整された関連。aRR = 調整された相対リスク。²²

フェニレフリンとノルエピネフリンは周術期低血圧を治療するための一般的な昇圧剤である

卒中、あるいはさらに一般的な潜在性脳卒中を惹起する可能性がある。⁵⁷

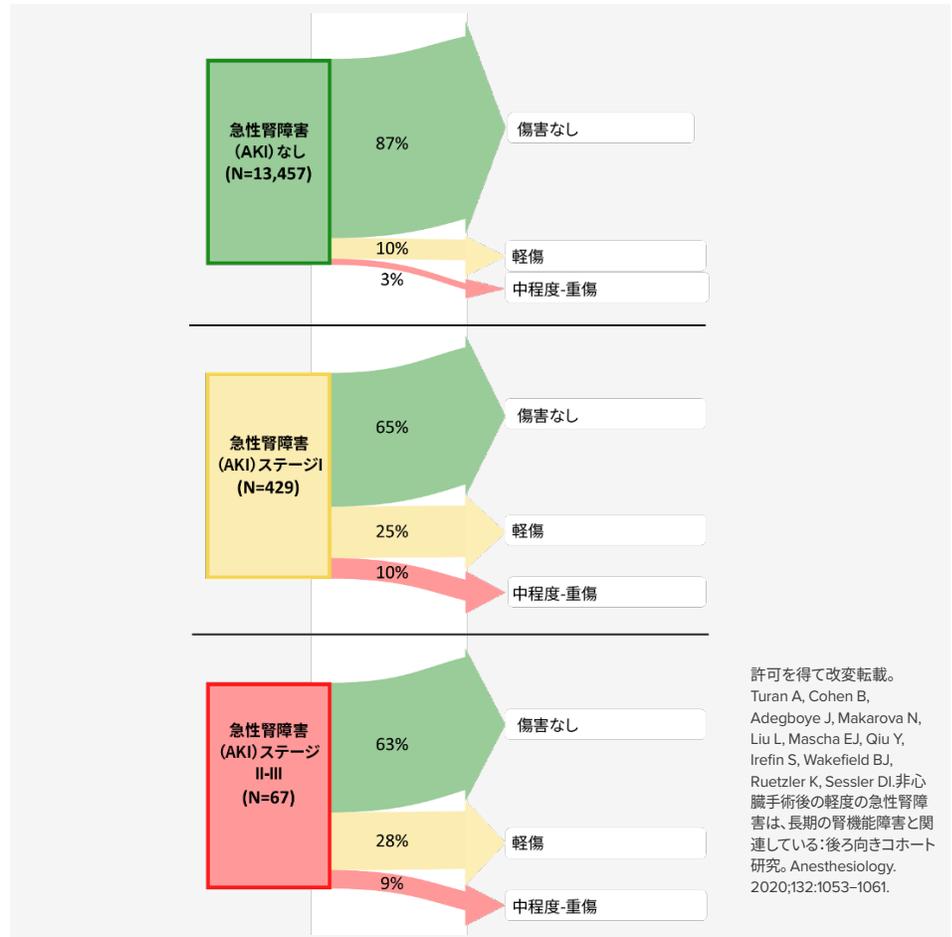
血圧管理

術中低血圧は、患者基本特性または外科的処置から確実に予測することはできない。⁵⁸ 周術期低血圧を予防および治療する最善の方法は不明なままである。術中の心係数と血圧の間には相関関係はほとんどなく、適切な血容量を維持することで低血圧を防ぐという仮定は正確ではないようだ。さらに、ある研究では、術中低血圧の3分の1が麻酔導入から外科的切開までの間に発生したため、体液の移動ではなく麻酔薬に起因していたことが明らかである。執刀前の低血圧は、その後の低血圧と同じくらい臓器損傷と強く関連している。⁵⁹

継続的な血圧モニタリングは、5分間隔での測定よりも多くの低血圧を検出できる。^{60,61} したがって、臨床医はより早く介入することができる。⁶¹ 近年、動脈波形に基づいて将来の低血圧を予測できる魅力的なアルゴリズムが開発された。⁶² 小規模な試験では、心係数に基づく管理により低血圧が減少したことが報告されたが、⁶³ 大規模な試験では、そのような利益は認められなかった。⁶⁴ その差は、治療アルゴリズムの違いによって発生した可能性が高いため、堅牢な治験が必要であることは明らかである。

フェニレフリンやノルエピネフリンなどの昇圧薬は、手術中の低血圧の治療に一般的に使用される。フェニレフリンは、米国で群を抜いて最も一般的に使用されている昇圧薬である。⁶⁵ 一方、ノルエピネフリンは一般的に他の国々で好まれる。フェニレフリンは、全身の血管抵抗を増加させることによって血圧を上昇させる純粋なアルファアドレナリン作用性であり、通常は心拍出量の代償的な減少を伴う。⁶⁶ 対照的に、ノルエピネフリンは強力な α -アドレナリン作用性と弱い β -アドレナリン作用性を組み合わせ、心拍出量の維持を補助する。その結果、血圧はいずれも昇圧薬も同等に維持されるが、⁶⁷ フェニレフリンは内臓血流と酸素供給量を減少させる。⁶⁸ 臨床医は敗血症性ショックの患者では、フェニレフリンを避けるべきである。⁶⁹

ノルエピネフリンの使用による心拍出量の維持と内臓灌流の理論的利点にもかかわらず、外科患者の転帰改善を示すエビデンスは限られている。⁷⁰ その結果、フェニレフリンとノルエピネフリンの両方が、主に臨床医の好みと可用性に基づいて、臨床診療で広く使



許可を得て改変転載。
Turan A, Cohen B, Adegboye J, Makarova N, Liu L, Mascha EJ, Qiu Y, Irefin S, Wakefield BJ, Ruetzler K, Sessler DI. 非心臓手術後の軽度の急性腎障害は、長期の腎機能障害と関連している: 後ろ向きコホート研究. Anesthesiology. 2020;132:1053-1061.

図6: 手術の1~2年後の術後急性腎障害ステージ別腎臓転帰。矢印の幅は、各暴露群で各ステージの長期腎障害を発症した患者の割合を表す。³⁷ 術後腎障害ステージ患者(クレアチニン増加が $\geq 0.3\text{mg/dL}$ またはベースライン値の1.5~1.9倍)の4分の1は1~2年後も軽度障害を有し、10%はステージがさらに高かった。したがって、腎障害ステージ患者の3分の1は、手術の1~2年後も腎障害を有していたことになる。その結果、術後腎障害ステージの患者は、術後腎障害のない患者と比較して、長期腎障害のオッズ比(95%CI)が2.3(1.8, 2.9)であった。したがって、非心臓手術後の成人では、ステージの腎障害に相当する血漿クレアチニンの軽度の術後増加でさえ、手術後1~2年の腎臓転帰の悪化と関連するため、臨床的に重要な周術期転帰と見なされるべきであると結論付ける。

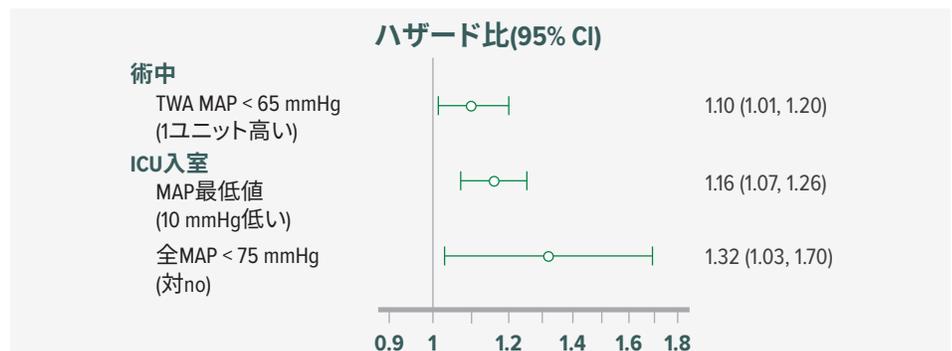


図7: 手術室から外科集中治療室に直接入室した908人の術後患者におけるせん妄の調整ハザード比。せん妄は、12時間間隔でCAM-ICUで評価した。316人(35%)の患者は、外科集中治療室で術後最初の5日以内にせん妄を発症した。MAP < 65 mmHgの術中低血圧は、術後せん妄のオッズが高いことと有意に関連していた。⁵⁰ TWA=Time Weighted Average: 時間加重平均値

許可を得て改変転載。Maheshwari K, Ahuja S, Khanna AK, Mao G, 他。術後重症患者における周術期低血圧とせん妄との関連: 後ろ向きコホート分析. Anesth Analg. 2020;130:636-643.

