

AHA コンセンサスステートメント

心肺蘇生の質： 院内および院外における心蘇生転帰の改善 アメリカ心臓協会（AHA）コンセンサスステートメント アメリカ救急医学会（American College of Emergency Physicians）推奨

Peter A. Meaney, MD, MPH, Chair; Bentley J. Bobrow, MD, FAHA, Co-Chair;
Mary E. Mancini, RN, PhD, NE-BC, FAHA; Jim Christenson, MD; Allan R. de Caen, MD;
Farhan Bhanji, MD, MSc, FAHA; Benjamin S. Abella, MD, MPhil, FAHA;
Monica E. Kleinman, MD; Dana P. Edelson, MD, MS, FAHA; Robert A. Berg, MD, FAHA;
Tom P. Aufderheide, MD, FAHA; Venu Menon, MD, FAHA; Marion Leary, MSN, RN;
on behalf of the CPR Quality Summit Investigators, the American Heart Association
Emergency Cardiovascular Care Committee, and the Council on Cardiopulmonary,
Critical Care, Perioperative and Resuscitation

日本語版編集者, Yasuo Takegoshi, MD, FACS

抄録—「AHA ガイドライン 2010」では、あらゆる蘇生の試みで確実に実施されるべき質の高い心肺蘇生（CPR）の方法に重点を置いた。質の高い CPR に不可欠な要素は、胸骨圧迫の中断の最小化、適切なテンポと深さの圧迫の実施、圧迫間のもたれの回避、過換気の回避の 5 つである。質の高い CPR が心停止からの生存に影響を及ぼす第一の要素であることは明白であるが、モニタリング、実際の適用、質の向上という点で相当なばらつきが認められる。そのため、システムや場所によって CPR の質が大幅に異なるものとなっている。心停止の際、プロバイダーが明確に蘇生処置の優先順位を付けられないため、しばしば質の高い CPR を傷病者が受けられないことがある。またこの不明確さのため、心停止からの生存率を上昇させる至適な治療システムの開発が妨げられている。このコンセンサスステートメントでは、訓練を受けた救助者を対象とした CPR の質に関する以下の重要な領域に取り組む：CPR の対応内容の指標；CPR に対する患者の反応のモニタリング、フィードバックおよび統合；質の高い CPR を確実に実施するチームレベルのロジスティクス；プロバイダー、チーム、およびシステムレベルでの継続的な質の向上。一貫して CPR の質を示し、向上させる指標と方法を明確に定義することにより、院内および院外の両方において蘇生の科学と傷病者との間にあるギャップが狭まり、将来のさらなる向上の基盤が築かれる。（原著論文は英語で発表：Circulation, 2013;128:417-435）

キーワード：AHA Scientific Statements ■心停止 ■CPR ■CPR の質 ■転帰 ■蘇生

全世界で毎年 1 億 3500 万件を超える心血管死が発生しており、冠動脈性心疾患の有病率は上昇している¹。世界的に見ると、院外心停止の発症率は 10 万人あたり 20～140 例、生存率は 2～11% である²。アメリカでは 50 万人超の小児および成人に心停止が発症し生存するのは 15% 未満である³⁻⁵。

このため心停止はアメリカにおいて最も人命にかかわる公衆衛生上の問題の 1 つとなっており、大腸癌、乳癌、前立腺癌、インフルエンザ、肺炎、自動車事故、HIV 感染症、銃器外傷、家屋火事全体よりも多くの人命を奪っている⁶。

アメリカ心臓協会（American Heart Association, AHA）は、執筆パネルメンバーの関係外またはその個人的、専門的、事業的利益の結果として生じる実際の利益相反または潜在的な利益相反を回避するため、あらゆる努力を行っている。具体的には、実在の利益相反または潜在的な利益相反と認定される可能性のある関係を示す、情報開示アンケート（Disclosure Questionnaire）の回答および提出を執筆グループの全メンバーに求めている。

このステートメントは、2013 年 5 月 7 日に American Heart Association Science Advisory and Coordinating Committee により承認された。本文書の写しは <http://my.americanheart.org/statements> の「By Topic」リンクまたは「By Publication Date」リンクのいずれかを選択することで入手できる。別刷購入請求先：843-216-2533 または kelle.ramsay@wolterskluwer.com

アメリカ心臓協会（AHA）は、本書を以下のとおり引用するよう要請する：Meaney PA, Bobrow BJ, Mancini ME, Christenson J, de Caen AR, Bhanji F, Abella BS, Kleinman ME, Edelson DP, Berg RA, Aufderheide TP, Menon V, Leary M; on behalf of the CPR Quality Summit Investigators, the American Heart Association Emergency Cardiovascular Care Committee, and the Council on Cardiopulmonary, Critical Care, Perioperative and Resuscitation. 心肺蘇生の質：院内および院外における心蘇生転帰の改善：アメリカ心臓協会（AHA）コンセンサスステートメント（原著論文は英語で発表）：Circulation. 2013;128:417-435. 日本語版：<http://eccjapan.heart.org>

AHA Scientific Statement のピアレビューは AHA Office of Science Operations が実施した。AHA ステートメントおよびガイドライン策定の詳細は <http://my.americanheart.org/statements> の「Policies and Development」リンクをクリックすること。

権限：アメリカ心臓協会（AHA）の許可なく、本書の複製、修正、変更、拡張、配布を行ってはならない。許諾手続きについては http://www.heart.org/HEARTORG/General/Copyright-Permission-Guidelines_UCM_300404_Article.jsp を参照。「Copyright Permissions Request Form」へのリンクがページの右側にある。

© 2013 American Heart Association, Inc.

Circulation のホームページ：<http://circ.ahajournals.org>

Claude Beck が記載しているように、多くの場合、心停止傷病者は「死亡するには良すぎる心臓」をもっている⁷。このような症例では、迅速な介入により蘇生が成功する。しかし、全生存率は依然として低いままである。なぜであろうか。患者およびイベントをコントロールした後においても、プレホスピタルと院内という状況内および状況間のどちらにおいても、生存率に著しいばらつきがあることを示すエビデンスが増えつつある。以下に例を挙げる：

- プレホスピタルの状況では、蘇生転帰コンソーシアム (Resuscitation Outcomes Consortium, ROC) Epistry 参加施設間で、院外心停止からの生存率は 3.0% ~ 16.3% であった³。英国では、National Health Service 救急システム内の生存退院率は 2% ~ 12% であった⁸。
- 院内の状況では、Get With The Guidelines-Resuscitation 質向上プログラムの参加施設間で、院内生存率の中央値が成人心停止で 18% (四分位範囲 12% ~ 22%)、小児心停止で 36% (四分位範囲 33% ~ 49%) であった。
- 院内の状況では、午前 7 時から午後 11 時まで心停止が起こった場合の生存率は 20% を超えるが、午後 11 時から午前 7 時に起こった場合は 15% しかない⁹。場所に関しても著しいばらつきがあり、モニターされていない状況における夜間の生存率は 9% であるのに対し、日中の手術室/麻酔後回復室での生存率はほぼ 37% である⁹。
- 患者の生存は心肺蘇生 (CPR) の質と関連している。救助者が 38 mm 未満の深さで圧迫を行った場合、院外心停止後の生存退院率は 30% 低下する¹⁰。同様に、救助者が非常に遅い速度で圧迫した場合、院内心停止後の自己心拍再開 (ROSC) 率は 72% から 42% に低下する¹¹。

これらの研究で記載されたパフォーマンスと生存率におけるばらつきが、蘇生分野の専門家にとって転帰を改善しようとする誘因になった。心停止からの生存を最大限に高めるため、今は蘇生プロセスの全体としての成果だけでなく、CPR の質を具体的に最適化する作業に重点を置く必要がある。

CPR は救命的介入の 1 つであり、心停止からの蘇生の基盤となるものである^{12~14}。心停止からの生存は、心停止イベントの早期認識および救急対応システムへの迅速な出勤要請にかかっているが、実施される CPR の質にも同等の比重がかかっている。動物による研究と臨床研究の両方において、蘇生中の CPR の質が生存に有意な影響を及ぼし、施設間と施設内で認められる生存率の大幅なばらつきの一因であることが示されている^{3,15}。CPR はそれだけでは本質的に不十分なもので、ガイドラインに従って行われた場合でも、正常時に比べて心臓への血流は 10% ~ 30%、脳への血流は 30% ~ 40% にしかならない^{16~19}。この不十分さから、訓練を受けた救助者が可能な限り質の高い CPR を行う必要があることがさらに強調される。

質の低い CPR は、予防可能な害であると考えべきである。医療環境では、医師のパフォーマンスにおけるばらつきは、医療関連の合併症を減少させる能力に影響を与えることから²⁰、転帰を改善し予防可能な害を減少させるために、標準化したアプローチが提唱されている²¹。体系的で継続的な質向上 (CQI) アプローチの使用により、多数の緊急的医療状況での転帰が至適なものになること

が示されている^{22~24}。このエビデンスにもかかわらず、CPR の質および転帰の一貫したモニタリングによる CQI アプローチを心停止に適用する医療機関はほとんどない。その結果、実施される蘇生治療の質、およびより多くの命を救う重大な機会の存在に許容できないばらつきが依然として残っている。

今日、CPR の質に関する現在の知識と至適な CPR の実施との間にある大きなギャップによって、心停止を原因とした本来は予防可能な死亡が起きている。蘇生処置は各患者に応じて変える必要がある。心停止は疫学および資機材の異なる多様な状況で起こるが、このような状況のそれぞれにおいて CPR の質を向上させる有効な解決法が存在する。本コンセンサスステートメントの目的は、CPR の質を最大限に高め、より多くの命を救う具体的なフレームワークを医療従事者および医療システムに提供することにより、大規模な変革を促すことである。蘇生を取り巻く既存の学術的エビデンス (「AHA ガイドライン 2010」 [2010 AHA Guidelines for CPR and ECC] に提示) とルーチンの臨床診療へのガイドラインの取込みとのギャップを埋めることを意図している。実施した方法は、専門家の意見と既存の研究の解釈を使用して、AHA ガイドライン 2010 を実行する実際的な実践アプローチを提供することである。対象集団 (例、新生児)、救命の連鎖 (例、バイスタンダーによる CPR、蘇生後ケア)、CPR 技術 (手の位置、デューティサイクル、気道補助器具) および教育 (成人の学習原理、訓練中のフィードバック装置) などの患者の生存に影響する多数の因子があるが、このコンセンサスステートメントは、訓練を受けたプロバイダーが成人および小児の心停止の際に最適なパフォーマンスを行うのにさらに役立つ重要な CPR パラメータに重点を置いている。

CPR の質に関係のある 4 つの領域に取り組む：

- プロバイダーチームによる CPR 対応内容の指標
- モニタリングおよびフィードバック：蘇生に対する患者の反応およびチームの成果をモニタリングするオプションと技術
- チームレベルのロジスティクス：複雑な状況における質の高い CPR の確保法
- CPR に対する継続的な質の向上 (CQI for CPR)

さらに、既存の知識とテクノロジーにおけるギャップを検討し優先順位を付け、最適な蘇生の実施に対する推奨事項を決める。

方法

本ステートメントの寄稿者は、成人および小児の心蘇生および CPR の質に関連する訓練に対する専門知識により選択された。参加者および寄稿者の選択は北米に制限し、他の国際的グループは選択されなかった。議長とプログラム計画委員会との一連の電話会議およびオンラインセッション (ウェビナー) 後、執筆グループのメンバーが選択され、各項の内容を作成するチームが作られた。AHA の利益相反管理ポリシーに従って、執筆グループの選択が行われた。執筆グループの長は、各寄稿者をその専門領域が反映される 1 つ以上の執筆チームに任命した。CPR の質およびシステム向上に関連する学術会議で発表された論文および抄録を International Liaison Committee on Resuscitation の「2010 International Consensus on CPR and ECC Science With Treatment Recommendations」ステートメン

トと 2010 International Liaison Committee on Resuscitation ワークシート, PubMed, Embase, AHA master resuscitation reference library により同定した。重要な論文および抄録のハンドサーチにより補足した。文献レビューから作成されたステートメントは、執筆グループが原案を作成し、2012 年 5 月 20 日から同 21 日にかけてテキサス州アービングで開催された CPR Quality Summit で CPR の質に関する分野の世界的研究者らに提示された。参加者が各ステートメントを評価し、そこで提案された修正事項が原案に盛り込まれた。各項の原案は執筆チームのメンバーが作成し、合意の上、編集と単一文書への集約のため議長に送付された。完全な文書の第一稿は、初回コメントと編集のため執筆チームのリーダーに回覧された。本文書の改訂版が全寄稿者に回覧され、コンセンサスが得られた。この改訂されたコンセンサスステートメントを提出して独立したピアレビューを受け、最終的にいくつかの主要な専門家団体による承認を受けた（承認団体を参照）。AHA Emergency Cardiovascular Care Committee and Science Advisory and Coordinating Committee は発表する最終版を承認した。

プロバイダーチームによる CPR 対応内容の指標

重要臓器への酸素と基質の供給が心停止の際の CPR における中心的目標である。酸素と基質を供給するには、効果的な胸部圧迫により、心停止総時間の大半で適切な血流を送り出す必要がある。CPR 後の自己心拍再開 (ROSC) は、CPR 中の心筋への適切な酸素供給と心筋血流に依存している¹⁶⁻¹⁸。冠動脈灌流圧 (CPP, 胸骨圧迫の減圧相における大動脈拡張期圧と右心房拡張期圧との差) は、CPR 中の心筋血流の第一の決定要因である²⁵⁻²⁷。したがって、CPR 中に CPP を最大限に高めることが第一の生理学的目標である。大半の患者では CPP を容易には測定できないため、良好な血行動態またはヒトの生存のいずれかを裏付けるエビデンスを有する特定の CPR 構成要素に注目すべきである。

成果の高い CPR について、胸骨圧迫の割合 (chest compression fraction [CCF]), 胸骨圧迫のテンポ, 胸骨圧迫の深さ, 胸壁の戻り (もたれの残存), および換気の 5 つの要素が特定されている。これらの CPR 要素は、その血流と転帰に対する寄与から特定された。これらの要素の重要性およびその相対的関係を理解することは、プロバイダーが個々の患者の転帰を向上させるため、指導者が蘇生訓練の質を向上させるため、管理者が医療システム内の高い質の確保を目的に成果を監視するため、プロバイダー、指導者および管理者による CPR の質を最適化するのに必要な器具を業者が開発するために不可欠である。

介入の最小化: CCF > 80%

組織の適切な酸素化には、医師が胸骨圧迫の中断を最小限にし、胸骨圧迫が血流を生じる時間を最大限にすることが不可欠である^{12,28}。CCF とは心停止中に実施された胸骨圧迫の時間の割合である。心停止期間とは、心停止が最初に確認された時間から、持続的な心拍が最初に回復した時間までと定義される。灌流を最大限に高めるため、AHA ガイドライン 2010 では、胸骨圧迫の中断を最小限にするよう推奨されている。専門家のコンセンサスでは、さ

まざまな状況で達成できる CCF は 80% となっている。院外心停止に関するデータによると、CCF 低値は ROSC 減少と生存退院率の低下と関連していた^{29,30}。生存率を改善する CCF 上昇法の 1 つはショック適用前の休止時間を短縮することであり³¹、他の方法については後記の「チームレベルのロジスティクス」で考察する。

100 ~ 120/分の胸骨圧迫テンポ

AHA ガイドライン 2010 では、胸骨圧迫テンポは 100/分以上を推奨している²⁸。胸骨圧迫テンポの低下に伴い ROSC が有意に激減し、テンポが速いと冠動脈血流が減少し^{11,32}、目標とする深さに達する圧迫の割合が低下する可能性がある^{10,33}。ROC Epistry によるデータから、圧迫テンポと生存率との関連性についてベストエビデンスが得られ、100 ~ 120 回/分の圧迫が至適目標であると提案されている³⁴。この範囲より上または下の一貫したテンポは、生存退院率を低下させると考えられる。

胸骨圧迫の深さ: 成人で 50 mm 以上, 乳児および小児で胸部前後方向の厚みの 1/3 以上

圧迫により重要な血流が生じ、心臓と脳に酸素およびエネルギーが供給される。AHA ガイドライン 2010 では、1 回の胸骨圧迫の深さは成人で最低 50 mm (2 インチ) 以上と推奨している。小児に適用できる情報はあまり存在しないが、乳児および小児において胸部前後方向の厚みの 1/3 以上 (乳児では 4 cm [約 1.5 インチ], 小児では 5 cm [約 2 インチ]) が妥当な圧迫の深さの目標である^{35,36}。

最近の研究から成人で 44 mm 以上の深さが至適な転帰に十分であると示唆されているものの³⁷、圧倒的多数の文献で、勧告にもかかわらず十分深く圧迫を行わない救助者が多いと示唆されている^{10,37-39}。初期の研究では 50 mm を超える胸骨圧迫の深さは成人における除細動の成功率と ROSC を上昇させると示唆されていた⁴⁰⁻⁴³。最近の研究で、成人の院外心停止における胸骨圧迫の深さと生存率が検討され、38 mm 未満の深さは ROSC の低下および生存率の低下に関連するという結論が出された¹⁰。さまざまな深さが推奨され、訓練の目標が操作性能の目標と異なる場合は、混乱が生じる可能性がある。至適な深さは、患者の体格、圧迫の深さ、環境の特徴 (支持マットレスの存在など) といった因子によって異なる。転帰に関するこれまでの研究には、CPR での圧迫について、平均的深さの使用、さまざまな胸骨圧迫の深さの影響、経時的胸部コンプライアンスの変動による限界が認められる。

胸壁の完全な戻り: もたれを残さないこと

胸骨圧迫担当者が圧迫の最後に胸壁が完全に戻るようにしなかった場合、胸壁の減圧が不完全になる^{44,45}。これは救助者が患者の胸壁にもたれている場合に起こり、胸壁が完全に拡張するのを妨げる。もたれにより、心臓全体の血流が減少することがわかっており、静脈還流および心拍出量が減少しうる⁴⁶。もたれに関連する転帰については非常に少ないデータしかないが、動物による研究では、もたれにより右心房圧が上昇し、脳および冠動脈灌流圧、心係数、左心室心筋血流が低下することが示されている⁴⁶⁻⁴⁸。ヒトの研究では、救助者の大多数が CPR の際にしばしばもたれかかっており、胸壁を完全に戻していないことが示されている^{49,50}。そのため専門家パネルは、もたれを最小限に抑えるべきであることに合意した。

過換気の回避：1分あたり12回未満の人工呼吸、胸の上がりを最小限にする

CPRの際、酸素供給が必須であるものの、血中含有酸素を補うのに適切な介入時間枠は不明であり、心停止の種類（不整脈性、呼吸原性など）によって異なる可能性が高い。また代謝に必要な酸素量は、胸骨圧迫中においても心停止患者では実質的に減少している。不整脈性の心停止が突然発症した場合、酸素含有量が最初に十分あることから、質の高い胸骨圧迫によって体全体に酸素化した血液を循環させることができる。動物およびヒトでの研究により、換気を行わない圧迫が非呼吸原性心停止の初期では十分であることが示唆されている^{51~54}。心停止が呼吸原性である場合、補助換気と質の高い胸骨圧迫の併用が十分な酸素供給に必須である。動物およびヒトを対象とした、呼吸原性心停止に関する研究では、補助換気と質の高い胸骨圧迫の両方が実施された場合に転帰が改善したという所見が得られている^{55,56}。

灌流を妨げず血液に十分な酸素を供給することが CPR 中の補助換気目標である。陽圧換気は CPR 中の冠動脈灌流圧 (CPP) を低下させ⁵⁷、同期換気 (高度な気道確保がない場合に推奨される)³⁵ は中断を必要とするため CCF が低下する。テンポまたは 1 回換気量のいずれかによる過換気は蘇生の状況ではよくみられるものである^{38,51~60}。バースタnderによる胸骨圧迫だけの CPR により、標準的 CPR による院外心停止と同程度の転帰が得られているが^{38,51,52}、経験豊富なプロバイダーによる換気はいつおよびどのような場合に中止されるべきかを定めた十分なエビデンスは今のところ認められないため、さらなるデータが必要である。

1分あたり12回未満の人工呼吸

換気回数 (回/分) に関する現在のガイドライン勧告は、高度な気道確保の存在 (8~10 回/分)、ならびに患者の年齢および現場の救助者数 (胸骨圧迫と人工呼吸の比率が 15:2 か 30:2) により異なっている。他の推奨目標が達成されている場合 (すなわち、胸骨圧迫テンポが 100~120 回/分、1 回の人工呼吸の吸気時間が 1 秒)、これらの比率から換気回数は 6~12 回/分となる。動物の研究では換気回数が多い場合の害について交錯した結果が得られている^{57,61} が、換気回数を多くして患者を換気することが有益であることを示すデータはない。現在推奨している胸骨圧迫と人工呼吸の比率は、血液の酸素化と CO₂ クリアランスを適切に維持しながら心筋血流を最適化する記憶補助 (メモリーエイド) として設定されている。専門家パネルは、AHA ガイドライン 2010 を支持し、陽圧換気が血流に及ぼす影響を最小限にする 12 回/分未満の換気回数を推奨する。

胸の上がりを最小限にする：至適な換気圧および換気量

胸の上がりが見認できる程度の換気量とすべきである。自己心拍と CPR 中のいずれにおいても、陽圧換気により心拍出量が有意に減少する^{57,62~65}。長時間の心停止中に少ない 1 回換気量を用いても Pao₂ の有意差と関連性はないことから⁶⁶、現在この方法が推奨されている⁶⁷。また、保護されていない気道での陽圧換気により胃への送気が発生し胃内容の誤嚥が起こる可能性がある。肺コンプライアンスは心停止中の胸骨圧迫により影響され⁶⁸、最適な吸気圧は不明である。CPR 中の換気圧と換気量のモニタ

リングの概念的な重要性は十分確立されているが、現在のモニタリング装置と訓練器具ではこれらのパラメータを簡単かつ確実に測定できず、CPR 中のこれらのパラメータの至適な調整法を裏付ける臨床研究は欠如している。

モニタリングおよびフィードバック： 蘇生に対する患者の反応の

モニタリングに対するオプションと技術

「測定しなければ何も改善できない」という格言は、CPR の質のモニタリングにもよく当てはまる。CPR の質と成果を救助者が心停止の現場でモニタリングすることにより、蘇生の科学および臨床診療が変革しつつある。訓練を受けた救助者により、不適切な CCF 比率、胸骨圧迫の深さ、胸骨圧迫 - 人工呼吸比による CPR がしばしば行われ^{39,57,58,69}、不良な転帰と関連している^{11,34} ことが研究により示されている。モニタリングによって、ショック適用前の最適な休止時間および胸骨圧迫の深さが明らかになってきている^{10,29,31}。蘇生中の CPR パラメータをモニタリングできる新技術により、今や研究者および臨床医がリアルタイムで CPR の質をモニターできるようになっている。臨床的成果に対する洞察および至適な診療での発見を考慮すると、CPR の質のモニタリングは過去 20 年間で蘇生行為における最も重大な進歩の 1 つであり、あらゆる蘇生および救助の専門家に対するあらゆるプログラムに取り入れるべきものであると言ってよい。

CPR の質のモニタリングは、生理学 (患者の状態) 的指標と CPR の対応内容 (救助者の実施法) の指標に分類 (優先順位付け) される。いずれの種類かのモニタリングからも、救助者へのリアルタイムフィードバックおよびシステム全般への後ろ向きフィードバックが得られる。CPR の質のモニタリングの種類は相互排他的なものではなく、数種類が同時に使用される (使用されるべき) ことを強調しておくことは重要である。

患者の状態：蘇生処置に対する患者の生理学的反応のモニタリング

モニタリングに適した CPR 中の生理学的データとしては、侵襲的処置を要する血行動態データ (測定可能であれば動脈圧および中心静脈圧) と呼気終末二酸化炭素濃度 (ETCO₂) が挙げられる。多数の実験的文献により、(1) CPR 後の生存は、CPR 中の適切な心筋酸素供給と心筋血流に依存していること、(2) 胸骨圧迫の減圧相の冠動脈灌流圧 (CPP) が CPR 中の心筋血流の第一の決定要因であることが確立されている^{17,18,25,26,70,71}。心停止中の冠動脈灌流圧 (CPP) は、大動脈拡張期圧と右心房拡張期圧との差であるが、拡張期血圧 - 中心静脈圧として考えることができる。CPR 中の血行動態と ETCO₂ モニタリングの概念的な重要性は十分確立されているが、ヒトの CPR 中のこれらのパラメータの至適な調整法を裏付ける臨床研究は欠如している。しかし、CPR Quality Summit における専門家の意見と臨床的経験では、測定可能であれば CPR 中に胸骨圧迫技術を調整するため血行動態と ETCO₂ 濃度を優先的に使用することが強く支持されている。さらに、専門家パネルは、心筋血流に最も密接に関連している入手可能なデータに基づいて生理学的モニタリングを階層的かつ状況に応じて解釈することを推奨している。

1. 侵襲的モニタリング：CPP > 20 mm Hg

CPP が 20 mm Hg を超える場合、および拡張期血圧が 25 ~ 30 mm Hg を超える場合は、成人の蘇生が成功する可能性が高い^{16,17,25-27,72~77}。至適な CPP は確立されていないが、専門家パネルは CPR 中の CPP モニタリングと調整が妥当であるという AHA ガイドライン 2010 に同意している¹³。さらに、専門家パネルは心停止および CPR の時点で動脈カテーテルおよび中心静脈カテーテルが挿入されている場合、この生理学的目標を主要エンドポイントとすべきであると推奨している。乳児および小児での CPP 目標値について推奨できる十分なデータはない。

2. 動脈ラインのみ：拡張期動脈圧 > 25 mm Hg

このような実験的データと整合して、限定的な発表済みの臨床研究では、成人の蘇生の成功は拡張期血圧 25 mm Hg 超の維持に依存していることが示されている^{26,75,76}。専門家パネルは心停止および CPR の時点で動脈カテーテルが挿入されており中心静脈カテーテルは挿入されていない場合、この生理学的目標を主要エンドポイントとすべきであると推奨している。AHA ガイドライン 2010 は、拡張期血圧が < 20 mm Hg の場合、「胸骨圧迫パラメータを最適化する、または血管収縮薬を投与する、もしくはその両方を行うことにより、CPR の質向上を試みる」ことを推奨している¹³。専門家パネルは、救助者は成人心停止傷病者に対し拡張期血圧を > 25 mm Hg に調節するよう推奨している。

3. カブノグラフィのみ：ETCO₂ > 20 mm Hg

CPR 中の ETCO₂ 濃度は主に肺血流に依存していることから、心拍出量を反映している^{78,79}。成人 CPR 中に ETCO₂ 10 mm Hg 超を維持できない場合は、心拍出量の低下を意味しており、蘇生が成功しないことが強く予測される^{80~82}。AHA ガイドライン 2010 は、CPR 中の ETCO₂ をモニタリングして血流を 2 つの方法で評価するよう推奨している：CPR 中の ETCO₂ が 10 mm Hg 未満の場合、胸骨圧迫のパフォーマンスを改善させること；基準値 (35 ~ 40 mm Hg) への突発的かつ持続的な上昇を ROSC の指標として考慮すること¹³。専門家パネルは、心停止および CPR の時点で動脈カテーテルと中心静脈カテーテルのいずれも挿入されていない場合、利用可能であれば ETCO₂ を主要な生理学的指標とすべきであると推奨している。限定的な動物データと個人的経験に基づいて、専門家パネルは、患者に過換気が行われていない場合 (換気回数 12 回 / 分未満、最小限の胸の上がり)、ETCO₂ 20 mm Hg 超を目標に CPR の対応内容を調整するよう推奨している。

救助者の実施法：CPR 対応内容のモニタリング

現在では CPR の対応内容を測定するモニターが広く利用可能となっている。それらを使用すれば、蘇生処置中に実施された CPR の質に関する重要なリアルタイムのフィードバック、蘇生後デブリーフィングのためのデータ、ならびにシステム全般への CPR CQI プログラムに対する後ろ向きの情報が救助者に提供される。CPR の測定を行い、それを基に CPR 対応内容を理解するというプロセスがなければ、対応内容の改善や最適化は不可能である。対応内容をモニタリングせずに CPR を行うことは、高度計なしで飛行機を飛ばすようなものである。

常に利用できる CPR 対応内容の特性に関するフィードバックとして、胸骨圧迫のテンポおよび深さと胸壁の戻りが挙げられる。一部の重要なパラメータ (CCF, ショック適用前、適用中、適用後の休止時間) については現状では後ろ向きの検討しかできないのに対し、現在のテクノロジーで十分に評価できるパラメータ (換気回数、気道圧、1 回換気量、吸気時間) も存在する。さらに、加速度計はマットレス上での圧迫では感度が低く、また現在の装置では、最適でも現実的でもない場合のある厳格なアルゴリズムによって、フィードバックの優先順位を決定している場合が多い (例、もたれの程度が強い場合、加速度計は深さを測定できないため、装置は深さの補正よりも、もたれの補正にフィードバックを優先する)。現在では複数のソフトウェア (自動アルゴリズム) およびハードウェアソリューションが存在するが (smart backboard, dual accelerometer, 参照マーカー, その他), 至適で広く利用可能な CPR モニタリングを継続的に開発していくことが、対応内容の向上に対する重要な要素の 1 つである。