周術期低血圧を回避するための努力は賢明と思われる

用されている。術中の低用量の昇圧薬使用が有害であるという明確な証拠はなく、昇圧薬の使用を避けるために低血圧を許可することはおそらく賢明ではない。ノルエピネフリンは中心静脈カテーテルまたは末梢から安全に投与できる。⁷¹ 14,328人の患者を対象とした最近の研究では、血管外漏出発症は5件のみであり、局所組織損傷を経験した患者は1人もいなかった。⁷²

一般病棟における低血圧は、よく見られ、遷延しかつ重症である。周術期低血圧による臓器損傷の大半は、術中ではなく術後に発生する傾向がある。課題は、血圧測定が通常間欠的であることだ。4時間間隔でも、潜在的に重篤な低血圧の約半分が見落とされる。⁷³ (病棟における低酸素血症の大半も同様に、間欠的モニタリングにより見過ごされている。³⁰) 病棟の低血圧を確実に検出して治療するには、継続的なバイタルサインの監視が必要となる。同時に、手術当日にアンジオテンシン変換酵素阻害薬とアンジオテンシン受容体拮抗薬を回避することは、²² 明らかに必要な場合のみ長期的に投与されている降圧薬を再開するのと同様に役立つ。

関連関係と因果関係

術中低血圧は一般的である。定義と対象にもよるが、外科患者の4分の1以上が手術中の平均動脈圧が65 mmHg未満である。術後低血圧もよく見られ、潜在的に重篤なエピソードの約半分だけが、4時間間隔で日常的なバイタルサイン測定によって検出される。⁷³ 術後低血圧はしばしば長引き、多くの、あるいはほとんどの心筋損傷および腎障害が、術後に発症する可能性が高いようである。

現在、低血圧とMINSおよびAKIとの関連に因果関係があるという証拠は希薄である。しかし、小規模のランダム化試験(n = 292)では、術中低血圧を予防することで、主要な合併症のリスクが25%減少することが示されている。これは、生物学的に妥当である。⁷⁴ 以下2つの大規模な試験では、観察された関係性のどの部分(存在する場合)が因果関係にあるかを特定しようとしている。POISE-3(n = 10,000, NCT03505723)はほぼ終了し、GUARDIAN(n = 6,250, NCT保留中)が開始されようとしている。

まとめ

術中および術後の低血圧は、心筋および腎障害に関連している。その関連性は、さまざまな閾値と分析方法を使用した多様な集団で一貫して報告されており、既知のベースライン因子を調整しても存在が認められる。(ベースライン

因子との相関関係は低血圧よりもはるかに強力であるが、低血圧は修正可能であるという点で異なる。)低血圧とせん妄の相関関係も報告されているが、証拠は弱いままである。

現在、観察された関連性にどの程度因果関係が認められるかを特性評価したランダム化データはほとんどない。大規模な試験が進行中であるが、結果はしばらくの間利用できない。問題は、それまでの間血圧をどのように管理するかである。

とりわけ、2つの要素が注目に値する。1つ目は、低血圧と臓器損傷の因果関係はどの程度あるのかということだ。確かに、観察された相関関係の多くは、観察されていない交絡に起因するか、修正可能というより予測的である。しかし、少なくとも一部が因果関係にあり、介入が可能であると考えられる。考慮すべき2番目の因子は、術中の平均動脈圧を65 mmHgまたは同様の閾値以上に維持することがどれほど難しいか、ということである。一般に、術中の血圧を明らかに有害閾値よりもはるかに高く保つことは難しい(または高額ではない)。多くの場合、麻酔薬の投与を控えめにし、熟練した体液管理するだけで十分である。場合によっては、低用量または中用量の昇圧薬が必要となる。低用量の昇圧薬の投与が有害であるという説得力のある証拠はない。術後低血圧の予防ははるかに困難であるが、1つの有用なアプローチは明らかに必要になるまで長期的に使用されてきた降圧薬の再開を遅らせることである。

血圧、特に低血圧の予防は、心血管系の合併症を軽減する可能性のある修正可能な因子である。堅牢な試験の結果が出るまで、周術期低血圧を回避するための妥当な努力は賢明であるように思われる。

Daniel I. Sessler, MDは、米国ハイオ州クリーブランドにあるAnesthesiology InstituteのDepartment of Outcomes ResearchにおけるMichael Cudahy教授・主任です。

著者は、Edwards Lifesciences(カリフォルニア州アーバイン)のコンサルタントであり、Sensifree(カリフォルニア州クパチーノ)とPerceptiv Medical(カリフォルニア州ニューポートビーチ)の諮問委員会のメンバーで株式の持分を有する。

参考文献

- Li G, Warner M, Lang BH, et al. Epidemiology of anesthesia-related mortality in the United States, 1999-2005. *Anesthesiology*. 2009;110:759-765.
- Pearse RM, Moreno RP, Bauer P, et al. European Surgical Outcomes Study group for the Trials groups of the European Society of Intensive Care M, the European Society of A: mortality after surgery in Europe: a 7 day cohort study. *Lancet*. 2012;380:1059-1065.



- Bartels K, Karhausen J, Clambey ET, et al. Perioperative organ injury. *Anesthesiology*. 2013;119:1474-1489.
- The Vascular Events in Noncardiac Surgery Patients Cohort Evaluation (VISION) Study Investigators: association between postoperative troponin levels and 30-day mortality among patients undergoing noncardiac surgery. *JAMA*. 2012;307:2295-2304.
- Vascular Events in Noncardiac Surgery Patients Cohort Evaluation Study Investigators: association between complications and death within 30 days after noncardiac surgery. *CMAJ*. 2019;191:E830-E837.
- Devereaux PJ, Sessler DI. Cardiac complications in patients undergoing major noncardiac surgery. *N Engl J Med*. 2015;373:2258-2269.
- Thygesen K, Alpert JS, Jaffe AS, et al. Fourth Universal Definition of Myocardial Infarction (2018). *J Am Coll Cardiol*. 2018;72:2231-2264. doi: 10.1016/j.jacc.2018.08.1038. Epub 2018 Aug 25.
- The Vascular Events in Noncardiac Surgery Patients Cohort Evaluation (VISION) Study Investigators: association between complications and death within 30 days after noncardiac surgery. *Can Med Assoc J*. 2019;191:E830-E837.
- Beattie WS, Wijeyesundera DN, Chan MTV, et al. Anzca Clinical Trials Network for the ENIGMA-II Investigators: implication of major adverse postoperative events and myocardial injury on disability and survival: a planned subanalysis of the ENIGMA-II trial. *Anesth Analg*. 2018;127:1118-1126.
- Eikelboom JW, Connolly SJ, et al. Rivaroxaban with or without aspirin in stable cardiovascular disease. *N Engl J Med*. 2017;377:1319-1330.
- Devereaux PJ, Duceppe E, Guyatt G, et al. Dabigatran in patients with myocardial injury after non-cardiac surgery (MANAGE): an international, randomised, placebo-controlled trial. *Lancet*. 2018;391:2325-2334.
- Writing Committee for the Vision Study Investigators, Devereaux PJ, Biccari BM, Sigamani A, et al. Association of postoperative high-sensitivity troponin levels with myocardial injury and 30-day mortality among patients undergoing noncardiac surgery. *JAMA*. 2017;317:1642-1651.
- Duceppe E, Borges FK, Tiboni M, et al. Association between high-sensitivity troponin I and major cardiovascular events after non-cardiac surgery (abstract). *J Am Coll Cardiol*. 2020;75.
- Devereaux PJ, Yang H, Yusuf S, et al. Effects of extended-release metoprolol succinate in patients undergoing noncardiac surgery (POISE trial): a randomised controlled trial. *Lancet*. 2008;371:1839-1847.
- Myles PS, Leslie K, Chan MT, et al. Anzca Trials Group for the ENIGMA-II investigators: the safety of addition of nitrous oxide to general anaesthesia in at-risk patients having major noncardiac surgery (ENIGMA-II): a randomised, single-blind trial. *Lancet*. 2014;384:1446-1454.
- Devereaux PJ, Sessler DI, Leslie K, et al. Poise-2 Investigators: clonidine in patients undergoing noncardiac surgery. *N Engl J Med*. 2014;370:1504-1513.
- Devereaux PJ, Mrkobrada M, Sessler DI, et al. Poise-2 Investigators: aspirin in patients undergoing noncardiac surgery. *N Engl J Med*. 2014;370:1494-1503.
- 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.