CPR に対する人による監督と指導

目視での観察では、胸骨圧迫の深さおよびテンポと換気回数および 1 回換気量について定性的な情報を得ることができる。侵襲的な血行動態モニタリング (動脈内カテーテルおよび中心静脈カテーテルを使用する) を行えば、患者の生理学的状態について、より高度な定量的データを得ることができるが、直接的な観察では、重要なアーチファクト (例、モニター / 除細動器上でパッドが選択されていなかった、動脈ラインの活栓が閉塞側に回っていて動脈圧波形が「平坦」であった) や、上記の CPR 対応内容のフィードバック技術において認識されている限界を明らかにすることができる。経験を積んでいくにつれて、救助者は胸骨圧迫の深さとテンポをより厳格に、また半定量的に推定できるようになっていく (特に効果的なフィードバック後には大きな進歩がみられる)。医師は、胸骨圧迫が十分であることの指標として脈拍を触知する方法をよく用いるが、CPR 中の脈拍触知は難しい場合が多く^{83~85}、CPR の有効性をモニタリングする方法としては推奨されない^{28,35}。観察者は救助者と患者の不適切な組み合わせ (例、40 kg の救助者と 120 kg の患者) を素早く確認し、救助者に疲労の初期徴候が現れた場合、胸骨圧迫の交代を勧めることもできる。さらに、観察者は生理学的因子 (CPP, 拡張期動脈圧、または ETCO₂) を CPR の質パラメータ (胸骨圧迫の深さ、テンポ、もたれ) の定量的フィードバックと結び付け、至適な CPR が十分に実施されるようにすることができる⁸⁶。

心停止中にチームの対応内容と患者の生理学的状態の両方を正確にモニターできる新たな方法とテクノロジーを開発すべきである。これらには、心室細動波解析、大脳オキシメトリー、インピーダンス、近赤外線スペクトロスコピーなどの、補足的灌流マーカーなどがある。我々は、患者およびプロバイダーの対応内容をモニターする堅牢なソリューションを救助者に提供するよう、研究者と産業界の両方に要求する。

チームレベルのロジスティクス： 心蘇生という複雑な状況において 質の高い CPR を確保する方法

一般的に BLS 技能の指導および実習は個人でまたはペアを対象として行われる⁸⁷。しかし実際の CPR は、複数の救助者が高度な器具を使用して行う蘇生処置全体の一部として実施される場合が多い。このように新たに人や機材が加わることで、作業を並行化することによって、チームが心停止の基礎原因を明らかにして治療を進めていく間に CPR を最適化することが可能となる。しかしながら、実際には二次救命処置の実施に多くの時間が費やされることが多いため、注意深い管理が行われない場合は CPR の質が低下することになる⁸⁸。

場所（院内対院外）、状況（現場、救急部、病棟）および環境によって、蘇生チームの構成は大幅に異なる。最適な人数と救助専門家の背景因子についてはほとんど不明である⁸⁹。プレホスピタルと院内の両方での心停止に対する高機能蘇生チームの例が <http://www.heart.org/cprquality> に示されている。これらの例は、チームの人数と環境をさまざまに変えた場合における質の高い CPR を維持する方法を説明するものであり、規範的な if-then ルールではない。

しかし、チームのリーダーシップ訓練およびリーダーシップ行動のデモンストレーション（例、予測を明確に設定する、決断力がある、干渉しない方法を取る）が CPR 対応の向上、特に CCF の上昇に関連していることを示唆するデータが存在する⁹⁰⁻⁹²。そのため、あらゆる蘇生イベントにおいて、質の高い CPR の実施を中心として、蘇生の全構成要素を指揮し協調させるチームリーダーを指定すべきであると専門家パネルは推奨する。チームリーダーの責務は、必須の活動を指揮し優先順位付けることにより、専門家のチームを熟練のチームに組織することである。

CPR 対応内容の特性の相互作用

胸骨圧迫の割合、テンポ、深さ、圧迫実施中のもたれ、換気の相互作用について明らかなデータはない。心停止中、重要臓器への基質輸送においてすべてが重要な役割を担っている。例えば、胸骨圧迫の特性間には相互関係があり（例、テンポが速いと深さが浅くなる。また、深くするともたれが増大する）、実際には、救助者は 1 つの要素を修正するために別の要素が犠牲にならないように、一度に変更するのは 1 つの要素とし、他の要素は一定に保つ必要がある。蘇生処置に患者が反応しない場合

（すなわち ETCO₂ 20 mm Hg 未満）、リーダーは実施されている胸骨圧迫の個々の要素の最適化を次の順序で優先させるべきであると専門家パネルは提案している：(1) 圧迫の割合、(2) 圧迫のテンポ、(3) 圧迫の深さ、(4) もたれ、(5) 過換気の回避。前項で考察した科学的根拠の強さ（例、もたれよりも圧迫の割合、テンポ、深さに関するエビデンスの方が強い）からだけでなく、以下で考察する実行可能性の点でも、この順序は部分的にしか推奨されない。

CCF の最大化

圧迫の迅速な開始が CCF 最大化の第一段階である。しかし、目標である CCF 80% 超の達成には、中断を注意深く管理することが最も重要である。以下の戦略を用いることで、中断の頻度と期間の双方を最小限に抑えることができる。

チーム活動の指揮・調整

胸骨圧迫実施中に効果的に遂行可能な作業はすべて、圧迫休止期間をはさまずに実施されるべきである（表 1）。圧迫の休止が必要なその他の作業は、「ピットクルー」風に連携させ同時に行われるべきである。チームリーダーはチームメンバーに間もなく圧迫に休止を入れることを明確に伝え、複数の救助者がその短い休止を予期し複数の作業を遂行できるようにすべきである。

表 1. 蘇生作業に対する胸骨圧迫の休止の必要性

| 休止の必要性 | 作業 |
|--------------|---|
| 一般的に必要とするもの | 除細動 心リズム解析 圧迫実施者の交代 バックボードの設置 機械的 CPR または ECMO への移行 |
| 時に必要とするもの | バルブ付きバッグマスクで効果的な換気ができない患者における複雑な高度気道確保器具の挿入 自己心拍再開の評価 |
| 一般的に必要としないもの | 除細動器パッドの貼付 複雑でない高度気道確保器具の挿入 IV/IO ライン確保 |

CPR = 心肺蘇生, ECMO = 膜型人工肺, IV/IO = 静脈内/骨髄内

気道確保器具の挿入に対する中断の最小化

心停止の管理中、高度な気道確保器具の挿入にかかる最適な時間は確立されていない。気管内挿管がしばしば胸骨圧迫の実施における長時間の休止の原因となることは、重要な考慮事項の1つである⁹³。声門上エアウェイが侵襲的な気道確保器具の代替として使用できるが、声門上エアウェイを気管内挿管と比べた場合、転帰が不良であると最近の大規模研究で示されている⁹⁴。バッグマスク換気器具により十分換気できている患者には高度な気道確保の必要性は全くない⁹⁵。気管内挿管を実施する場合、胸骨圧迫を継続中に経験豊富なプロバイダーがまず喉頭鏡検査を行う。休止が必要な場合は、できるだけ短時間、理想的には10秒未満とすべきである。外科的な気道確保が必要な場合、さらに長時間の休止が必要となる可能性がある。しかし、そのようなすべての場合において、休止期間を最小限にするように、圧迫を継続しながらその処置の一部でも実施することを専門家パネルは推奨している。

不必要な脈拍チェックの回避

用手触知による脈拍チェックにより、不必要に休止が長くなり、しばしば信頼性も低い^{83,85,96~100}。利用可能なモニタリング（動脈ラインやカプノグラフィーなど）が、臓器灌流と一致しない心拍出量レベルやリズム（心室細動など）を示す場合、これらの休止はしばしば回避することができる。

ショック適用前後の休止の最小化

救助者にとって安全な環境とする必要性のため、ショック適用前には胸骨圧迫が中断されやすい。ショック適用前の休止期間の短縮（可能であれば9秒間）に伴い転帰が改善することから、ショック適用前の休止を最小限に抑えることが重要である^{31,41,101}。胸骨圧迫を継続しながらパッドを貼付し除細動器を充電するという方法により、ショック適用前の休止期間が短くなるため、この方法が推奨されている^{33,102}。特に除細動前後の血流における、すべての中断を最小限にする技術（胸骨圧迫を継続しながらリズム解析ができる圧迫アーチファクト波計フィルター¹⁰³など）の開発が推奨される。ショック適用後遅延なく胸骨圧迫を再開すべきである。ある研究では、連続のショックを行わずショック後のリズム解析前にCPRの時間を1~2分延長することにより、CCFが48%から69%に上昇し、生存率の上昇と関連していた¹⁰⁴。

圧迫テンポの厳格な制御

胸骨圧迫が開始された場合、目標とするテンポの達成は、しばしば最も容易に調整・維持できるパラメータである。リアルタイムCPRフィードバック装置およびメトロノームや音楽などの低費用の解決法により、ばらつきが減少し目標とする100~120回/分に近いテンポとなることが知られている^{58,105,106}。継続してモニターを行い、経時的な胸骨圧迫テンポの劣化に対して、また他のパラメータの修正後にも調整することが不可欠である。

胸骨圧迫の深さの最大化

最適なCCFで圧迫が100~120回/分のテンポで継続されている場合、確実に圧迫の深さが50mm以上であるかに目を向けるべきである。このパラメータは身体力を必要とするため、達成することが最も困難なものの1つである。しかし、以下の複数の方法が十分な深さを確保するのに役立つ：

1. 確実に固い平面上で実施する

AHAガイドライン2010では、固い平面上でCPRを実施するよう推奨している。目標とする深さを達成するため、バックボードがよく使用され^{107~109}、救助者の労作が減少する¹¹⁰が、その設置によりCPRが中断される¹¹¹。このため、圧迫に必須の他の休止と調整しながら、中断時間を最小限にして可及的速やかにバックボードまたは固い平面を設置するよう、専門家パネルは推奨している。

2. プロバイダーの圧迫技術の最適化

圧迫技術はしばしば経時的に劣化し¹¹²、救助者は技巧の劣化前には疲労を自覚していないことが多い^{113~115}。AHAガイドライン2010では、2分毎に胸骨圧迫の交代を推奨しているが¹²、胸骨圧迫の質には大きな個人差がある^{114,116}。10分まで質の良好な圧迫を行える者もいるのに対し、胸骨圧迫の継続後たった1分で^{114,116}、またはCPR開始時にさえ不十分な深さの圧迫がみられたりすることがある^{114,116}。2分での交代は、最適な圧迫と引き替えに交代後の有意なもたれをもたらし⁸⁶、交代の頻度によりCCFが低下する可能性がある¹¹⁷と他では示されている¹¹⁷。特に視認によるフィードバック装置の使用により、ある程度CPR技術の劣化に対処できる^{118,119}。チームリーダーが圧迫施行者の疲労の徴候をモニターすることを専門家パネルでは推奨している。フィードバックまたは位置の調整により修正できない、不適切な圧迫を救助者が行っている徴候がある場合、2分経過していない場合でも可及的速やかに別のチームメンバーに胸骨圧迫の責務を移行すべきである。交代の伝達と準備が適正な場合、<3秒で交代が可能である⁸⁶。

救助者の位置により圧迫の技術は影響されるが、胸骨圧迫での救助者の至適な位置についてコンセンサスはない。短時間では圧迫の質の劣化はないが^{111,120,121}、踏み台を使用している場合や膝をついている場合に比較すると、立位の方が救助者の労作が増大すると考えられる^{122,123}。さらに、特に救助者の身長が低い場合、踏み台により圧迫の深さが増大することが示されている¹²⁴。表面の高さを下げられる高さ調節可能な平面（病院ベッドなど）または踏み台を使用し、救助者がCPR中に至適な深さを達成できるようにすることを専門家パネルでは推奨している。

もたれの回避

圧迫の深さは、もたれが増大するとしばしば深くなる。身長の高い救助者および踏み台を使用している救助者では、もたれがさらに大きな問題となる¹²⁴。目標の深さを達成するため修正を行う場合、救助者はもたれをモニターし、圧迫と圧迫の間に患者の胸壁に圧を残さず適切な深さを確保するため、必要であれば位置を調整すべきであると専門家パネルでは推奨している。

過換気を避ける

相互作用を示す圧迫の特性とは異なり、換気は胸骨圧迫と並行して最適化できる独立した技能である。メトロノームの使用など換気回数の減少法は十分確立されている^{106,125}のに対し、過剰な1回換気量と吸気圧を制限する方法はあまり十分には開発されていないが、小さな蘇生バッグ、圧力計および直接観察の使用などがある^{66,67,126~128}。

ロジスティックに関する追加的考慮事項

機械的 CPR の採用

今日までの機械的 CPR 装置の試験では、用手 CPR と比較して患者の転帰における一貫したベネフィットが示されていない¹²⁹⁻¹³³。経験の十分でない救助者が装置の適用にかかる時間を過小評価し¹³⁴、そのため、蘇生の後期には CCF が上昇したにもかかわらず¹³⁸、心停止の最初の 5 分間の CCF が有意に低下した¹³⁵⁻¹³⁷ことが可能性の最も高い原因である。イベント前の「ピットクルー」チーム訓練により、装置の適用にかかる休止が減少するというエビデンスがある¹³⁹。3 件の大規模実施試験 (Circulation Improving Resuscitation Care [CIRC]¹⁴⁰, Prehospital Randomized Assessment of a Mechanical Compression Device in Cardiac Arrest [PARAMEDIC]¹⁴¹, LUCAS in Cardiac Arrest [LINC]¹⁴²) により、機械的 CPR の最適なタイミングと環境が明らかになる可能性がある。ベネフィットを示す発表済みのエビデンスがないことから、機械的 CPR 使用の決定は、プロバイダーの数が限られていたり、搬送時間が長くかかるなど地方においてみられるシステムに関する考慮点によって影響される可能性がある。

患者の搬送

移動中の環境で胸骨圧迫を行うことには別の困難が加わり、ほとんど一様に救助者は固定されていない状態を余儀なくされるため、プロバイダーにさらなる安全上の問題が生じる。移動中の救急車で実施される用手胸骨圧迫は、車両の動き、加速・減速および回転力による影響を受け、圧迫の割合、テンポおよび深さが損なわれる可能性がある^{143,144}。これらの問題に対処する、救急車の理想的な速度についてコンセンサスはない^{145,146}。移動中の救急車で機械的 CPR と用手 CPR を比較した研究では、機械的 CPR 装置を使用した場合 CPR の質への影響が少なかったと示されている^{130,147}。

CPR および体系的な CQI

体系的な CQI により、多数の医療状況で転帰が最適となり²²⁻²⁴、安全性が高まり有害性が低減する²¹。心停止後、救助の専門家による CPR の質と成果の検討は妥当であり、転帰を改善することが示されている^{40,137,148}。このエビデンスにもかかわらず、一貫した CPR の質と転帰のモニタリングにより、これらの技術を心停止に適用する医療機関はほとんどない。その結果、実施される蘇生の質に許容できないばらつきが依然として認められる。

デブリーフィング

継続的に蘇生の質を向上させる効果的な手法は、心停止イベント後のデブリーフィングの使用である。この文脈において、デブリーフィングとは、個々の行為およびチームの成果を見直す、心停止イベント後の集中的な話し合いを指す。この方法は、救助者の蘇生の記憶が鮮明なうちに CPR の質を検討することから、パフォーマンス向上の達成に非常に

に効果的となりうる。この手法は院内または院外のいずれの心停止でも容易に適応でき、多数の形式で実施される。1 つの簡単な手法は、蘇生処置後のプロバイダーらの「集会」に代表されるもので、治療の質および何を改善できたかについて簡単に意見を交換する。実際に治療を行ったプロバイダーらを対象にした同様の話し合いを定期的に行うことができ、毎週のデブリーフィングセッションを用いるなどの方法によって CPR 対応内容と院内心停止後の ROSC の両方が改善したことが示されている⁴⁰。病院および救急医療サービス (EMS) における既存の構造は、心停止イベントの報告を聞き出すように効率的に適応できる。

(A) 報告カード：全体チェックリスト

| イベント番号/日付 | Vol131 3-9-12 | いいえ/どちらともいえない/はい |
|--------------------------|---|--------------------------|
| チームリーダーが明確に特定されていたか。 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 整然として静かな現場であったか。 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 除細動器は素早く適用されたか。 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| CPR の開始は迅速であったか。 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| CPR 実施中の休止は最小限であったか。 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 主観的に見て CPR の質は高かったか。 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ショック適用直前・直後の休止は最小限であったか。 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 気道確保は効率的であったか。 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 備考 | 良好なチームリーダーシップ、全員による優れた処置だが、みかんの休止を最小限にすることを忘れないこと。特にショック前/後 | |

(B) 報告カード：CPR の質分析

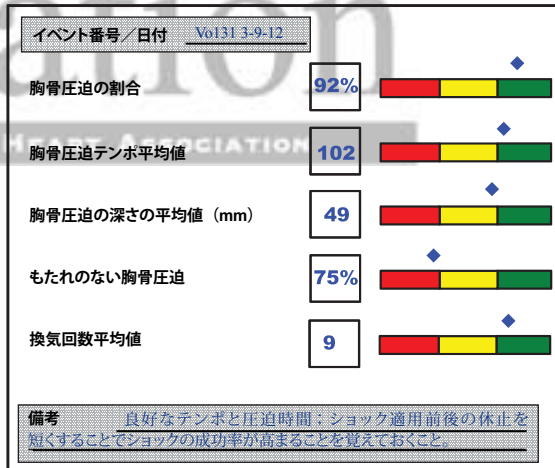


図 1 提案の蘇生「報告カード」を示す。蘇生の質を記録した簡潔なツールをルーチンに使用すると、病院および救急部システムのデブリーフィングおよび質向上の取り組みに役立つ。(A) 全体のチェックリスト：訓練を受けたオブザーバーが蘇生イベントに対し記入した、全体のチェックリスト報告カードなど。(B) CPR の質の分析：CPR 指標の客観的記録に基づいた報告カードなど。観察的な (A) と客観的な (B) の両報告を共に使用して 1 つの報告にまとめるのが理想的である。CPR = 心肺蘇生

これは、小児と成人両方の心停止傷病者の救助者を対象とした多数のシミュレーション研究により確認されている^{149,150}。この方法を取る場合は、実際の治療を実施したプロバイダーが話し合いの場にいることが重要である。

チェックリストの使用

話し合いを体系化する、つまり、質の指標に関する短い質問による質チェックリストに基づいて行うことで、デブリーフィングを大幅に強化できる。CPR に関する短いチェックリストにより、複数のソースから直接貴重なフィードバックが得られる。システムは、CQI ツールとして CPR の質チェックリストを開発または対応させるべきである。これらのイベント後チェックリストは、心停止イベント後に容易に記入できる、具体的な質指標に関する短いデブリーフィングチェックリスト(図1「報告カード」)のような簡単なものでよい。

モニタリングデータの使用

モニタリングデータ(蘇生処置に対する患者の生理学的反応、プロバイダーによる CPR 対応内容)を組み入れると、偏ったフィードバックを回避する客観的手法となることから、デブリーフィングに対する優れたデータセットが得られる。あらゆる EMS システム、病院および救助の専門家他のプログラムは、すべての心停止について CPR の質データを入力するテクノロジーの導入を強く考慮すべきである。CPR 対応内容の指標を測定する装置は、即時のレビューセッション実行に必要な情報を蘇生チームに提供できるものでなければならない。

既存の教育との統合

CPR を改善する質向上戦略には、蘇生チームの至適なパフォーマンスを確保する教育を含めるべきである。一次および二次救命処置の訓練では、救命および転帰を改善させる基本的知識と技能が得られる^{151~153}。残念なことに、このようなあまり頻回ではない訓練プログラム中に得られた技能は、頻回に用いられない場合、すぐに(6~12カ

月以内に)悪化する^{154~160}。CPR 技能を頻回に短期間で「リフレッシュ」することにより、そのような衰退が防がれ、技能の取得と保持が改善することが最近のエビデンスから示唆されている^{150,161,162}。したがって、能力・資格の維持での基盤としてこの方法を用いることに関心が集まっている。さまざまな継続的訓練法は、その利点、欠点、リソース集約の点で異なっているが、継続的訓練のある形式を CPR CQI プログラムすべてに対する最低限の標準とすべきであると専門家パネルでは推奨している。

個々の医師および蘇生チームのパフォーマンスの向上は、蘇生のシミュレーション練習、すなわち「mock code」を使用することにより達成される。このような種類のチーム訓練練習の使用も、蘇生チームの機能における人的因子の重要性を高めるのに有用であり¹⁶³、心停止からの生存を改善する重要な体系的プログラムであることが判明する可能性がある¹⁶⁴。蘇生訓練と教育を1つの過程または単発の「イベント」と考えるのではなく、CPR の質を最適化する継続的な探求における長期的な行程の1つと考えるべきである。

システムの見直し/質の向上

指導者、管理者およびプロバイダーにフィードバックを与える継続的 CPR CQI プログラムを、あらゆる EMS システム、病院および他の救助の専門家プログラムに備えるべきである。CPR 対応内容の指標を収集し中央に保存するシステムは、CPR CQI プログラムにより実施でき、また実施すべきである。システム全体の成果(好ましくは生存率と連携しているもの)を断続的に見直し、欠陥が確認された場合は修正を行うべきである。ルーチンに予定された病院の心停止委員会による会議、部署の「罹病率と生存率」会議、EMS の質検討会が、心停止の治療の選択された症例について詳細に話し合い、フィードバックを行い質の目標を強化する機会を与えるプラットフォームとして機能しうる。

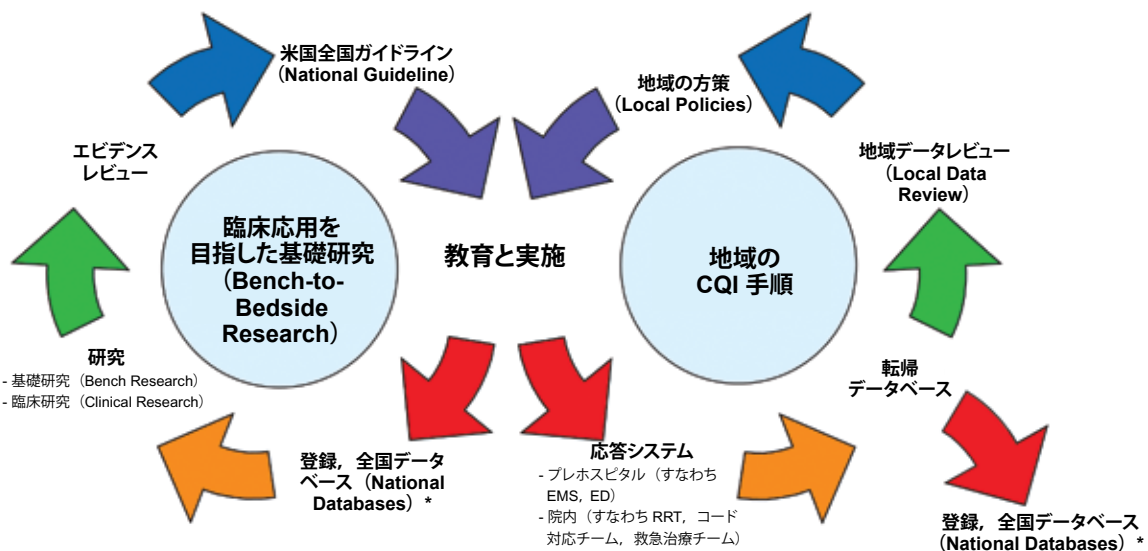


図2 継続的な手順で臨床治療を評価・改善させ、新たなガイドラインと治療を作り出す。心停止および停止前後期の転帰データを継続的な質向上(CQI)手順において検討する。エビデンスベースの手順において研究と臨床の新たな取り組み(イニシアティブ)を検討する。専門家がその後新たな治療を評価し患者の治療に対する臨床的推奨および教育的勧告を行う。この手順が繰り返され、持続的な進歩および治療の改善が起る。ED=救急部、EMS=救急医療サービス、RRT=救急対応チーム* サイクル中の重複点つまり、データは転帰データベース(右側)から取り出され、登録・全米規模データベース(左側)に送られる。

表 2. 最終勧告

1. 質の高い CPR を、他のすべての蘇生処置の基盤として認識すべきである。CPR 対応内容の目標として以下の指標が挙げられる：
 - A. CCF > 80%
 - B. 圧迫のテンポ 100 ~ 120/分
 - C. 圧迫の深さ（成人） ≥ 50 mm, もたれを残さない。
 1. (乳児・小児では、胸郭前後径の少なくとも 1/3)
 - D. 過換気を避ける
 - 1 (胸の上がりを最小限にし換気回数 < 12 回/分)
2. 救助の専門家があらゆる心停止に立ち会う。
 - A. チームの CPR 対応内容を少なくとも 1 つの方法を使用してモニタリングする。
 - B. 利用可能なリソースによるが、蘇生処置に対する患者の生理学的反応を少なくとも 1 つの方法を使用してモニタリングする。
 - C. 患者の生理学的反応に基づいて蘇生処置を絶えず調整する。
3. 蘇生チームは、以下の方法により、心停止中の CPR を最適化する処置を調整する：
 - A. 直ちに圧迫を開始し早期に CPR 対応を最適なものとする。
 - B. チームリーダーが処置を監督し迅速かつ至適な CPR を確実に実行するよう、効果的に作業を委ねていることを確認する。
 - C. 高度な治療および搬送を統合しながら至適な CPR の実施を維持する。
4. 治療システム（EMS システム、病院、救助の専門家による他のプログラム）は、以下の事項を行うべきである：
 - A. イベント全体を通して質の高い CPR が確実に実施されるよう、具体的な役割責任と整合させたコードチーム対応を決定する。
 - B. あらゆる心停止における CPR 対応のデータを収集し、継続的 CPR CQI プログラムを使用して今後の蘇生処置を最適化する。
 - C. CPR の質の継続的向上に対する戦略を実施し、教育、能力の維持、利用可能な CPR の質指標などの心停止の特性の検討を取り入れる。
5. CPR の質指標の標準化した報告のための全国規模システムを開発すべきである：
 - A. レビュー、報告および蘇生に関する研究の実施を目的とした全国規模の登録・データベースに CPR の質指標を含めて収集すべきである。
 - B. AHA、該当する行政局、および機器製造会社は、質向上と研究の両方を目的として、相互運用可能な生データダウンロードおよび蘇生中に収集された電子データからの報告について業界の標準を策定すべきである。

AHA = アメリカ心臓協会, CCF = 胸骨圧迫の割合, CPR = 心肺蘇生, CQI = 継続的な質向上, EMS = 救急医療サービス

例えば、最初の除細動適用までの時間と CCF のいずれも臨床転帰に直接関連することが示されているが、明らかな意味を持った別個の指標であり、数ヵ月から数年にわたる追跡の対象となる。経時的に、システム全体でのパフォーマンス評価とデブリーフィングによるチームの個々のパフォーマンスの両方から学ばれた教訓により、目標とする訓練の対象を正確に指摘する、システムへの貴重な客観的フィードバックが得られる。このようなメッセージの伝達は、組織の体質と整合している必要がある。

大規模なデータ収集構想の多くは蘇生の臨床科学の内容を充実させ、CQI プロセスを改善させる機会を示している。同様に、登録・全国規模データベースによる、地域の CQI プロセス、方策および教育は、地域、全国、および国際的課題を明らかにし提起するのに役立つ（図 2）。Get With The Guidelines-Resuscitation は、AHA 提供のレジストリで、250 000 件を超える院内心停止イベントが示されている。米国疾病対策予防センター（Centers for Disease Control and Prevention, CDC）が設立した Cardiac Arrest Registry to Enhance Survival (CARES) は院外心停止に関する国内データを収集している。ROC は院外心停止イベントの大規模データベースである Epistry を開発し、これにはきめ細かく CPR の質指標が含まれている。European Resuscitation Council コンソーシアムは、院外心停止の多国間、多文化的データベースである EuReCa (European Cardiac Arrest Registry) を構築している。生存率のばらつき、医療状況を比較するための標準的死亡率の策定、および蘇生の質の具体的欠陥を特定するレジストリデータを用いた多数の研究によって、これらのレジストリの価値が示されている。さらに、Get With The Guidelines-