周術期低血圧(続き)

19. Mascha EJ, Yang D, Weiss S, Sessler DI. Intraoperative mean arterial pressure variability and 30-day mortality in patients having noncardiac surgery. *Anesthesiology*. 2015;123:79–91.
20. Sessler DI, Meyhoff CS, Zimmerman NM, et al. Period-dependent associations between hypotension during and for four days after noncardiac surgery and a composite of myocardial infarction and death: a substudy of the POISE-2 trial. *Anesthesiology*. 2018;128:317–327.
21. Liem VGB, Hoeks SE, Mol K, et al. Postoperative hypotension after noncardiac surgery and the association with myocardial injury. *Anesthesiology*. 2020;133:510–522.
22. Roshanov PS, Rochweg B, Patel A, et al. Withholding versus continuing angiotensin-converting enzyme inhibitors or angiotensin II receptor blockers before noncardiac surgery: an analysis of the vascular events in noncardiac surgery patients cohort evaluation prospective cohort. *Anesthesiology*. 2017;126:16–27.
23. Bijker JB, Gelb AW. Review article: The role of hypotension in perioperative stroke. *Can J Anaesth*. 2013;60:159–167.
24. Bijker JB, Persoon S, Peelen LM, et al. Intraoperative hypotension and perioperative ischemic stroke after general surgery: A nested case-control study. *Anesthesiology*. 2012;116:658–664.
25. Sun LY, Chung AM, Farkouh ME, et al. Defining an intraoperative hypotension threshold in association with stroke in cardiac surgery. *Anesthesiology*. 2018;129:440–447.
26. Hsieh JK, Dalton JE, Yang D, et al. The association between mild intraoperative hypotension and stroke in general surgery patients. *Anesth Analg*. 2016;123:933–939.
27. Turan A, Cohen B, Rivas E, et al. Association between postoperative haemoglobin and myocardial injury after noncardiac surgery: a retrospective cohort analysis. *Br J Anaesth*. 2021;126:94–101.
28. Turan A, Rivas E, Devereaux PJ, et al. Association between postoperative haemoglobin concentrations and composite of non-fatal myocardial infarction and all-cause mortality in noncardiac surgical patients: post hoc analysis of the POISE-2 trial. *Br J Anaesth*. 2021;126:87–93.
29. Ruetzler K, Yilmaz HO, Turan A, et al. Intra-operative tachycardia is not associated with a composite of myocardial injury and mortality after noncardiac surgery: A retrospective cohort analysis. *Eur J Anaesthesiol*. 2019;36:105–113.
30. Sun Z, Sessler DI, Dalton JE, et al. Postoperative hypoxemia is common and persistent: a prospective blinded observational study. *Anesth Analg*. 2015;121:709–715.
31. Kheterpal S, Tremper KK, Heung M, et al. Development and validation of an acute kidney injury risk index for patients undergoing general surgery: results from a national data set. *Anesthesiology*. 2009;110:505–515.
32. Walsh M, Garg AX, Devereaux PJ, et al. The association between perioperative hemoglobin and acute kidney injury in patients having noncardiac surgery. *Anesth Analg*. 2013;117:924–931.
33. Whitlock EL, Braehler MR, Kaplan JA, et al. Derivation, validation, sustained performance, and clinical impact of an electronic medical record-based perioperative delirium risk stratification tool. *Anesth Analg*. 2020;131:1901–1910.
34. Walsh M, Devereaux PJ, Garg AX, et al. Relationship between intraoperative mean arterial pressure and clinical outcomes after noncardiac surgery: toward an empirical definition of hypotension. *Anesthesiology*. 2013;119:507–515.
35. Sun LY, Wijeyesundara DN, Tait GA, et al. Association of intraoperative hypotension with acute kidney injury after elective noncardiac surgery. *Anesthesiology*. 2015;123:515–523.
36. O'Connor ME, Hewson RW, Kirwan CJ, et al. Acute kidney injury and mortality 1 year after major non-cardiac surgery. *Br J Surg*. 2017;104:868–876.
37. Turan A, Cohen B, Adegboye J, et al. Mild acute kidney injury after noncardiac surgery is associated with long-term renal dysfunction: a retrospective cohort study. *Anesthesiology*. 2020;132:1053–1061.
38. Hakim SM, Othman AI, Naoum DO. Early treatment with risperidone for subsyndromal delirium after on-pump cardiac surgery in the elderly: a randomized trial. *Anesthesiology*. 2012;116:987–997.
39. Maldonado JR, Wysong A, van der Starre PJ, et al. Dexmedetomidine and the reduction of postoperative delirium after cardiac surgery. *Psychosomatics*. 2009;50:206–217.
40. Royle CF, Saager L, Whitlock R, et al. Impact of methylprednisolone on postoperative quality of recovery and delirium in the Steroids in Cardiac Surgery Trial: a randomized, double-blind, placebo-controlled substudy. *Anesthesiology*. 2017;126:223–233.
41. Shehabi Y, Grant P, Wolfenden H, et al. Prevalence of delirium with dexmedetomidine compared with morphine based therapy after cardiac surgery: a randomized controlled trial (DEXmedetomidine COMPared to Morphine-DEXCOM Study). *Anesthesiology*. 2009;111:1075–1084.
42. Turan A, Duncan A, Leung S, et al. Dexmedetomidine for reduction of atrial fibrillation and delirium after cardiac surgery (DECADE): a randomised placebo-controlled trial. *Lancet*. 2020;396:177–185.
43. Gou RY, Hsieh TT, Marcantonio ER, et al. One-year Medicare costs associated with delirium in older patients undergoing major elective surgery. *JAMA Surg*. 2021;156:430–442.
44. Hayhurst CJ, Pandharipande PP, Hughes CG. Intensive care unit delirium: a review of diagnosis, prevention, and treatment. *Anesthesiology*. 2016;125:1229–1241.
45. Daiello LA, Racine AM, Yun Gou R, et al. Postoperative delirium and postoperative cognitive dysfunction: overlap and divergence. *Anesthesiology*. 2019;131:477–491.
46. Pan H, Liu C, Ma X, et al. Perioperative dexmedetomidine reduces delirium in elderly patients after non-cardiac surgery: a systematic review and meta-analysis of randomized-controlled trials. *Can J Anaesth*. 2019;66:1489–1500.
47. Ono M, Arnaoutakis GJ, Fine DM, et al. Blood pressure excursions below the cerebral autoregulation threshold during cardiac surgery are associated with acute kidney injury. *Crit Care Med*. 2013;41:464–471.
48. Ono M, Brady K, Easley RB, et al. Duration and magnitude of blood pressure below cerebral autoregulation threshold during cardiopulmonary bypass is associated with major morbidity and operative mortality. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2014;147:483–489.
49. Feng X, Hu J, Hua F, et al. The correlation of intraoperative hypotension and postoperative cognitive impairment: a meta-analysis of randomized controlled trials. *BMC Anesthesiol*. 2020;20:193.
50. 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.
51. Hori D, Brown C, Ono M, et al. Arterial pressure above the upper cerebral autoregulation limit during cardiopulmonary bypass is associated with postoperative delirium. *Br J Anaesth*. 2014;113:1009–1017.
52. Hirsch J, DePalma G, Tsai TT, et al. Impact of intraoperative hypotension and blood pressure fluctuations on early postoperative delirium after non-cardiac surgery. *Br J Anaesth*. 2015;115:418–426.
53. Wesselink EM, Kappen TH, van Klei WA, et al. Intraoperative hypotension and delirium after on-pump cardiac surgery. *Br J Anaesth*. 2015;115:427–433.
54. Langer T, Santini A, Zadek F, et al. Intraoperative hypotension is not associated with postoperative cognitive dysfunction in elderly patients undergoing general anesthesia for surgery: results of a randomized controlled pilot trial. *J Clin Anesth*. 2019;52:111–118.
55. Brown CH 4th, Neufeld KJ, Tian J, et al. Effect of targeting mean arterial pressure during cardiopulmonary bypass by monitoring cerebral autoregulation on postsurgical delirium among older patients: A nested randomized clinical trial. *JAMA Surg*. 2019;154:819–826.
56. Brown CH 4th, Probert J, Healy R, et al. Cognitive decline after delirium in patients undergoing cardiac surgery. *Anesthesiology*. 2018;129:406–416.
57. Mrkobrada M, Chan MTV, Cowan D, et al. Perioperative covert stroke in patients undergoing non-cardiac surgery (NeuroVISION): a prospective cohort study. *Lancet*. 2019;394:1022–1029.
58. Sessler DI, Khan MZ, Maheshwari K, et al. Blood pressure management by anesthesia professionals: evaluating clinical skill from electronic medical records. *Anesth Analg*. 2021;132:946–956.
59. Maheshwari K, Turan A, Mao G, et al. The association of hypotension during non-cardiac surgery, before and after skin incision, with postoperative acute kidney injury: a retrospective cohort analysis. *Anaesthesia*. 2018;73:1223–1228.
60. Naylor AJ, Sessler DI, Maheshwari K, et al. Arterial catheters for early detection and treatment of hypotension during major noncardiac surgery: a randomized trial. *Anesth Analg*. 2020;131:1540–1550.
61. Maheshwari K, Khanna S, Bajracharya GR, et al. A randomized trial of continuous noninvasive blood pressure monitoring during noncardiac surgery. *Anesth Analg*. 2018;127:424–431.
62. Davies SJ, Vistisen ST, Jian Z, et al. Ability of an arterial waveform analysis-derived hypotension prediction index to predict future hypotensive events in surgical patients. *Anesth Analg*. 2020;130:352–329.
63. 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.
64. Maheshwari K, Shimada T, Yang D, et al. Hypotension prediction index for prevention of hypotension during moderate- to high-risk noncardiac surgery. *Anesthesiology*. 2020;133:1214–1222.
65. Farag E, Makarova N, Argalious M, et al. Vasopressor infusion during prone spine surgery and acute renal injury: a retrospective cohort analysis. *Anesth Analg*. 2019;129:896–904.
66. Ducrocq N, Kimmoun A, Furmaniuk A, et al. Comparison of equipressor doses of norepinephrine, epinephrine, and phenylephrine on septic myocardial dysfunction. *Anesthesiology*. 2012;116:1083–1091.
67. Morelli A, Ertmer C, Rehberg S, et al. Phenylephrine versus norepinephrine for initial hemodynamic support of patients with septic shock: a randomized, controlled trial. *Crit Care*. 2008;12:R143.
68. Reinelt H, Radermacher P, Kiefer P, et al. Impact of exogenous beta-adrenergic receptor stimulation on hepatosplanchnic oxygen kinetics and metabolic activity in septic shock. *Crit Care Med*. 1999;27:325–331.
69. Dellinger RP, Levy MM, Carlet JM, et al. International Surviving Sepsis Campaign Guidelines C, American Association of Critical-Care N, American College of Chest P, American College of Emergency P, Canadian Critical Care S, European Society of Clinical M, Infectious D, European Society of Intensive Care M, European Respiratory S, International Sepsis F, Japanese Association for Acute M, Japanese Society of Intensive Care M, Society of Critical Care M, Society of Hospital M, Surgical Infection S, World Federation of Societies of I, Critical Care M: Surviving Sepsis Campaign: international guidelines for management of severe sepsis and septic shock: 2008. *Crit Care Med*. 2008;36:296–327.
70. Mets B: Should norepinephrine, rather than phenylephrine, be considered the primary vasopressor in anesthetic practice? *Anesth Analg*. 2016;122:1707–1714.
71. Owen VS, Rosgen BK, Cherak SJ, et al. Adverse events associated with administration of vasopressor medications through a peripheral intravenous catheter: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care*. 2021;25:146.
72. Pancaro C, Shah N, Pasma W, et al. Risk of major complications after perioperative norepinephrine infusion through peripheral intravenous lines in a multicenter study. *Anesth Analg*. 2019;131:1060–1065.
73. Turan A, Chang C, Cohen B, et al. Incidence, severity, and detection of blood pressure perturbations after abdominal surgery: a prospective blinded observational study. *Anesthesiology*. 2019;130:550–559.
74. Futier E, Lefrant JY, Guinot PG, et al. Effect of individualized vs standard blood pressure management strategies on postoperative organ dysfunction among high-risk patients undergoing major surgery: a randomized clinical trial. *JAMA*. 2017;318:1346–1357.