Resuscitation への病院の参加が長期である場合、院内心停止からの生存率が経時的に改善すると最近の研究では示唆されている¹⁶⁵。

病院および EMS のシステムに対し、これらの共同レジストリプログラムに参加することが強く推奨される。参加費用は微々たるものであり、潜在的利益は大きい。データ収集およびベンチマーキングに対するこれらの仕組みを利用しないということは、治療の質と生存の改善が依然として得られていないことを意味する。

CPR の質の体系的向上に対し現存する障害の多数は、体系的レビュー用モニタリングシステムからのデータ収集の容易さに関連している。現在、CPR の力学的パラメータを測定可能なモニターの大半から、心停止中のパフォーマンスを最適化するフィードバックが得られ、直後にイベントレビュー用フィードバックを示すモニターもあるものの、いずれも即座のシステムレビューには適していない。例えば、現在の診療現場において、大半の CPR 記録付き除細動器では、用手によるダウンロードを行う必要がある。ワークフローおよび処理へのこれらのデータの統合に限らず、多数の問題が CQI ツールには残されている。CPR の質指標を収集する多数の装置が現在あるが、これらのデータを転送する堅牢な無線方法は、低価格でかつ一般化される必要がある。CPR の質データをルーチンに収集するため、このようなプロセスをより容易なものにする必要がある。今後の訓練および心停止からの生存を改善するため、システムと協力して、蘇生の質のデータを収集、伝達、集約し、それをレジストリに連携させるシームレスな方法を開発することを製造会社に推奨する。

表 3. CPR の質向上に必要な今後の方向性：研究・開発

研究

- CPR 特性 (CCF, 圧迫テンポ, 深さ, もたれ, および換気) の至適目標, ならびに患者の転帰に対するそれらの相対的重要性を明らかにすること。
- 至適な CPR 特性 (特に換気の開始と方法) に対する, 傷病者の年齢および心停止の原因の影響を明らかにすること。
- 個々の CPR 特性間の関係の特徴をさらに明らかにすること。
- 時間依存性の CPR 特性と特性間の関係は何か明らかにすること。
- 心停止中, CPR の特性 (特に CCF および深さ) のばらつきが患者の転帰に及ぼす影響を明らかにすること。
- CPR 中の換気特性 (時間, 圧, 換気量によるパラメータ) が患者の転帰に影響するか明らかにすること。
- ヒトの CPR 中, 血行動態と ETCO₂ モニタリングの至適な調整を明らかにすること。
- 非侵襲的気道確保の ETCO₂ モニタリングは CPR の質に対する信頼性の高い有用なモニターであるか明らかにすること。
- ショック適用前の CPR 特性 (すなわち, 深さ, 休止期間) と ROSC/生存率との至適な関係を明らかにすること。
- 救助者の最適な人数および CPR の質と患者の転帰に対する救助者の特性の影響を明らかにすること。
- 患者の転帰に対するプロバイダーの疲労と回復の影響をさらに明らかにすること。
- CPR パフォーマンスと患者の生存に対する作業の環境, 訓練の環境およびプロバイダーの特性の影響を明らかにすること。
- CPR 訓練の二次救命処置コースおよび継続的能力維持への統合方法を明らかにすること。
- 至適な CPR 実施と患者転帰を確保する, システムレベルの教育法, 教育のタイミングと場所を明らかにすること。
- 教育およびシステム改善プロセスを評価し最適化するのに使用可能な, 世界で使用できる CPR 指標を作成すること。

開発

- CPR の質の報告, ならびにこれらのデータと既存のシステム改善プロセスとレジストリとの統合を標準化すること。
- 訓練中および実際のイベントで CPR の質を測定・モニターし, それを既存の質向上およびレジストリと統合できる装置を開発すること。
- すべての医療システムで継続的に CPR の質をモニタリングでき, CPR の質パラメータの確実で自動化された報告を提供する, 至適な CPR システム改善プロセスを開発すること。
- 至適な様式でフィードバックの優先順位を付ける (例, CPR 特性の重要性和優先順位を装置が修正する) フィードバック技術を開発すること。
- CPR を個々の心停止傷病者に最適なものとする能力を高める, より確実かつ低価格で非侵襲的な生理学的モニターを開発すること。
- 質の高い CPR を即座にかつ確実に提供できる確かな技能を救助者が得られる訓練器具を開発すること。
- 換気回数, 1 回換気量, 吸気圧, 吸気時間および胸壁の完全な戻りを一貫して確実に捉えるなど, CPR をモニタリングする機能を向上させた機械的システムを開発すること。

CCF = 胸骨圧迫の割合, CPR = 心肺蘇生, ROSC = 自己心拍再開

JOURNAL OF THE AMERICAN HEART ASSOCIATION

結論

CPR に関する科学の進歩に伴い, 院内および院外のいづれの心停止についても, CPR の対応内容を改善する非常に大きな機会がもたらされている。より良好な CPR の質測定, 訓練, システム向上プロセスを通して, 心停止からの生存に対する有意な影響が得られ, 現在の転帰と至適な転帰とのギャップを取り除くことができる。この目標を達成するため, 専門家パネルは 5 つの勧告 (表 2) と, 既存する知識のギャップを狭めるための今後の方向性を提案している。

今後の方向性

専門家パネルは, すべての状況について CPR のモニタリングおよび質を改善させることが強く求められるという完全な合意を表明した。CPR に対する理解は深まってはいるものの, 現在いくつかの重要な知識上のギャップにより, 質の高い CPR の実施と普及が妨げられている (表 3)。このような知識のギャップに注目した研究により, 至適な CPR 実施を押し進め, 究極的にはより多くの命を救うのに必要な

情報が得られる。さらに, 今後の訓練および心停止からの生存を改善するため, 専門学会, 製造会社および該当する行政局などの重要なステークホルダーに, システムと協力して蘇生の質のデータを収集, 集約し, それをレジストリに連携させるシームレスな方法を開発することを推奨する。

謝辞

知識の要約の作成およびサミットへの参加における協力に対し, 以下の方々に深謝する。執筆グループのほか, CPR Quality Summit の研究者: Lance B. Becker, M. Allen McCullough, Robert M. Sutton, Dana E. Niles, Mark Venuti, Mary Fran Hazinski, Jose G. Cabanas, Thomas Rea, Andrew Travers, Elizabeth A. Hunt, Graham Nichol, Michael A. Rosen, Kathy Duncan, Vinay M. Nadkarni, and Michael R. Sayre

資金源

CPR Quality Summit に対する無条件の資金は CPR Improvement Working Group (Laerdal Medical, Philips Healthcare, and ZOLL Medical Corporation) から提供された。

情報開示

執筆グループの情報開示

| 執筆グループメンバー | 職業 | 研究助成金 | その他の研究支援 | スピーカーズビューロー／謝礼金 | 所有権 | コンサルタント／アドバイザーボード | その他 |
|--------------------|--|---|---|-------------------------------|---|---|--|
| Peter A. Meaney | ペンシルベニア大学 (The University of Pennsylvania) | なし | なし | なし | なし | なし | 鑑定人：CPRに関係していない医学的問題に対する医学専門レビューアーとして従事* |
| Bentley J. Bobrow | アリゾナ大学；保健サービス部；マリコパ医療センター (University of Arizona; Arizona Department of Health Services; Maricopa Medical Center) | 心臓治療の全州的システムの実施を目的とした Medtronic Foundation からアリゾナ大学への institutional grant の研究責任者†；脳外傷の研究に対する NIH 助成金：1R01NS071049-01A1 (Adults) 3R01NS071049-S1 (EPIC4Kids) † | なし | なし | なし | なし | なし |
| Benjamin S. Abella | ペンシルベニア大学 (The University of Pennsylvania) | Medtronic Foundation：心停止の転帰に関するプロジェクト；施設に資金を交付†；Doris Duke Foundation：蘇生後損傷に関するプロジェクト；施設に資金を交付†；NIH NHLBI R18：一般人の CPR 訓練に関するプロジェクト；施設に資金を交付†；Philips Healthcare 社：CPR の血行動態と質に関するプロジェクト；施設に資金を交付†；Stryker Medical 社：心停止後治療；施設に資金を交付† | なし | Medivance：心停止後の低体温に関する講義の謝礼金* | Resuscor, 蘇生科学におけるプロバイダー教育に重点を置いた会社；株式所有* | HeartSine Corp：AED 開発評価顧問*；Velomedix Corp：心停止後治療* | なし |
| Tom P. Aufderheide | ウィスコンシン医科大学 (Medical College of Wisconsin) | NHLBI：蘇生転帰コンソーシアム (Resuscitation Outcomes Consortium)；施設に資金を交付，個人への直接交付ではない†；NHLBI：Immediate Trial；施設に資金を交付†；NHLBI：ResQTrial；施設に資金を交付†；NINDS：Neurological Emergency Treatment Trials (NETT) Network；施設に資金を交付† | Zoll Medical 社：蘇生転帰コンソーシアム (Resuscitation Outcomes Consortium) および Immediate Trials に対する研究試験を完了するため，Zoll Medical から Milwaukee County Emergency Medical Services へ直接提供されたソフトウェア† | なし | なし | 代表，Citizen CPR Foundation (ボランティア)*；秘書，Take Heart America (ボランティア)*；Medtronic の報酬を付与されるコンサルタント；急性心筋梗塞 (MI) 試験のコンサルタント；所属する施設に資金を交付；2010年11月コンサルタントから退職* | Basic Life Support Subcommittee および Research Working Group のアメリカ心臓協会 (AHA) ボランティア*；米国医学研究所 (Institute of Medicine, IOM) メンバーおよび AHA Research Working Group メンバーとして，両団体と協力して心停止に関する IOM 報告に対する資金を調達 (ボランティア)* |

(続く)

執筆グループの情報開示 (続き)

| 執筆グループメンバー | 職業 | 研究助成金 | その他の研究支援 | スピーカーズビューロー/謝礼金 | 所有権 | コンサルタント/アドバイザー ボード | その他 |
|--------------------|---|---|----------|--|-------------------------------|---|--|
| Robert A. Berg | ペンシルベニア大学医学大学院 (University of Pennsylvania Perelman School of Medicine) | なし | なし | 蘇生科学者としての素晴らしい経歴に対し、2012年救急医学会の Asmund S. Laerdal Memorial Lecture Award を受賞 | なし | なし | なし |
| Farhan Bhanji | モントリオール小児病院, マギル大学 (Montreal Children's Hospital, McGill University) | なし | なし | なし | なし | なし | なし |
| Jim Christenson | ブリティッシュコロンビア大学医学部 (University of British Columbia, Faculty of Medicine) | CPRの質に関して2016年まで助成を受ける蘇生転帰コンソーシアム (Resuscitation Outcomes Consortium) グループグラント; 胸骨圧迫の割合とその生存に対する関係に関する論文を発表, また CPRの質のさまざまな可能性を評価する複数の論文の共著者† | なし | なし | なし | なし | なし |
| Allan R. de Caen | 自営 | なし | なし | なし | なし | なし | なし |
| Dana P. Edelson | シカゴ大学 (University of Chicago) | Philips Healthcare: CPRの質および血行動態に関するプロジェクトについて施設に資金を交付; Laerdal Medical: Basic Life Supportの予備的な新たな訓練に対し, 施設に資金を交付†; NIH NHLBI: 院内心停止の予防・予測戦略に対し, 施設に資金を交付† | なし | なし | Quant HC: 入院患者でのリスク層別化用製品の開発† | CARES 諮問委員会: メンバー*; 突然の心停止基金 (Sudden Cardiac Arrest Foundation) 理事会: メンバー*; FIERCE 資格諮問委員会: メンバー* | |
| Monica E. Kleinman | 小児病院麻酔財団 (Children's Hospital Anesthesia Foundation) | なし | なし | なし | なし | なし | 鑑定人: 医療訴訟事例のレビュー (被告側) * |
| Marion Leary | ペンシルベニア大学 (The University of Pennsylvania) | なし | なし | Philips Healthcare社から数年前に講演料を受領* | なし | Philips Healthcare社の機器およびLaerdal社のCPRの質に関連した装置のレビューを実施 (無報酬) * | Philips Healthcare社から研究使用目的で研究グループに QCPR装置を提供* |



(続く)

執筆グループの情報開示 (続き)

| 執筆グループメンバー | 職業 | 研究助成金 | その他の研究支援 | スピーカーズビューロー/謝礼金 | 所有権 | コンサルタント/アドバイザー | その他 |
|-----------------|---|-------|----------|---|---|---|-----|
| Mary E. Mancini | アーリントン, テキサス大学 (University of Texas at Arlington) | なし | なし | National League for Nursing Education Summit on Nursing education などの全国専門家学会での基調講演に対する謝礼金を受領。能力維持とシミュレーションの重要性などのトピック: スピーカーズビューローに関連するサービス提供の長期契約なし* | 個人的な金銭的利益はないが CPR 装置の特許所有者。当該装置が商品化した場合, 大学が特許使用料を受領* | 看護学生の批判的思考技能開発を支援する開発中の LWW 看護用製品の顧問機関に従事: 対象となる状況の1つは心停止患者のケア* | なし |
| Venu Menon | クリーブランドクリニック (Cleveland Clinic) | なし | なし | なし | なし | なし | なし |

この表は、執筆グループの全メンバーに回答および提出が求められる情報開示アンケート (Disclosure Questionnaire) の結果に基づき実在の利益相反または合理的に認定できる利益相反とみなされる可能性のある、執筆グループメンバーの関係を示している。(1) ある人が12カ月間に\$10,000以上、またはその人の総収入の5%以上に当たる金額を受け取った場合、または(2) ある人が事業体の議決権株式の5%以上または事業体の適正市場価格のうち\$10,000以上を所有している場合、その関係は「重要」とみなされる。この定義において「重要」に相当するレベルに満たない場合、その関係は「穏当」とみなされる。

* 穏当
+ 重要

レビューアーの情報開示

| レビューアー | 職業 | 研究助成金 | その他の研究支援 | スピーカーズビューロー/謝礼金 | 鑑定人 | 所有権 | コンサルタント/アドバイザー | その他 |
|-------------------|---|------------------|---|-----------------|-----|-----|----------------|--------------------------|
| Sheldon Cheskes | プレホスピタル医学部門, サニーブルックセンター, カナダ (Sunnybrook Center for Prehospital Medicine, Canada) | なし | COPI トロントサイト, 蘇生転帰コンソーシアム (Resuscitation Outcomes Consortium) + | なし | なし | なし | なし | なし |
| Gavin Perkins | ウォーリック大学医学部および英国ハートオブイングランド NHS 信託財団 (Warwick Medical School and Heart of England NHS Foundation Trust, United Kingdom) | NIH (施設に資金を交付) + | なし | なし | なし | なし | なし | なし |
| Elizabeth H. Sinz | ペンシルベニア州立ハーシー医療センター (Penn State Hershey Medical Center) | なし | なし | なし | なし | なし | なし | AHA 共同科学編集者 (施設に資金を交付) + |
| Kjetil Sunde | オスロ大学, ノルウェー (University of Oslo, Norway) | なし | なし | なし | なし | なし | なし | なし |