パルスオキシメトリとその起源

の場合は信頼性が高くなる。測定値が極端に低い場合は、患者の臨床症状よりも数値を信じた方がよい場合がある。² 新型コロナウイルスのパンデミックで見られたように、患者は無症状の低酸素症^{3,4}を呈する可能性がある。⁵ 青柳卓雄氏は、パルスオキシメーターの測定が一般に普及する前から、パルスオキシメーターの測定に関する理解不足を懸念していた。この懸念に突き動かされて、後年、青柳氏はパルスオキシメトリの理論を確立する研究を実施するようになった。人種的な多様性に乏しい日本では、肌の色が問題になることがなくても、世界の他の地域ではそのような報告が出てくる可能性がある。⁶

パルスオキシメトリ：2つの始まり

パルスオキシメトリの発明は日本で始まり、現在では医学と世界中の一般の人々の両方で使用されている。1974年に2つの特許がほぼ同時に申請されたことは意外と知られていない。日本光電を代表する青柳卓雄氏（1974年3月29日出願）とミノルタを代表する山西昭夫氏（1974年4月24日出願）は、互いに独立してこの考えを思いついた。^{7,8} 最初に登場した青柳氏の装置は、耳朶で染色濃度計を用いて心拍出力を測定した。彼は、重畳した脈拍雑音を除去する実験中にこの着想を得た。光源は白熱電

球、測定点は耳朶であったため、実用的な機器の開発が困難で、プロジェクトは終了した。ただ、この発明は偶然の産物で、会社の主要プロジェクトに沿うものではなかった。

青柳氏がこの発明を責任者に報告し、その責任者を訪問した医師が偶然その話を耳にし、試作の取り組みが始まった。彼らは酸素飽和度の重要性にはあまり関心がなく、主に新しい測定方法に注目していた。青柳氏は、論文が発表されると、それを臨床機器に変えることについての言及はもうないと報告した。しかし青柳氏は、研究を継続し、何年もかけて測定理論を確立した後、約10年の休止期間を経て、日本光電がこの開発を新生させた。日本光電は青柳卓雄氏に研究を最後まで遂行することを許可し、彼は同社の期待に応えた。青柳卓雄氏は、1989年に東京で開催された日本臨床麻酔学会で、彼の発明であるパルスオキシメーターを日本の麻酔科医に初めて紹介した。しかしながら、日本麻酔科学会が青柳氏の社会貢献を表彰したのは2002年になってからであり、青柳氏の名前と日本光電のパルスオキシメーターが日本の麻酔科医に知れ渡るようになった。^{9,10}

一方で、山西昭夫のグループは新しいLED技術を利用して指先プレチスモグラフィを開発

しており、パルスオキシメーターの開発は彼らの主要なプロジェクトの一つであった。彼らは世界初の指先パルスオキシメーターの開発に成功した。吉谷生人氏（当時大阪大学麻酔学教授）と島田靖弘氏（同大学助教授）が関わっていたが、彼らの貢献は分析による精度の改善に限られた。¹¹ ミノルタは、1977年6月に持田製薬を通じて装置（OXIMET 1471）の販売を開始したが、光源としてLEDを使用するのではなく、タングステンと光ファイバーケーブルを組み合わせ使用したため、装置は使用可能であったが操作が困難であった。当時のLEDの赤色スペクトルが不十分であった可能性がある。

日本では認識されなかった臨床的意義

1977年に発売されたOXIMET1471パルスオキシメーターは、日本の大学の麻酔科医数名により評価されたようだ。¹² しかし、この装置は研究用の測定装置としては有用であると判断されたものの、臨床用の装置としては普及しなかった。総販売数はわずか200台に過ぎなかった。諏訪邦夫（東京大学麻酔科准教授）は1992年に自らの意志で試用してみたが、^{11,13} 残念ながら、当時も現在と同じように日本の医療機器産業に官僚主義がはびこり、イノベーションの発展を遅らせていた。

パルスオキシメトリに関する最初の科学会議は、1985年にロンドン郊外のチャートリッジで開催され、日本で最初のパルスオキシメトリに関する国際新生児小児科会議は1987年に東京郊外の箱根で開催された（図1）。

研究測定装置および臨床用モニタリング装置

ミノルタOXIMET-1471初期バージョンでは、患者の指にプローブを装着した直後に酸素化値が約90%から120%まで任意に表示された。^{12,13} 病床上で適切な調整ができるよう、機器にはデジタル数値を調整できるキャリブレーションノブが装備されていた。測定開始時の患者の酸素化に一致するように血液ガス値を設定すると、その後は正しい値が表示される。開発者は、ディスプレイに100%が表示される場合、酸素飽和濃度が本当に100%だと確信できると言うだろう。ディスプレイには、心拍ごとに小数点以下1桁までの非常に具体的な値も表示された（たとえば、95.6%）。しかし実際には、機器を患者の血液ガス値に校正した後に100%以上の数字が表示されることも珍しくなく、臨床医

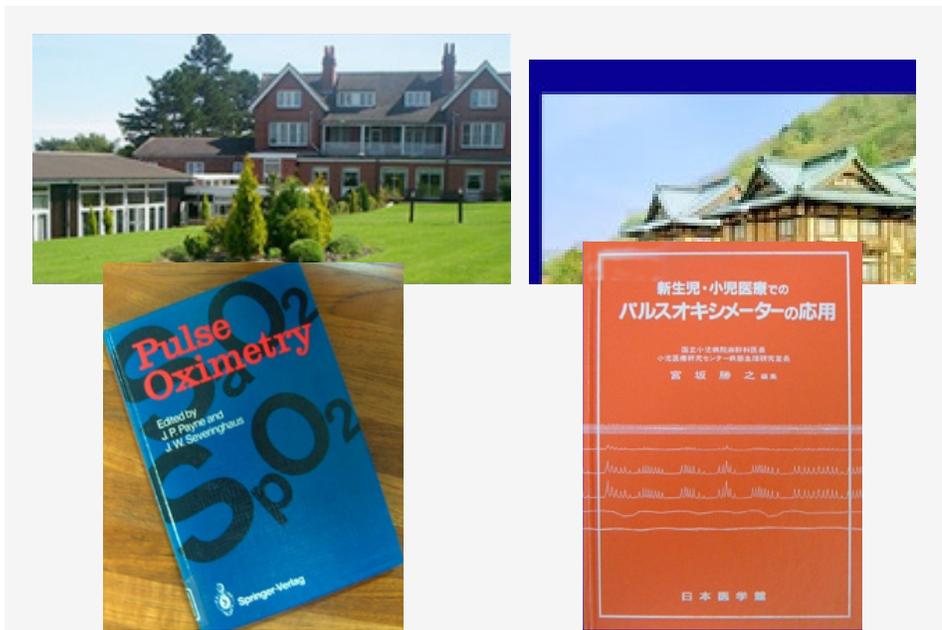


図1: 左上:1985年5月にロンドン郊外のチャートリッジのセミナーハウスで開催された国際会議では、50人が参加した。SpO₂の定義、酸素飽和度どう考えるかについての議論。左下:チャートリッジ会議の公開された議事録右上:1987年5月、神奈川県箱根富士屋ホテル—約20名が参加した新生児と小児患者に関する国際会議—From TcPO₂ to SpO₂右下:新生児および小児への応用に関する箱根会議の議事録。

パルスオキシメトリ:その重要性認識への長い道のり

らを困惑させた。それでも、さらに改良を加えれば、モニターとして大きな可能性を秘めた装置であった。

日本における麻酔から集中治療まで:

日本麻酔科学会は、最初の安全ガイドライン(安全な麻酔のためのモニター指針)を作成し、麻酔中のパルスオキシメーターの使用を推奨した。これは、ASAが1986年に米国で最初の麻酔モニタリングガイドラインを発表してから7年後のことであった。¹⁴ 麻酔に従事する医師の半数は、所属機関でパルスオキシメーターを1台も利用することができなかった。国内競争は事実上存在しなかった。麻酔科領域においてパルスオキシメーターに対する関心が急速に高まったが、患者が動かない麻酔時から、回復室、ICU、一般病棟へと使用が拡大されるようになると、身体動作による誤警報にどう対処するかが大きな課題として浮上した。静脈波が脈波に重畳すると、全ての脈動が動脈のものであるというパルスオキシメーターの都合の良い仮定が崩れてしまう。誤警報を減らすために、警報情報の一時的な凍結、データの移動平均時間の延長、心電図との同期中の動脈波形の抽出など、多くの戦略が試みられたが、これらはいずれも根本的な解決策にはならなかった(図2)。

体動による誤警報に対する解決策の登場

鈴木康之氏と私は、東京の国立小児病院の小児ICUおよび在宅小児患者の呼吸療法における呼吸モニターの信頼性と誤警報問題を研究していた。¹⁵ また、小児麻酔および小児ICUのアラーム疲労の問題に対処するために、「サウンドオブサイレンス」と呼ばれるプロジェクトを導入し、すべてのアラームが3回以内に消音されるようにした。これにより、パルスオキシメーターと患者から長時間に及ぶ生データと動画録画を取得することができた。これは比較研究ではなく発表しなかったが、日本の小児ICU患者に関するこのデータは、体動、ひいては成人の低灌流に対処する戦略の強化に役立った。^{16,17}

パルスオキシメトリ:多波長と精度の問題

多波長の理論(5波長)は2008年に提案され、¹⁸ 2015年に青柳氏により提唱されたが、検証活動が長引いたため、製品化されることはなかった。2020年には、人種差(肌の色)による測



図2:ハワイ大学のDr. Byron Aokiにモーションアーティファクトの研究を披露する青柳博士(2002年、国立成育医療研究センターのICU長を務めていた著者の事務所)。

定差の臨床的意義⁶の話題が出たが、理論がなく、標準化されたキャリブレーションを使用する数値を比較する方法がなかったため、論議の基になるものがほとんどなかった。ただし、肌の色、人種、成人、乳幼児、体型、測定場所の違いは無視できない。標準化できない(標準化できるのはキャリブレーションしかない)ヒトにおける実測値を使用して、メーカーと装置間、異なるプローブ間などのキャリブレーションを標準化することは不可能である。青柳氏が切り拓いた道は、特にSpO₂値の低い範囲で1~2%の差を許容していたという行き詰まりを打開し、パルスオキシメトリの基本理論を確立する上で大変意義深いものとなった。

多波長に関する研究

ISOのin vitroキャリブレーション方法¹⁹は確立されていないが、これは理論が確立されていないと言っているのと同じである。最新ISO規格は、非生理学的レベルの低酸素環境にさらされた健康な成人の採血を使用した実証キャリブレーションを義務付けることになった。したがって、現在利用可能なパルスオキシメーターの精度は、人種、年齢(大人または子供)、個々の装置などの要因による影響を受けることはない。久保田博南氏は、通常の実用機器にもこのような複雑なキャリブレーションプロセスを行う必要があるのか疑問を投げかけている。これは非常に複雑な問題である。

青柳卓雄氏は完全な理論の構築に着手し、光散乱法と脈動、および周囲の組織の影響を考慮した多波長シミュレーションモデルでの実験

で検証した後、2015年に東京で開催された「循環・酸素化・換気モニター技術の開発と適用(Innovations and Applications of Monitoring Perfusion, Oxygenation and Ventilation, IAMPOV)」会議で彼の研究を発表した(図3)。²⁰ 多波長を使用した彼の研究の主な理由は、精度を向上させることであった。しかし、彼は異常なヘモグロビンなどの要因を調べていなかったため、彼の研究が製品開発につながるほど重要であるとは見なされていなかった可能性がある。

社会におけるパルスオキシメーターの普及と関連する問題

青柳氏は、パルスオキシメーターの普及とともに、パルスオキシメーターの表示数値が理論の裏付けなく独り歩きする可能性を危惧していた。この機器の新型コロナウイルス(COVID-19)に対する大きな有用性の陰には、パルスオキシメーターが手術室の患者のみならず、数値の意味を正しく理解していない一般の人々にも使用されるという懸念がある。パルスオキシメーターは電子機器としてはほとんど害を及ぼさないが、数値が誤って解釈されると、重大な害が生じる可能性がある。現時点では、こうした被害からユーザーを保護する制御システムが不十分である。

臨床医は、これらの装置から起こりうる危険を人々に知らせ、表示された数値の解釈方法について教育するのを助けるべきである。パルスオキシメーターの適切な使用が保証されていない現状では、数値が正しく見える限り、人々

パルスオキシメトリとその固有の制限

は機器の性能の良し悪しを判断することができない。危険な状態であったとしても、その数値が「正常」の範囲内であれば誰も問題に気付かないだろう。

数値を正しく理解するためにユーザーを教育する必要があるが、一般の人々に対する適切な教育を要請する規制が曖昧である。機器に添付されるマニュアルには「問題がある場合は医師に相談するように」と記載されているが、素人である一般人には問題の有無を知る手立てがないため、こうした警告は無意味である。したがって、使用者は十分に理解せず装置を信じたままとなり、機器を誤用しても企業も政府も誰も責任を負うことがない。

担当当局は電子製品の安全性に関心があるかもしれないが、表示された数値がどのように解釈されるか、また医療機器の安全性にはそれほど関心がないかもしれない。臨床医が製品検査に関与することはほとんどない。私たちの使命は、機会があればいつでも一般の人々を教育し、医療用機器と非医療用機器が混在している場合は、製品評価に必要な知識を提供することである。

結論

青柳卓雄氏の発明により多くの人々の命が救われ、今後もさらに多くの命が救われるだろう。

青柳卓雄氏は、1974年に初めてパルスオキシメーターの原理を発表した。セッションは、この分野の著名な科学者である戸川達男氏（東京医科歯科大学生体材料工学研究所教授）が議長を務めた。2011年に、戸川氏は、パルスオキシメーターが青柳氏の発表時から想像以上に発展したと述べた。²¹ 多波長を使用したパルスオキシメトリの可能性は多くある。これには、標準的キャリブレーション方法の確立、低灌流または体動時の測定精度の向上、および他の物質や代謝状況の測定が含まれる。また、パルスオキシメーターは、現在、侵襲的に測定されている血糖値など酸素化以外の測定にも拡大することで、パルススペクトロフォトメトリとして機能する可能性もある。²² これは臨床医にとっては簡単なことではないかもしれないが、青柳卓雄氏に続く科学者たちに期待を込めて、この分野での彼の多大な貢献に感謝の意を表したいと思う。