この表は、執筆グループの全メンバーに回答および提出が求められる情報開示アンケート (Disclosure Questionnaire) の結果に基づき実在の利益相反または合理的に認定できる利益相反とみなされる可能性のある、執筆グループメンバーの関係を示している。(1) ある人が12カ月間に\$10,000以上、またはその人の総収入の5%以上に当たる金額を受け取った場合、または(2) ある人が事業体の議決権株式の5%以上または事業体の適正市場価格のうち\$10,000以上を所有している場合、その関係は「重要」とみなされる。この定義において「重要」に相当するレベルに満たない場合、その関係は「穏当」とみなされる。

+ 重要

参考文献

1. Ahern RM, Lozano R, Naghavi M, Foreman K, Gakidou E, Murray CJ. Improving the public health utility of global cardiovascular mortality data: the rise of ischemic heart disease. *Popul Health Metr.* 2011;9:8.
2. Berdowski J, Berg RA, Tijssen JG, Koster RW. Global incidences of out-of-hospital cardiac arrest and survival rates: systematic review of 67 prospective studies. *Resuscitation.* 2010;81:1479–1487.
3. Nichol G, Thomas E, Callaway CW, Hedges J, Powell JL, Aufderheide TP, Rea T, Lowe R, Brown T, Dreyer J, Davis D, Idris A, Stiell I; Resuscitation Outcomes Consortium Investigators. Regional variation in out-of-hospital cardiac arrest incidence and outcome [published correction appears in *JAMA.* 2008;300:1763]. *JAMA.* 2008;300:1423–1431.
4. Go AS, Mozaffarian D, Roger VL, Benjamin EJ, Berry JD, Borden WB, Bravata DM, Dai S, Ford ES, Fox CS, Franco S, Fullerton HJ, Gillespie C, Hailpern SM, Heit JA, Howard VJ, Huffman MD, Kissela BM, Kittner SJ, Lackland DT, Lichtman JH, Lisabeth LD, Magid D, Marcus GM, Marelli A, Matchar DB, McGuire DK, Mohler ER, Moy CS, Mussolino ME, Nichol G, Paynter NP, Schreiner PJ, Sorlie PD, Stein J, Turan TN, Virani SS, Wong ND, Woo D, Turner MB; American Heart Association Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee. Heart disease and stroke statistics—2013 update: a report from the American Heart Association [published correction appears in *Circulation.* 2013;127:doi:10.1161/ CIR.0b013e31828124ad]. *Circulation.* 2013;127:e6–e245.
5. Merchant RM, Yang L, Becker LB, Berg RA, Nadkarni V, Nichol G, Carr BG, Mitra N, Bradley SM, Abella BS, Groeneveld PW; American Heart Association Get With The Guidelines-Resuscitation Investigators. Incidence of treated cardiac arrest in hospitalized patients in the United States. *Crit Care Med.* 2011;39:2401–2406.
6. Centers for Disease Control and Prevention. National Vital Statistics Reports, 2011/12/29. http://www.cdc.gov/nchs/data/nvsr/nvsr60/nvsr60_03.pdf. Accessed October 31, 2012.
7. Beck CS, Leighninger DS. Death after a clean bill of health: so-called “fatal” heart attacks and treatment with resuscitation techniques. *JAMA.* 1960;174:133–135.
8. Perkins GD, Cooke MW. Variability in cardiac arrest survival: the NHS Ambulance Service Quality Indicators. *Emerg Med J.* 2012;29:3–5.
9. Peberdy MA, Ornato JP, Larkin GL, Braithwaite RS, Kashner TM, Carey SM, Meaney PA, Cen L, Nadkarni VM, Praestgaard AH, Berg RA; National Registry of Cardiopulmonary Resuscitation Investigators. Survival from in-hospital cardiac arrest during nights and weekends. *JAMA.* 2008;299:785–792.
10. Stiell IG, Brown SP, Christenson J, Cheskes S, Nichol G, Powell J, Bigham B, Morrison LJ, Larsen J, Hess E, Vaillancourt C, Davis DP, Callaway CW; Resuscitation Outcomes Consortium (ROC) Investigators. What is the role of chest compression depth during out-of-hospital cardiac arrest resuscitation? *Crit Care Med.* 2012;40:1192–1198.
11. Abella BS, Sandbo N, Vassilatos P, Alvarado JP, O’ Hearn N, Wigder HN, Hoffman P, Tynus K, Vanden Hoek TL, Becker LB. Chest compression rates during cardiopulmonary resuscitation are suboptimal: a prospective study during in-hospital cardiac arrest. *Circulation.* 2005;111:428–434.
12. Travers AH, Rea TD, Bobrow BJ, Edelson DP, Berg RA, Sayre MR, Berg MD, Chameides L, O’ Connor RE, Swor RA. Part 4: CPR overview: 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation.* 2010;122(suppl 3):S676–S684.
13. Neumar RW, Otto CW, Link MS, Kronick SL, Shuster M, Callaway CW, Kudenchuk PJ, Ornato JP, McNally B, Silvers SM, Passman RS, White RD, Hess EP, Tang W, Davis D, Sinz E, Morrison LJ. Part 8: adult advanced cardiovascular life support: 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care [published correction appears in *Circulation.* 2011;123:e236]. *Circulation.* 2010;122(suppl 3):S729–S767.
14. Kleinman ME, Chameides L, Schexnayder SM, Samson RA, Hazinski MF, Atkins DL, Berg MD, de Caen AR, Fink EL, Freid EB, Hickey RW, Marino BS, Nadkarni VM, Proctor LT, Qureshi FA, Sartorelli K, Topjian A, van der Jagt EW, Zaritsky AL. Part 14: pediatric advanced life support: 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation.* 2010;122(suppl 3):S876–S908.
15. Nichol G, Aufderheide TP, Eigel B, Neumar RW, Lurie KG, Bufalino VJ, Callaway CW, Menon V, Bass RR, Abella BS, Sayre M, Dougherty CM, Racht EM, Kleinman ME, O’ Connor RE, Reilly JP, Ossmann EW, Peterson E; American Heart Association Emergency Cardiovascular Care Committee; Council on Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology; Council on Cardiopulmonary, Critical Care, Perioperative and Resuscitation; Council on Cardiovascular Nursing; Council on Clinical Cardiology; Advocacy Committee; Council on Quality of Care and Outcomes Research. Regional systems of care for out-of-hospital cardiac arrest: a policy statement from the American Heart Association [published correction appears in *Circulation.* 2010;122:e439]. *Circulation.* 2010;121:709–729.
16. Ralston SH, Voorhees WD, Babbs CF. Intrapulmonary epinephrine during prolonged cardiopulmonary resuscitation: improved regional blood flow and resuscitation in dogs. *Ann Emerg Med.* 1984;13:79–86.
17. Michael JR, Guerci AD, Koehler RC, Shi AY, Tsitlik J, Chandra N, Niedermeyer E, Rogers MC, Traystman RJ, Weisfeldt ML. Mechanisms by which epinephrine augments cerebral and myocardial perfusion during cardiopulmonary resuscitation in dogs. *Circulation.* 1984;69:822–835.
18. Halperin HR, Tsitlik JE, Guerci AD, Mellits ED, Levin HR, Shi AY, Chandra N, Weisfeldt ML. Determinants of blood flow to vital organs during cardiopulmonary resuscitation in dogs. *Circulation.* 1986;73:539–550.
19. Rubertsson S, Karlsten R. Increased cortical cerebral blood flow with LUCAS, a new device for mechanical chest compressions compared to standard external compressions during experimental cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation.* 2005;65:357–363.
20. Gurses AP, Seidl KL, Vaidya V, Bochicchio G, Harris AD, Hebden J, Xiao Y. Systems ambiguity and guideline compliance: a qualitative study of how intensive care units follow evidence-based guidelines to reduce healthcare-associated infections. *Qual Saf Health Care.* 2008;17:351–359.
21. Pronovost PJ, Bo-Linn GW. Preventing patient harms through systems of care. *JAMA.* 2012;308:769–770.
22. Jollis JG, Granger CB, Henry TD, Antman EM, Berger PB, Moyer PH, Pratt FD, Rokos IC, Acuña AR, Roettig ML, Jacobs AK. Systems of care for ST-segment-elevation myocardial infarction: a report from the American Heart Association’s Mission: Lifeline. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes.* 2012;5:423–428.
23. Nestler DM, Noheria A, Haro LH, Stead LG, Decker WW, Scanlan Hanson LN, Lennon RJ, Lim CC, Holmes DR Jr, Rihal CS, Bell MR, Ting HH. Sustaining improvement in door-to-balloon time over 4 years: the Mayo Clinic ST-elevation myocardial infarction protocol. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes.* 2009;2:508–513.
24. Santana MJ, Stelfox HT. Quality indicators used by trauma centers for performance measurement. *J Trauma Acute Care Surg.* 2012;72:1298–1302.
25. Niemann JT, Rosborough JP, Ung S, Criley JM. Coronary perfusion pressure during experimental cardiopulmonary resuscitation. *Ann Emerg Med.* 1982;11:127–131.
26. Paradis NA, Martin GB, Rivers EP, Goetting MG, Appleton TJ, Feingold M, Nowak RM. Coronary perfusion pressure and the return of spontaneous circulation in human cardiopulmonary resuscitation. *JAMA.* 1990;263:1106–1113.
27. Sanders AB, Ogle M, Ewy GA. Coronary perfusion pressure during cardiopulmonary resuscitation. *Am J Emerg Med.* 1985;3:11–14.
28. Berg RA, Hemphill R, Abella BS, Aufderheide TP, Cave DM, Hazinski MF, Lerner EB, Rea TD, Sayre MR, Swor RA. Part 5: adult basic life support: 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care [published correction appears in *Circulation.* 2011;124:e402]. *Circulation.* 2010;122(suppl 3):S685–S705.
29. Christenson J, Andrusiek D, Everson-Stewart S, Kudenchuk P, Hostler D, Powell J, Callaway CW, Bishop D, Vaillancourt C, Davis D, Aufderheide TP, Idris A, Stouffer JA, Stiell I, Berg R; Resuscitation Outcomes Consortium Investigators. Chest compression fraction determines survival in patients with out-of-hospital ventricular fibrillation. *Circulation.* 2009;120:1241–1247.
30. Vaillancourt C, Everson-Stewart S, Christenson J, Andrusiek D, Powell J, Nichol G, Cheskes S, Aufderheide TP, Berg R, Stiell IG; Resuscitation Outcomes Consortium Investigators. The impact of increased chest compression fraction on return of spontaneous circulation for out-of-hospital cardiac arrest patients not in ventricular fibrillation. *Resuscitation.* 2011;82:1501–1507.