宮坂勝之 (MD, PhD) は、和洋女子大学学長補佐および聖路加国際大学名誉教授である。

著者に開示すべき利益相反はない。

参考文献

1. Fu ES, Downs JB, Schweiger JW, et al. Supplemental oxygen impairs detection of hypoventilation by pulse oximetry. *Chest*. 2004; 126:1552-8.
2. Death of a male patient under observation at home. Local governor apologized. (In Japanese). <https://www3.nhk.or.jp/news/html/20210109/k10012805851000.html>. Accessed on Jan 9, 2021.
3. Wilkerson RG, Adler JD, Shah NG, et al. Silent hypoxia: a harbinger of clinical deterioration in patients with COVID-19. *Am J Emerg Med*. 2020;38:2243.e5-2243.e6.
4. Jouffroy R, Jost D, Prunet B: Prehospital pulse oximetry: a red flag for early detection of silent hypoxemia in COVID-19 patients. *Crit Care*. 2020;24:313. doi: 10.1186/s13054-020-03036-9.
5. Miyasaka K: Possibility of silent hypoxia without dyspnea: Use of pulse oximeters. *Yomiuri Newspaper*. May 21, 2020 (In Japanese)
6. Sjoding MW, Dickson RP, Iwashyna TJ, et al. Racial bias in pulse oximetry measurement. *N Engl J Med*. 2020; 383:2477-2478.
7. Aoyagi T, Kishi M, Yamaguchi K, et al. Improving ear oximeters. *JSMBE*. 1974;13:90-91 (In Japanese).
8. Miyasaka K. Anesthesiology and dawn of the pulse oximeter. *Masui*. 2018;67:S245-251 (In Japanese).
9. Severinghaus JW, Honda Y. History of blood gas analysis. VII. Pulse oximetry. *J Clin Monit*. 1987;135-138
10. Severinghaus JW: Takuo Aoyagi. Discovery of pulse oximetry. *Anesth Analg*. 2007; 105(6 Suppl):S1-4
11. Yoshiya I, Shimada Y, Tanaka K, et al. New noninvasive oxygen saturation measurement (OXIMET): Its measurement principle and performance. *ICU and CCU*. 1978;2:455-460 (In Japanese).
12. Suzukawa M, Fujisawa M, Matsushita F, et al. Our experience with a fingertip wave type oximeter. *Masui*. 1978; 27:600-606 (In Japanese).
13. Suwa K (ed). *Pulse Oximeters*. Igakutoshosha Shuppan, Tokyo 1992 (In Japanese).
14. Japanese Society of Anesthesiologists English Website, Standards & Guidelines, <https://anesth.or.jp/users/english/news/detail/605bee53-44c0-4042-9fb0-113b9dcd4c6#login-form-top>. Accessed July 10, 2021.
15. Miyasaka K, Kondo Y, Suzuki Y, et al. Toward better home respiratory monitoring: a comparison of impedance and inductance pneumography. *Acta Paediatr Jpn*. 1994; 36:307-310.
16. Miyasaka KW, Suzuki Y, Miyasaka K. Unexpectedly severe hypoxia during sprint swimming. *Anesth*. 2002;16:90-91.
17. Barker SJ. "Motion-resistant" pulse oximetry: a comparison of new and old models. *Anesth Analg*. 2002;95:967-972.
18. Aoyagi T, Fuse M, Kobayashi N, et al: Multiwavelength pulse oximetry: the theory for the Future. *Anesth Analg*. 2008;105:S53-S58.
19. International Standard. ISO 80601-2-61:2017. Medical electrical equipment—Part 2-61: particular requirements for basic safety and essential performance of pulse oximeter equipment. 2017.
20. Aoyagi T, Fuse M, Ueda Y, et al. Improving precision of pulse oximetry. The 4th International Symposium on Innovations and Applications of Monitoring Perfusion, Oxygenation and Ventilation (IAMPOV) 2015, Tokyo. <https://iam pov.org/2015-symposium/>
21. Togawa T. Father of the pulse oximeter. *JSMBE*. 2011;49:310-312 (In Japanese).
22. Aoyagi T, Miyasaka K. The theory and applications of pulse spectrophotometry. *Anesth Analg*. 2002;94:S93-S95.



図3:2015年東京IAMPVOVシンポジウム(最終日、聖路加国際大学講堂)循環・酸素化・呼吸に関するモニター機器と技術に関する国際シンポジウム。左側の赤丸:青柳卓雄氏中央エリア。前列左から右へ:P. Bickler (UCSF), S. Weinger (FDA), S. Barker (Masimo) K. Miyasaka (St. Luke's), P. Kyriacou (U. London), B. Kopotic (Edwards), K. Shelley (Yale).

ラリンジアルマスクエアウェイ: 手術のための日常的な自発的換気を超えた使用の拡大

Shauna Schwartz, DO, and Yong G. Peng, MD, PhD, FASE, FASA 著

ここに提供する情報は安全関連の教育が唯一の目的であって、医学的または法的助言を構成するものではない。個人または団体の回答は論評に過ぎず、教育や討論の目的で提供されるものであって、忠告やAPSFの意見ではない。APSFは特定の医学的または法的助言を行うことや、投稿された問い合わせに対して特定の見解や推奨を是認することを意図していない。APSFは情報の信頼性に起因する、またはそれに関して生じたと考えられる損害・損失に対して、いかなる場合も直接的にも間接的にも責任・義務を負わない。

序論

ラリンジアルマスクエアウェイ (laryngeal mask airway, LMA) は、フェイスマスクと気管チューブ (endotracheal tube, ETT) の代替気道デバイスとして、1983年にArchie Brain (MD) によって発明された。¹古典的なLMAの確立以来、デバイスは複

数の改良と変更を経てきた (表1)。LMAは、マスク単独よりも質の高い換気が可能であり、気管チューブよりも装備が軽い。² LMAの利点には、ETTよりも使いやすいさと気道組織への損傷が少ないことが挙げられるが、LMAを強制的に使用すると外傷が生じる可能性がある。³⁻⁶ LMAを使用すると、ETT

を使用した場合よりも血行動大変への影響や術後合併症が少なくなる。² LMAは、全身麻酔を必要とする手術や、気道確保困難の救助装置として広く使用されている。⁷ アメリカ麻酔科学会によって開発された最新の困難気道アルゴリズムでは、LMAは緊急の非侵襲的気道アクセスのための優先される器具である。⁷ 多くの臨床調査と研究により、LMAは安全で信頼性の高い気道デバイスであることが実証されている。^{2,6,8,9} しかし、陽圧換気 (positive pressure ventilation, PPV) や筋弛緩薬、腹腔鏡手術、肥満患者など、臨床現場でのLMAの標準化されていない使用基準については議論が続いている (表2)。LMAの使用に関する懸念は次のように分類できる。(1)位置異常によるLMAの不適切なシール。(2)喉の不快感から永久的な組織損傷に至るまでの様々な気道損傷。(3)誤嚥のリスク。(4)自発換気とは対照的な機械的換気の安全性。(5)肥満患者の安全性。このレビューでは、LMAの非日常的な使用と潜在的な安全性の問題について説明する。

表1:ラリンジアルマスクエアウェイ (LMA) の進化^{1,6,*}

名称	種類	画像	材質	利点	短所
LMA クラシック	第1世代		シリコン	オリジナルのデザイン、ETTと比較して咽頭喉頭外傷と呼吸器系の問題が少ない、レスキューデバイス	低OSP、 [†] 処理費用の増加
LMA ユニーク	第1世代		ポリ塩化ビニル	LMAクラシックの使い捨て版	低OSP
LMA FasTrach™			ポリ塩化ビニルとシリコン	ブラインドで難しい挿管をガイドするためのLMA挿管	かさばる、小児用サイズがない、処理費用増加
LMA フレキシブル			ポリ塩化ビニルとシリコン	ワイヤーで補強されたチューブ、頭頸部手術	低OSP、処理費用増加
LMA ProSeal™	第2世代		シリコン	胃吸引ポート、バイトブロック内蔵、高OSP	かさばる、マスクの折り畳みにより胃のポートを塞ぐ可能性、処理費用増加
LMA スプリーム	第2世代		ポリ塩化ビニル	ProSeal LMAの使い捨て版	かさばる、マスクの折り畳みにより胃のポートを塞ぐ可能性

*他にもさまざまな企業が製造する声門上機器が存在する。この表には、本レビューで説明した第1世代および第2世代のデバイスを提示した。

[†]OSP:中咽頭密封圧OSPが低いと、胃への送気と誤嚥のリスクが高まる。¹

Teleflex Incorporatedの許可を得て再現および修正した。©2020TeleflexIncorporated。All Rights Reserved.