31. Cheskes S, Schmicker RH, Christenson J, Salcido DD, Rea T, Powell J, Edelson DP, Sell R, May S, Menegazzi JJ, Van Ottingham L, Olsufka M, Pennington S, Simonini J, Berg RA, Stiell I, Idris A, Bigham B, Morrison L; Resuscitation Outcomes Consortium (ROC) Investigators. Perishock pause: an independent predictor of survival from out-of-hospital shockable cardiac arrest. *Circulation*. 2011;124:58–66.
32. Wolfe JA, Maier GW, Newton JR Jr, Glower DD, Tyson GS Jr, Spratt JA, Rankin JS, Olsen CO. Physiologic determinants of coronary blood flow during external cardiac massage. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1988;95:523–532.
33. Monsieurs KG, De Regge M, Vansteelandt K, De Smet J, Annaert E, Lemoyne S, Kalmal AF, Calle PA. Excessive chest compression rate is associated with insufficient compression depth in prehospital cardiac arrest. *Resuscitation*. 2012;83:1319–1323.
34. Idris AH, Guffey D, Aufderheide TP, Brown S, Morrison LJ, Nichols P, Powell J, Daya M, Bigham BL, Atkins DL, Berg R, Davis D, Stiell I, Sopko G, Nichol G; Resuscitation Outcomes Consortium (ROC) Investigators. Relationship between chest compression rates and outcomes from cardiac arrest. *Circulation*. 2012;125:3004–3012.
35. Berg MD, Schexnayder SM, Chameides L, Terry M, Donoghue A, Hickey RW, Berg RA, Sutton RM, Hazinski MF. Part 13: pediatric basic life support: 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation*. 2010;122(suppl 3):S862–S875.
36. Sutton RM, French B, Nishisaki A, Niles DE, Maltese MR, Boyle L, Stavland M, Eilevstjønn J, Arbogast KB, Berg RA, Nadkarni VM. American Heart Association cardiopulmonary resuscitation quality targets are associated with improved arterial blood pressure during pediatric cardiac arrest. *Resuscitation*. 2013;84:168–172.
37. Stiell IG, Brown S, Calloway CW, Aufderheide TP, Cheskes S, Vaillancourt C, Hostler D, Davis DP, Idris A, Christenson J, Morrison M, Stouffer J, Free C, Nichol G; Resuscitation Outcomes Consortium Investigators. What is the optimal chest compression depth during resuscitation from out-of-hospital cardiac arrest in adult patients? *Circulation*. 2012;126:A287. Abstract.
38. Abella BS, Alvarado JP, Myklebust H, Edelson DP, Barry A, O' Hearn N, Vanden Hoek TL, Becker LB. Quality of cardiopulmonary resuscitation during in-hospital cardiac arrest. *JAMA*. 2005;293:305–310.
39. Wik L, Kramer-Johansen J, Myklebust H, Sørebo H, Svensson L, Fellows B, Steen PA. Quality of cardiopulmonary resuscitation during out-of-hospital cardiac arrest. *JAMA*. 2005;293:299–304.
40. Edelson DP, Litzinger B, Arora V, Walsh D, Kim S, Lauderdale DS, Vanden Hoek TL, Becker LB, Abella BS. Improving in-hospital cardiac arrest process and outcomes with performance debriefing. *Arch Intern Med*. 2008;168:1063–1069.
41. Edelson DP, Abella BS, Kramer-Johansen J, Wik L, Myklebust H, Barry AM, Merchant RM, Hoek TL, Steen PA, Becker LB. Effects of compression depth and pre-shock pauses predict defibrillation failure during cardiac arrest. *Resuscitation*. 2006;71:137–145.
42. Kramer-Johansen J, Myklebust H, Wik L, Fellows B, Svensson L, Sørebo H, Steen PA. Quality of out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation with real time automated feedback: a prospective interventional study. *Resuscitation*. 2006;71:283–292.
43. Babbs CF, Kemeny AE, Quan W, Freeman G. A new paradigm for human resuscitation research using intelligent devices. *Resuscitation*. 2008;77:306–315.
44. Aufderheide TP, Pirralo RG, Yannopoulos D, Klein JP, von Briesen C, Sparks CW, Deja KA, Conrad CJ, Kitscha DJ, Provo TA, Lurie KG. Incomplete chest wall decompression: a clinical evaluation of CPR performance by EMS personnel and assessment of alternative manual chest compression-decompression techniques. *Resuscitation*. 2005;64:353–362.
45. Yannopoulos D, McKnite S, Aufderheide TP, Sigurdsson G, Pirralo RG, Benditt D, Lurie KG. Effects of incomplete chest wall decompression during cardiopulmonary resuscitation on coronary and cerebral perfusion pressures in a porcine model of cardiac arrest. *Resuscitation*. 2005;64:363–372.
46. Zuercher M, Hilwig RW, Ranger-Moore J, Nysaether J, Nadkarni VM, Berg MD, Kern KB, Sutton R, Berg RA. Leaning during chest compressions impairs cardiac output and left ventricular myocardial blood flow in piglet cardiac arrest. *Crit Care Med*. 2010;38:1141–1146.
47. Sutton RM, Niles D, Nysaether J, Stavland M, Thomas M, Ferry S, Bishnoi R, Litman R, Allen J, Srinivasan V, Berg RA, Nadkarni VM. Effect of residual leaning force on intrathoracic pressure during mechanical ventilation in children. *Resuscitation*. 2010;81:857–860.
48. Niles DE, Sutton RM, Nadkarni VM, Glatz A, Zuercher M, Maltese MR, Eilevstjønn J, Abella BS, Becker LB, Berg RA. Prevalence and hemodynamic effects of leaning during CPR. *Resuscitation*. 2011;82(suppl 2):S23–S26.
49. Fried DA, Leary M, Smith DA, Sutton RM, Niles D, Herzberg DL, Becker LB, Abella BS. The prevalence of chest compression leaning during in-hospital cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation*. 2011;82:1019–1024.
50. Niles D, Nysaether J, Sutton R, Nishisaki A, Abella BS, Arbogast K, Maltese MR, Berg RA, Helfaer M, Nadkarni V. Leaning is common during in-hospital pediatric CPR, and decreased with automated corrective feedback. *Resuscitation*. 2009;80:553–557.
51. Hallstrom A, Cobb L, Johnson E, Copass M. Cardiopulmonary resuscitation by chest compression alone or with mouth-to-mouth ventilation. *N Engl J Med*. 2000;342:1546–1553.
52. Van Hoeyweghen RJ, Bossaert LL, Mullie A, Calle P, Martens P, Buylaert WA, Delooy H. Quality and efficiency of bystander CPR: Belgian Cerebral Resuscitation Study Group. *Resuscitation*. 1993;26:47–52.
53. Bobrow BJ, Clark LL, Ewy GA, Chikani V, Sanders AB, Berg RA, Richman PB, Kern KB. Minimally interrupted cardiac resuscitation by emergency medical services for out-of-hospital cardiac arrest. *JAMA*. 2008;299:1158–1165.
54. Dorph E, Wik L, Strømme TA, Eriksen M, Steen PA. Oxygen delivery and return of spontaneous circulation with ventilation:compression ratio 2:30 versus chest compressions only CPR in pigs. *Resuscitation*. 2004;60:309–318.
55. Kitamura T, Iwami T, Kawamura T, Nagao K, Tanaka H, Nadkarni VM, Berg RA, Hiraide A; Implementation Working Group for All-Japan Utstein Registry of the Fire and Disaster Management Agency. Conventional and chest-compression-only cardiopulmonary resuscitation by bystanders for children who have out-of-hospital cardiac arrests: a prospective, nationwide, population-based cohort study. *Lancet*. 2010;375:1347–1354.
56. Berg RA, Hilwig RW, Kern KB, Babar I, Ewy GA. Simulated mouth-to-mouth ventilation and chest compressions (bystander cardiopulmonary resuscitation) improves outcome in a swine model of prehospital pediatric asphyxial cardiac arrest. *Crit Care Med*. 1999;27:1893–1899.
57. Aufderheide TP, Sigurdsson G, Pirralo RG, Yannopoulos D, McKnite S, von Briesen C, Sparks CW, Conrad CJ, Provo TA, Lurie KG. Hyperventilation-induced hypotension during cardiopulmonary resuscitation. *Circulation*. 2004;109:1960–1965.
58. Milander MM, Hiscok PS, Sanders AB, Kern KB, Berg RA, Ewy GA. Chest compression and ventilation rates during cardiopulmonary resuscitation: the effects of audible tone guidance. *Acad Emerg Med*. 1995;2:708–713.
59. O' Neill JF, Deakin CD. Do we hyperventilate cardiac arrest patients? *Resuscitation*. 2007;73:82–85.
60. McInnes AD, Sutton RM, Orioles A, Nishisaki A, Niles D, Abella BS, Maltese MR, Berg RA, Nadkarni V. The first quantitative report of ventilation rate during in-hospital resuscitation of older children and adolescents. *Resuscitation*. 2011;82:1025–1029.
61. Gazmuri RJ, Ayoub IM, Radhakrishnan J, Motl J, Upadhyaya MP. Clinically plausible hyperventilation does not exert adverse hemodynamic effects during CPR but markedly reduces end-tidal PCO. *Resuscitation*. 2012;83:259–264.
62. Woda RP, Dzwonczyk R, Bernacki BL, Cannon M, Lynn L. The ventilatory effects of auto-positive end-expiratory pressure development during cardiopulmonary resuscitation. *Crit Care Med*. 1999;27:2212–2217.
63. Pepe PE, Marini JJ. Occult positive end-expiratory pressure in mechanically ventilated patients with airflow obstruction: the auto-PEEP effect. *Am Rev Respir Dis*. 1982;126:166–170.
64. Cournand A, Motley HL. Physiological studies of the effects of intermittent positive pressure breathing on cardiac output in man. *Am J Physiol*. 1948;152:162–174.
65. Sykes MK, Adams AP, Finlay WE, McCormick PW, Economides A. The effects of variations in end-expiratory inflation pressure on cardiorespiratory function in normo-, hypo- and hypervolaemic dogs. *Br J Anaesth*. 1970;42:669–677.
66. Langhelle A, Sunde K, Wik L, Steen PA. Arterial blood-gases with 500- versus 1000-ml tidal volumes during out-of-hospital CPR. *Resuscitation*. 2000;45:27–33.

67. Wenzel V, Keller C, Idris AH, Dörge V, Lindner KH, Brimacombe JR. Effects of smaller tidal volumes during basic life support ventilation in patients with respiratory arrest: good ventilation, less risk? *Resuscitation*. 1999;43:25–29.
68. Fuerst R, Idris A, Banner M, Wenzel V, Orban D. Changes in respiratory system compliance during cardiopulmonary arrest with and without closed chest compressions. *Ann Emerg Med*. 1993;22:931.
69. Valenzuela TD, Kern KB, Clark LL, Berg RA, Berg MD, Berg DD, Hilwig RW, Otto CW, Newburn D, Ewy GA. Interruptions of chest compressions during emergency medical systems resuscitation. *Circulation*. 2005;112:1259–1265.
70. Crile G, Dolley DH. An experimental research into the resuscitation of dogs killed by anesthetics and asphyxia. *J Exp Med*. 1906;8:713–725.
71. Berg RA, Kern KB, Hilwig RW, Ewy GA. Assisted ventilation during “bystander” CPR in a swine acute myocardial infarction model does not improve outcome. *Circulation*. 1997;96:4364–4371.
72. Redding JS, Pearson JW. Resuscitation from ventricular fibrillation: drug therapy. *JAMA*. 1968;203:255–260.
73. Kern KB, Ewy GA, Voorhees WD, Babbs CF, Tacker WA. Myocardial perfusion pressure: a predictor of 24-hour survival during prolonged cardiac arrest in dogs. *Resuscitation*. 1988;16:241–250.
74. Lindner KH, Prengel AW, Pfenninger EG, Lindner IM, Strohmenger HU, Georgieff M, Lurie KG. Vasopressin improves vital organ blood flow during closed-chest cardiopulmonary resuscitation in pigs. *Circulation*. 1995;91:215–221.
75. Martin GB, Carden DL, Nowak RM, Lewinter JR, Johnston W, Tomlanovich MC. Aortic and right atrial pressures during standard and simultaneous compression and ventilation CPR in human beings. *Ann Emerg Med*. 1986;15:125–130.
76. Timerman S, Cardoso LF, Ramirez JA, Halperin H. Improved hemodynamic performance with a novel chest compression device during treatment of in-hospital cardiac arrest. *Resuscitation*. 2004;61:273–280.
77. Pearson JW, Redding JS. Peripheral vascular tone on cardiac resuscitation. *Anesth Analg*. 1965;44:746–752.
78. Ornato JP, Garnett AR, Glauser FL. Relationship between cardiac output and the end-tidal carbon dioxide tension. *Ann Emerg Med*. 1990;19:1104–1106.
79. Weil MH, Bisera J, Trevino RP, Rackow EC. Cardiac output and end-tidal carbon dioxide. *Crit Care Med*. 1985;13:907–909.
80. Levine RL, Wayne MA, Miller CC. End-tidal carbon dioxide and outcome of out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med*. 1997;337:301–306.
81. Sanders AB, Kern KB, Otto CW, Milander MM, Ewy GA. End-tidal carbon dioxide monitoring during cardiopulmonary resuscitation: a prognostic indicator for survival. *JAMA*. 1989;262:1347–1351.
82. Cantineau JP, Lambert Y, Merckx P, Reynaud P, Porte F, Bertrand C, Duvaldestin P. End-tidal carbon dioxide during cardiopulmonary resuscitation in humans presenting mostly with asystole: a predictor of outcome. *Crit Care Med*. 1996;24:791–796.
83. Eberle B, Dick WF, Schneider T, Wissner G, Doetsch S, Tzanova I. Checking the carotid pulse check: diagnostic accuracy of first responders in patients with and without a pulse. *Resuscitation*. 1996;33: 107–116.
84. Tibballs J, Russell P. Reliability of pulse palpation by healthcare personnel to diagnose paediatric cardiac arrest. *Resuscitation*. 2009;80:61–64.
85. Lapostolle F, Le Toumelin P, Agostinucci JM, Catineau J, Adnet F. Basic cardiac life support providers checking the carotid pulse: performance, degree of conviction, and influencing factors. *Acad Emerg Med*. 2004;11:878–880.
86. Sutton RM, Maltese MR, Niles D, French B, Nishisaki A, Arbogast KB, Donoghue A, Berg RA, Helfaer MA, Nadkarni V. Quantitative analysis of chest compression interruptions during in-hospital resuscitation of older children and adolescents. *Resuscitation*. 2009;80:1259–1263.
87. Hazinski MF, ed. BLS for Healthcare Providers Student Manual. Dallas, TX: American Heart Association; 2011.
88. Tschan F, Vetterli M, Semmer NK, Hunziker S, Marsch SC. Activities during interruptions in cardiopulmonary resuscitation: a simulator study. *Resuscitation*. 2011;82:1419–1423.
89. Eschmann NM, Pirralo RG, Aufderheide TP, Lerner EB. The association between emergency medical services staffing patterns and out-of-hospital cardiac arrest survival. *Prehosp Emerg Care*. 2010;14:71–77.
90. Yeung JH, Ong GJ, Davies RP, Gao F, Perkins GD. Factors affecting team leadership skills and their relationship with quality of cardiopulmonary resuscitation. *Crit Care Med*. 2012;40:2617–2621.
91. Hunziker S, Bühlmann C, Tschan F, Balestra G, Legeret C, Schumacher C, Semmer NK, Hunziker P, Marsch S. Brief leadership instructions improve cardiopulmonary resuscitation in a high-fidelity simulation: a randomized controlled trial [published correction appears in *Crit Care Med*. 2010;38:1510]. *Crit Care Med*. 2010;38:1086–1091.
92. Cooper S, Wakelam A. Leadership of resuscitation teams: “Lighthouse Leadership.” *Resuscitation*. 1999;42:27–45.
93. Wang HE, Simeone SJ, Weaver MD, Callaway CW. Interruptions in cardiopulmonary resuscitation from paramedic endotracheal intubation. *Ann Emerg Med*. 2009;54:645–652.e1.
94. Wang HE, Szydlo D, Stouffer JA, Lin S, Carlson JN, Vaillancourt C, Sears G, Verbeek RP, Fowler R, Idris AH, Koenig K, Christenson J, Minokadeh A, Brandt J, Rea T; ROC Investigators. Endotracheal intubation versus supraglottic airway insertion in out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation*. 2012;83:1061–1066.
95. Hanif MA, Kaji AH, Niemann JT. Advanced airway management does not improve outcome of out-of-hospital cardiac arrest. *Acad Emerg Med*. 2010;17:926–931.
96. Bahr J, Klingler H, Panzer W, Rode H, Kettler D. Skills of lay people in checking the carotid pulse. *Resuscitation*. 1997;35:23–26.
97. Moule P. Checking the carotid pulse: diagnostic accuracy in students of the healthcare professions. *Resuscitation*. 2000;44:195–201.
98. Nyman J, Sihvonen M. Cardiopulmonary resuscitation skills in nurses and nursing students. *Resuscitation*. 2000;47:179–184.
99. Ochoa FJ, Ramalle-Gómara E, Carpintero JM, García A, Saralegui I. Competence of health professionals to check the carotid pulse. *Resuscitation*. 1998;37:173–175.
100. Mather C, O’ Kelly S. The palpation of pulses. *Anaesthesia*. 1996;51:189–191.
101. Sell RE, Sarno R, Lawrence B, Castillo EM, Fisher R, Brainard C, Dunford JV, Davis DP. Minimizing pre and post-defibrillation pauses increases the likelihood of return of spontaneous circulation (ROSC). *Resuscitation*. 2010;81:822–825.
102. Perkins GD, Davies RP, Soar J, Thickett DR. The impact of manual defibrillation technique on no-flow time during simulated cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation*. 2007;73:109–114.
103. Li Y, Bisera J, Weil MH, Tang W. An algorithm used for ventricular fibrillation detection without interrupting chest compression. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2012;59:78–86.
104. Rea TD, Helbock M, Perry S, Garcia M, Cloyd D, Becker L, Eisenberg M. Increasing use of cardiopulmonary resuscitation during out-of-hospital ventricular fibrillation arrest: survival implications of guideline changes. *Circulation*. 2006;114:2760–2765.
105. Chung TN, Bae J, Kim EC, Cho YK, You JS, Choi SW, Kim OJ. Induction of a shorter compression phase is correlated with a deeper chest compression during metronome-guided cardiopulmonary resuscitation: a manikin study. *Emerg Med J*. July 25, 2012. doi:10.1136/emmermed-2012-201534. <http://emj.bmj.com/content/early/2012/07/24/emmermed-2012-201534>. long. Accessed June 11, 2013.
106. Kern KB, Stickney RE, Gallison L, Smith RE. Metronome improves compression and ventilation rates during CPR on a manikin in a randomized trial. *Resuscitation*. 2010;81:206–210.
107. Sato H, Komazawa N, Ueki R, Yamamoto N, Fujii A, Nishi S, Kaminoh Y. Backboard insertion in the operating table increases chest compression depth: a manikin study. *J Anesth*. 2011;25:770–772.
108. Nishisaki A, Maltese MR, Niles DE, Sutton RM, Urbano J, Berg RA, Nadkarni VM. Backboards are important when chest compressions are provided on a soft mattress. *Resuscitation*. 2012;83:1013–1020.
109. Andersen LØ, Isbye DL, Rasmussen LS. Increasing compression depth during manikin CPR using a simple backboard. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2007;51:747–750.
110. Noordergraaf GJ, Paulussen IW, Venema A, van Berkomp PF, Woerlee PH, Scheffer GJ, Noordergraaf A. The impact of compliant surfaces on in-hospital chest compressions: effects of common mattresses and a backboard. *Resuscitation*. 2009;80:546–552.
111. Perkins GD, Smith CM, Augre C, Allan M, Rogers H, Stephenson B, Thickett DR. Effects of a backboard, bed height, and operator position on compression depth during simulated resuscitation. *Intensive Care Med*. 2006;32:1632–1635.
112. Sugerman NT, Edelson DP, Leary M, Weidman EK, Herzberg DL, Vanden Hoek TL, Becker LB, Abella BS. Rescuer fatigue during actual in-hospital cardiopulmonary resuscitation with audiovisual feedback: a prospective multicenter study. *Resuscitation*. 2009;80:981–984.