LMAの配置とサイズの選択

LMAは、筋弛緩薬の有無にかかわらず全身麻酔の導入後に簡単に設置できる。¹⁰ Hemmerlingらによる研究では、初回挿入成功率は、筋弛緩薬を使用した場合は92%であったが、筋弛緩薬を使用しなかった場合は89%であった。¹⁰ 選択したLMAサイズが小さすぎると、適切なシールができず漏れが発生し、換気が不十分になる可能性がある。¹¹ デバイスが大きすぎると、適応性が低下し、シール不良や漏れが発生する可能性がある。これはまた、それが強制的に配置された場合、軟部組織、舌神経損傷、または咽頭損傷さえも引き起こす可能性がある。サイズ4および5のLMAは、ほとんどの平均的な女性および男性の成人にそれぞれ適切である。Asaiらの研究では、男女ともに大きなサイズのLMAを配置することで、漏れが減少した。¹¹ 最小膨張量を用いて適切に密封すると、咽頭測定内圧が低くなる。¹¹ Brimacombeらによる300人の咽頭測定違和感を主訴する患者を調査し、カフの量が少ないLMAとカフの量が多いLMAを比較し、後者のグループで喉の痛みと嚥下障害の発生率が

LMAの非標準的な使用

高いことを発見した。³ Higginsらによる5,264人の患者の前向き研究において、ETTとLMAの喉の痛みの発生率はそれぞれ患者の45.4%と17.5%であることがわかった。⁴ 喉の痛みの発生率は、LMAと比較してETTの方が高い可能性があるが、不適切なLMAサイズと高いカフ圧も重大な咽頭喉頭合併症の一因となる可能性がある。^{4-6,11} コクランレビューでは、Mathewらは、深麻酔下または患者覚醒後のどちらでLMAを抜去する方がよいかどうかを評価するために、2,242人の患者を対象とした15件のランダム化比較試験を統合した。レビューでは、一方の方法が他方より優れているかどうかを判断するのに十分に質の高いエビデンスがなかったと結論付けた。¹²

LMAによる誤嚥リスク

LMAの使用に関してよくある懸念は、特にPPVが適用されている場合の誤嚥リスクである。LMAの最も一般的な禁忌は、妊娠中、外傷、既存の胃不全麻痺、腸閉塞、または絶食していない患者の緊急手術など、誤嚥リスクがある患者である。表3は、LMAに対する絶対的および相対的な禁忌の概要を示す。適切に絶食した患者では、いくつかの研究により、LMAによる誤嚥のリスクが非常に低いことが確認されている。^{8,9} Brimacombeらによると、同様の患者コホートにおいて、LMAによる肺への吸引の発生率は10,000人あたり2人であるのに対し、ETTおよびフェイスマスクでは10,000人あたり1.7人であると報告されている。⁹ BernardiniとNataliniが65,712の外科手術(2,517の腹腔鏡手術と主要な腹部手術を含む)を対象とした研究では、PPVの使用下でETTと比較して古典的LMAの吸引率に有意差はなかった。⁸ Parkらによるメタアナリシスでは、腹腔鏡手術を受けた1,433人の患者を対象に第2世代LMAをETTと比較したところ、口腔咽頭漏出圧、胃への送気、誤嚥に差は見られなかった。⁶ 口腔咽頭漏出圧に差がないことは、ある程度の気道保護と、ガス注入された腹部に対しても十分な人工呼吸ができることを示唆している。⁶ LMAは腹腔鏡下手術で試用できるが、注意が必要である。中咽頭シール圧と胃吸引ポートが高い第2世代デバイスは、腹腔鏡手術に適している可能性がある。⁶

一部の第2世代LMAには、誤嚥を防ぐために胃管を配置する胃チャネルを内蔵している(表1)。大規模な観察研究では、700人の適切に絶食した患者がLMA Supreme™¹⁵ を使用

表2 ラリンジアルマスク気道確保(Laryngeal Mask Airway, LMA)の非標準的な使用法の要約

非標準的な使用	懸念事項	結語
自発換気と比較した機械換気	胃への送気、高い吸気圧での誤嚥 麻酔深度を自己調節できない	さまざまな換気モードで適切な換気を達成可能 胃内容吸引のリスクを減らすために、吸気圧を最小限に抑制
筋弛緩薬の使用	機械換気の促進	LMAの挿入と手術に利益がある可能性
腹腔鏡手術	腹部へのガス注入による誤嚥リスク	第2世代のデバイスを使用し、適切に絶食した患者において許容できる可能性
肥満患者	低下した肺コンプライアンス 換気困難	一部の肥満患者に許容、病的肥満での日常的な使用を推奨する前にさらなる研究が必要 一時的な救助装置として成功

表3 LMAの絶対的および相対的禁忌^{8,9,13,14}

絶対的禁忌	相対的禁忌
外傷	腹部大手術
絶食していない患者	妊娠> 14週間
腸閉塞	腹臥位
緊急手術	気道手術
胃内容排出の遅延	腹腔鏡手術
	肥満、BMI> 30
	PIP> 20 cmH ₂ Oで肺コンプライアンスの低下
	精神状態の異常

BMI = 体格指数; LMA = ラリンジアルマスクエアウェイ; PIP = 最高気道内圧

して全身麻酔下に帝王切開を受けた。胃ポートを通して胃管を留置したLMA Supreme™の使用による誤嚥の報告例はなかった。¹⁵

15 cm H₂Oを超える吸気圧は、下部食道括約筋の機能不全を引き起こし、胃への送気で誤嚥の可能性が高まることが指摘されている。¹⁶ Devitら⁶が、吸気量から呼気量を減算して吸気量で除算して得られる漏出率および胃への送気を評価し、さまざまな吸気圧で古典的LMAと標準的な気管挿管を比較した。漏出率は、LMAを介して供給される陽圧の増加とともに増加し、ETTでは低いままで変化しなかった。¹⁵ 15 cm H₂Oの吸気圧では、LMA使用による胃への送気は2.1%であったが、30 cm H₂Oでは35.4%であった。¹⁷ Qamarul Hodaらは、胃吸引ポートと密封改善目的の後方カフを内蔵した第2世代のProSeal LMA™と、PPVを用いた古

典的LMAを比較したコクランレビューで、逆流率には有意差が認められなかったと結論付けた。¹⁸ 吸気圧が15 cm H₂O以下に制限されている場合、新旧世代いずれのLMAも誤嚥の臨床的徴候なく適切に使用されている。^{17,18}

自発換気対人工呼吸

LMAを使用する利点は、ETTよりも患者への刺激が少ないことである。したがって、多くの場合、必要な麻酔は少なくなる。¹⁹ 使用の快適性の向上と新世代デバイスの開発により、LMAは機械換気とともに日常的に安全に使用されている。^{18,20-24} Radkeらは、LMAで全身麻酔を受けている患者の電気インピーダンストモグラフィーを使用して換気の再分布を評価した。²² 患者が自発呼吸している状態では換気の再分布はなく、圧規定換気 (pressure-controlled ventilation, PCV) と圧支持換気 (PSV) の両方で腹側に再分

肥満とLMA

まとめ

布を認めた。²² 換気の腹側分布の結果には、死腔の増加と無気肺が含まれる。^{21,24} LMAで従量式調節換気 (volume control ventilation, VCV) を使用すると、PCVと比較して、コンプライアンスが低下し、最大吸気圧が高くなる。PCVは、設定された1回換気量を維持するために吸気圧を制限する。²² PCV、VCV、およびPSVモードと比較して、自発呼吸 (spontaneous breathing, SB) 患者では、呼気終末二酸化炭素が高く、一回換気量が少なく、酸素飽和度が低かった。^{21,23} BrimacombeとKellerは、持続気道陽圧 (continuous positive airway pressure, CPAP) と比較しPSVを使用することにより、LMAによる酸素化と換気が改善することを発見した²¹。

Kellerらによる自然呼吸とPPVの比較研究では、胃への送気、気道または心血管系の合併症、または患者の換気の問題に違いはなかった。^{24,25} コクランレビューでは、PPV下で古典的LMAとProSeal™ LMAとを比較した。¹⁸ ProSeal™ LMAの方がシールに優れており、PPVにより適している可能性がある。しかし、全体的にエビデンスの質は低かった。¹⁸ ランダム化比較試験において、Capdevilaらは、さまざまな換気モード (VCV、PSV、およびSB) における覚醒時間と術中換気を検証した。²³ PSVまたはSBと比較してVCVを受けている患者では、古典的LMA除去までの時間が長かった。²³

肥満とLMA

もう一つの論争領域は、肥満患者におけるLMAの使用である。横隔膜の動きを制限し、呼吸コンプライアンスを低下させる腹部内容物による呼吸パターン制限などの肥満患者に見られる生理学的変化は、彼らを治療困難な集団とする。²⁰ 腹腔鏡手術中のガス注入は、肺コンプライアンスをさらに悪化させ、換気を困難にする可能性がある。²⁰ Cheongらは、体格指数 (BMI) が30を超える患者では、換気障害のリスクが2.5倍増加することを発見した。²⁶ Zorembaらは、軽度の末梢手術を受けている肥満患者 (BMI 30 to 35) の術後肺機能と飽和度をProSeal LMA™とETTとで評価し、²⁷ LMAグループでは術後肺合併症が少ない一方で、両方のグループで換気は適切であることを発見した。²⁷ Kellerらは、ProSeal™ LMAは挿管前にBMIが35を超える肥満患者の換気に一時的に有効であることを示した。²⁸ 第2世代LMAは肥満患者に使用されてきたが、肥満患者におけるLMA使用の安全性についてさらなる研究を行う必要がある。

LMAの設計は進化し、臨床使用はここ数十年で大幅に拡大した。LMAは、適切な絶食患者において、最小限の吸気圧を使用した機械換気を安全に行えることを示す根拠がある。第2世代LMAは、第1世代のLMAと比較して、漏出が最小限で、胃への送気も限局的である。筋弛緩薬を検討することで、LMAの挿入と人工呼吸を容易にすることが示されている。肥満患者でのLMAの使用については議論の余地がある。研究により、BMIが30未満の肥満患者では換気が成功することが証明されている。ただし、BMIが高い患者では、肥満による生理学的変化により換気に支障が出る可能性がある。LMAは、患者のサイズに関係なく、換気や挿管が困難な場合の救助装置として常に検討する必要がある。適切なLMAの適応症例は引き続き議論されている。LMAに対する潜在的な合併症と相対的な禁忌を認識し、気道管理におけるLMAの使用を最適化する臨床アルゴリズムを調整することが重要である。

Shauna Schwartz, DOは、フロリダ州ゲインズビルにあるフロリダ大学医学部の麻酔科心臓胸部麻酔フェローである。

Yong G. Peng, MD, PhDは、麻酔科の教授であり、麻酔科の心臓胸部麻酔部門責任者であり、フロリダ大学ゲインズビル校外科准教授である。

著者らに開示すべき利益相反はない。

参考文献

- Sharma B, Sahai C, Sood J. Extraglottic airway devices: technology update [published correction appears in *Med Devices (Auckl)*. 2018;1127]. *Med Devices (Auckl)*. 2017;10:189–205.
- Brimacombe J. The advantages of the LMA over the tracheal tube or facemask: a meta-analysis. *Can J Anaesth*. 1995;42:1017–1023.
- Brimacombe J, Holyoake L, Keller C, et al. Pharyngolaryngeal, neck, and jaw discomfort after anesthesia with the face mask and laryngeal mask airway at high and low cuff volumes in males and females. *Anesthesiology*. 2000;93:26–31.
- Higgins PP, Chung F, Mezei G. Postoperative sore throat after ambulatory surgery. *Br J Anaesth*. 2002;88:582–584.
- Figureado E, Vivar-Diago M, Muñoz-Blanco F. Laryngo-pharyngeal complaints after use of the laryngeal mask airway. *Can J Anaesth*. 1999;46:220–225.
- Park SK, Ko G, Choi GJ, et al. Comparison between supraglottic airway devices and endotracheal tubes in patients undergoing laparoscopic surgery: a systematic review and meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2016;95:e4598.
- Updated by the Committee on Standards and Practice Parameters, Apfelbaum JL, Hagberg, CA, Caplan RA, et al. The previous update was developed by the American Society of Anesthesiologists Task Force on Difficult Airway Management, Caplan RA, Benumof JL, Berry FA, et al; Practice guidelines for management of the difficult airway: an updated report by the American Society of Anesthesiologists Task Force on Management of the Difficult Airway. *Anesthesiology*. 2013;118:251–270.

- Bernardini A, Natalini G. Risk of pulmonary aspiration with laryngeal mask airway and tracheal tube: Analysis on 65 712 procedures with positive pressure ventilation. *Anaesthesia*. 2009;64:1289–1294.
- Brimacombe JR, Berry A. The incidence of aspiration associated with the laryngeal mask airway: A meta-analysis of published literature. *J Clin Anesth*. 1995;7:297–305.
- Hemmerling TM, Beaulieu P, Jacobi KE, et al. Neuromuscular blockade does not change the incidence or severity of pharyngolaryngeal discomfort after LMA anesthesia. *Can J Anaesth*. 2004;51:728–732.
- Asai T, Howell TK, Koga K, Morris S. Appropriate size and inflation of the laryngeal mask airway. *Br J Anaesth*. 1998;80:470–474.
- Mathew PJ, Mathew JL. Early versus late removal of the laryngeal mask airway (LMA) for general anaesthesia. *Cochrane Database of Syst Rev*. 2015;(8):CD007082.
- Teleflex. LMA Better by Design. Accessed July 26, 2020. <https://www.lmco-ifu.com/ifu/category=1>
- Kallar SK, Everett LL. Potential risks and preventative measures for pulmonary aspiration: new concepts in preoperative fasting guidelines. *Anesth Analg*. 1993;77:171–182.
- Yao WY, Li SY, Sng BL, et al. The LMA Supreme™ in 700 parturients undergoing Cesarean delivery: an observational study. *Can J Anesth*. 2012;59:648–654.
- Bouvet L, Albert ML, Augris C, et al. Real-time detection of gastric insufflation related to facemask pressure-controlled ventilation using ultrasonography of the antrum and epigastric auscultation in nonparalyzed patients: a prospective, randomized, double-blind study. *Anesthesiology*. 2014;120:326–334.
- Devitt JH, Wenstone R, Noel AG, O'Donnell MP. The laryngeal mask airway and positive-pressure ventilation. *Anesthesiology*. 1994;80:550–555.
- Qamarul Hoda M, Samad K, Ullah H. ProSeal versus Classic laryngeal mask airway (LMA) for positive pressure ventilation in adults undergoing elective surgery. *Cochrane Database Syst Rev*. 2017;7:CD009026.
- Wilkins CJ, Cramp PG, Staples J, Stevens WC. Comparison of the anesthetic requirement for tolerance of laryngeal mask airway and endotracheal tube. *Anesth Analg*. 1992;75:794–797.
- Miller RD. Miller's Anesthesia. 7th ed. Philadelphia, PA: Churchill Livingstone/Elsevier; 2010.
- Brimacombe J, Keller C, Hörmann C. Pressure support ventilation versus continuous positive airway pressure with the laryngeal mask airway: a randomized crossover study of anesthetized adult patients. *Anesthesiology*. 2000;92:1621–1623.
- Radke OC, Schneider T, Heller AR, Koch T. Spontaneous breathing during general anesthesia prevents the ventral redistribution of ventilation as detected by electrical impedance tomography: a randomized trial. *Anesthesiology*. 2012;116:1227–1234.
- Capdevila X, Jung B, Bernard N, et al. Effects of pressure support ventilation mode on emergence time and intra-operative ventilatory function: a randomized controlled trial. *PLoS One*. 2014;9:e115139.
- Keller C, Sparr HJ, Luger TJ, Brimacombe J. Patient outcomes with positive pressure versus spontaneous ventilation in non-paralyzed adults with the laryngeal mask. *Can J Anaesth*. 1998;45:564–567.
- Soni N, Williams P. Positive pressure ventilation: what is the real cost? *Br J Anaesth*. 2008;101:446–457.
- Cheong G, Siddiqui S, Lim T, et al. Thinking twice before using the LMA for obese and older patients—a prospective observational study. *J Anesth Clin Res*. 2013;4:2.
- Zoremba M, Aust H, Eberhart L, et al. Comparison between intubation and the laryngeal mask airway in moderately obese adults. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2009;53:436–442.
- Keller C, Brimacombe J, Kleinsasser A, Brimacombe L. The Laryngeal Mask Airway ProSeal™ as a temporary ventilatory device in grossly and morbidly obese patients before laryngoscope-guided tracheal intubation. *Anesth Analg*. 2002;94:737–740.

あなたの寄付は重要なプログラムに資金を提供します。

1,350万ドル
以上の研究助成金の授与



20 これまでに実施された
APSF コンセンサス会議
(登録料なし)

▶ [apsf.org](https://www.apsf.org)
一年間あたり

100万人以上の訪問者



APSFニュースレターは中国語、フランス語、日本語、ポルトガル語、スペイン語、ロシア語およびアラビア語に翻訳されています。

この人達に共通するものとは？



DanとCristine Cole



KarmaとJeffrey Cooper



Burton A. Dole, Jr.



Dr. John H.とMrs. Marsha Eichhorn



David Gaba, MDと Deanna Mann



Dr. AlexとDr. Carol Hannenberg



Dr. Joy L. HawkinsとDr. Randall M. Clark

ご参加ください!

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



Dr. EricとMarjorie Ho



Dr. MichaelとDr. Georgia Olympio



Dr. Ephraim S. (Rick)と Eileen Siker



Robert K. Stoelting, MD



Mary EllenとMark Warner



Matthew B. Weinger, MDとLisa Price



Drs. SusanとDon Watson

麻酔学の未来を守るという普遍的信念。2019年に設立されたAPSF Legacy Societyは、我々が深く情熱を注ぐ専門職を代表して患者安全の研究と教育が継続できるよう財産、遺言、または信託を通じて財団にご寄付される方に敬意を表します。

APSFは、財産または遺産を通じてAPSFを惜しみなく支援してきた初代メンバーに感謝いたします。

ブランド・ギビング (Planned giving) の詳細については、APSF開発ディレクターのSara Moser: moser@apsf.orgへお問い合わせください。