113. Ochoa FJ, Ramalle-Gómará E, Lisa V, Saralegui I. The effect of rescuer fatigue on the quality of chest compressions. *Resuscitation*. 1998;37:149–152.
114. Ashton A, McCluskey A, Gwinnutt CL, Keenan AM. Effect of rescuer fatigue on performance of continuous external chest compressions over 3 min. *Resuscitation*. 2002;55:151–155.
115. Hightower D, Thomas SH, Stone CK, Dunn K, March JA. Decay in quality of closed-chest compressions over time. *Ann Emerg Med*. 1995;26:300–303.
116. Björshol CA, Sunde K, Myklebust H, Assmus J, Søreide E. Decay in chest compression quality due to fatigue is rare during prolonged advanced life support in a manikin model. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2011;19:46.
117. Manders S, Geijsel FE. Alternating providers during continuous chest compressions for cardiac arrest: every minute or every two minutes? *Resuscitation*. 2009;80:1015–1018.
118. Cason CL, Trowbridge C, Baxley SM, Ricard MD. A counterbalanced cross-over study of the effects of visual, auditory and no feedback on performance measures in a simulated cardiopulmonary resuscitation. *BMC Nurs*. 2011;10:15.
119. Pozner CN, Almozilino A, Elmer J, Poole S, McNamara D, Barash D. Cardiopulmonary resuscitation feedback improves the quality of chest compression provided by hospital health care professionals. *Am J Emerg Med*. 2011;29:618–625.
120. Chi CH, Tsou JY, Su FC. Effects of rescuer position on the kinematics of cardiopulmonary resuscitation (CPR) and the force of delivered compressions. *Resuscitation*. 2008;76:69–75.
121. Jäntti H, Silfvast T, Turpeinen A, Kiviniemi V, Uusaro A. Quality of cardiopulmonary resuscitation on manikins: on the floor and in the bed. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2009;53:1131–1137.
122. Foo NP, Chang JH, Lin HJ, Guo HR. Rescuer fatigue and cardiopulmonary resuscitation positions: a randomized controlled crossover trial. *Resuscitation*. 2010;81:579–584.
123. Jones AY, Lee RY. Rescuer's position and energy consumption, spinal kinetics, and effectiveness of simulated cardiac compression. *Am J Crit Care*. 2008;17:417–425.
124. Edelson DP, Call SL, Yuen TC, Vanden Hoek TL. The impact of a step stool on cardiopulmonary resuscitation: a cross-over mannequin study. *Resuscitation*. 2012;83:874–878.
125. Lim JS, Cho YC, Kwon OY, Chung SP, Yu K, Kim SW. Precise minute ventilation delivery using a bag-valve mask and audible feedback. *Am J Emerg Med*. 2012;30:1068–1071.
126. Sherren PB, Lewinsohn A, Jovaisa T, Wijayatilake DS. Comparison of the Mapleson C system and adult and paediatric self-inflating bags for delivering guideline-consistent ventilation during simulated adult cardiopulmonary resuscitation. *Anaesthesia*. 2011;66:563–567.
127. Nehme Z, Boyle MJ. Smaller self-inflating bags produce greater guideline consistent ventilation in simulated cardiopulmonary resuscitation. *BMC Emerg Med*. 2009;9:4.
128. Terndrup TE, Rhee J. Available ventilation monitoring methods during pre-hospital cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation*. 2006;71:10–18.
129. Dickinson ET, Verdile VP, Schneider RM, Salluzzo RF. Effectiveness of mechanical versus manual chest compressions in out-of-hospital cardiac arrest resuscitation: a pilot study. *Am J Emerg Med*. 1998;16:289–292.
130. Hallstrom A, Rea TD, Sayre MR, Christenson J, Anton AR, Mosesso VN Jr, Van Ottingham L, Olsufka M, Pennington S, White LJ, Yahn S, Husar J, Morris MF, Cobb LA. Manual chest compression vs use of an automated chest compression device during resuscitation following out-of-hospital cardiac arrest: a randomized trial. *JAMA*. 2006;295:2620–2628.
131. Smekal D, Johansson J, Huzevka T, Rubertsson S. A pilot study of mechanical chest compressions with the LUCAS™ device in cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation*. 2011;82:702–706.
132. Axelsson C, Nestin J, Svensson L, Axelsson AB, Herlitz J. Clinical consequences of the introduction of mechanical chest compression in the EMS system for treatment of out-of-hospital cardiac arrest: a pilot study. *Resuscitation*. 2006;71:47–55.
133. Rubertsson S, Silfverstolpe J, Rehn L, Nyman T, Lichtveld R, Boomars R, Bruins W, Ahlstedt B, Puggioli H, Lindgren E, Smekal D, Skoog G, Kastberg R, Lindblad A, Halliwell D, Box M, Arnwald F, Hardig BM, Chamberlain D, Herlitz J, Karlsten R. The study protocol for the LINC (LUCAS in cardiac arrest) study: a study comparing conventional adult out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation with a concept with mechanical chest compressions and simultaneous defibrillation. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2013;21:5.
134. Yost D, Phillips RH, Gonzales L, Lick CJ, Satterlee P, Levy M, Barger J, Dodson P, Poggi S, Wojcik K, Niskanen RA, Chapman FW. Assessment of CPR interruptions from transthoracic impedance during use of the LUCAS™ mechanical chest compression system. *Resuscitation*. 2012;83:961–965.
135. Ong ME, Annathurai A, Shahidah A, Leong BS, Ong VY, Tiah L, Ang SH, Yong KL, Sultana P. Cardiopulmonary resuscitation interruptions with use of a load-distributing band device during emergency department cardiac arrest. *Ann Emerg Med*. 2010;56:233–241.
136. Fischer H, Neuhold S, Zapletal B, Hochbrugger E, Koinig H, Steinlechner B, Frantal S, Stumpf D, Greif R. A manually powered mechanical resuscitation device used by a single rescuer: a randomised controlled manikin study. *Resuscitation*. 2011;82:913–919.
137. Fischer H, Neuhold S, Hochbrugger E, Steinlechner B, Koinig H, Milosevic L, Havel C, Frantal S, Greif R. Quality of resuscitation: flight attendants in an airplane simulator use a new mechanical resuscitation device: a randomized simulation study. *Resuscitation*. 2011;82:459–463.
138. Tomte O, Sunde K, Lorentz T, Auestad B, Souders C, Jensen J, Wik L. Advanced life support performance with manual and mechanical chest compressions in a randomized, multicentre manikin study. *Resuscitation*. 2009;80:1152–1157.
139. Ong ME, Quah JL, Annathurai A, Noor NM, Koh ZX, Tan KB, Pothiwala S, Poh AH, Loy CK, Fook-Chong S. Improving the quality of cardiopulmonary resuscitation by training dedicated cardiac arrest teams incorporating a mechanical load-distributing device at the emergency department. *Resuscitation*. 2013;84:508–514.
140. Circulation Improving Resuscitation Care (CIRC Study). *ClinicalTrials.gov* Web site. <http://clinicaltrials.gov/ct2/show/record/nct00597207>. Accessed February 28, 2013.
141. Perkins GD, Woollard M, Cooke MW, Deakin C, Horton J, Lall R, Lamb SE, McCabe C, Quinn T, Slowther A, Gates S; PARAMEDIC Trial Collaborators. Prehospital randomised assessment of a mechanical compression device in cardiac arrest (PaRAMeDIC) trial protocol. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2010;18:58.
142. A Comparison of Conventional Adult Out-of-hospital Cardiopulmonary Resuscitation Against a Concept With Mechanical Chest Compressions and Simultaneous Defibrillation (LINC Study). *ClinicalTrials.gov* Web site. <http://clinicaltrials.gov/ct2/show/nct00609778?term=linc&rank=1>. Accessed February 28, 2013.
143. Havel C, Schreiber W, Riedmuller E, Haugk M, Richling N, Trimmel H, Malzer R, Sterz F, Herkner H. Quality of closed chest compression in ambulance vehicles, flying helicopters and at the scene. *Resuscitation*. 2007;73:264–270.
144. Olasveengen TM, Wik L, Steen PA. Quality of cardiopulmonary resuscitation before and during transport in out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation*. 2008;76:185–190.
145. Chung TN, Kim SW, Cho YS, Chung SP, Park I, Kim SH. Effect of vehicle speed on the quality of closed-chest compression during ambulance transport. *Resuscitation*. 2010;81:841–847.
146. Kurz MC, Dante SA, Puckett BJ. Estimating the impact of off-balancing forces upon cardiopulmonary resuscitation during ambulance transport. *Resuscitation*. 2012;83:1085–1089.
147. Sunde K, Wik L, Steen PA. Quality of mechanical, manual standard and active compression-decompression CPR on the arrest site and during transport in a manikin model. *Resuscitation*. 1997;34:235–242.
148. Zebuhr C, Sutton RM, Morrison W, Niles D, Boyle L, Nishisaki A, Meaney P, Leffelman J, Berg RA, Nadkarni VM. Evaluation of quantitative debriefing after pediatric cardiac arrest. *Resuscitation*. 2012;83:1124–1128.
149. Dine CJ, Gersh RE, Leary M, Riegel BJ, Bellini LM, Abella BS. Improving cardiopulmonary resuscitation quality and resuscitation training by combining audiovisual feedback and debriefing. *Crit Care Med*. 2008;36:2817–2822.
150. Sutton RM, Niles D, Meaney PA, Aplenc R, French B, Abella BS, Lengetti EL, Berg RA, Helfaer MA, Nadkarni V. Low-dose, high-frequency CPR training improves skill retention of in-hospital pediatric providers. *Pediatrics*. 2011;128:e145–e151.
151. Dane FC, Russell-Lindgren KS, Parisch DC, Durham MD, Brown TD. In-hospital resuscitation: association between ACLS training and survival to discharge. *Resuscitation*. 2000;47:83–87.
152. Moretti MA, Cesar LA, Nusbacher A, Kern KB, Timmerman S, Ramires JA. Advanced cardiac life support training improves long-term survival from in-hospital cardiac arrest. *Resuscitation*. 2007;72:458–465.

153. Bobrow BJ, Vadeboncoeur TF, Stolz U, Silver AE, Tobin JM, Crawford SA, Mason TK, Schirmer J, Smith GA, Spaite DW. The influence of scenario-based training and real-time audiovisual feedback on out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation quality and survival from out-of-hospital cardiac arrest. *Ann Emerg Med.* March 7, 2013. doi:10.1016/j.annemergmed.2012.12.010. [http://www.annemergmed.com/article/S0196-0644\(12\)01853-7/abstract](http://www.annemergmed.com/article/S0196-0644(12)01853-7/abstract). Accessed June 11, 2013.
154. Yang CW, Yen ZS, McGowan JE, Chen HC, Chiang WC, Mancini ME, Soar J, Lai MS, Ma MH. A systematic review of retention of adult advanced life support knowledge and skills in healthcare providers. *Resuscitation.* 2012;83:1055–1060.
155. Roppolo LP, Pepe PE, Campbell L, Ohman K, Kulkarni H, Miller R, Idris A, Bean L, Bettes TN, Idris AH. Prospective, randomized trial of the effectiveness and retention of 30-min layperson training for cardiopulmonary resuscitation and automated external defibrillators: the American Airlines Study. *Resuscitation.* 2007;74:276–285.
156. Einspruch EL, Lynch B, Aufderheide TP, Nichol G, Becker L. Retention of CPR skills learned in a traditional AHA Heartsaver course versus 30-min video self-training: a controlled randomized study. *Resuscitation.* 2007;74:476–486.
157. Wik L, Myklebust H, Auestad BH, Steen PA. Retention of basic life support skills 6 months after training with an automated voice advisory manikin system without instructor involvement. *Resuscitation.* 2002;52:273–279.
158. Wik L, Myklebust H, Auestad BH, Steen PA. Twelve-month retention of CPR skills with automatic correcting verbal feedback. *Resuscitation.* 2005;66:27–30.
159. Smith KK, Gilcreast D, Pierce K. Evaluation of staff's retention of ACLS and BLS skills. *Resuscitation.* 2008;78:59–65.
160. Meaney PA, Sutton RM, Tsima B, Steenhoff AP, Shilkofski N, Boulet JR, Davis A, Kestler AM, Church KK, Niles DE, Irving SY, Mazhani L, Nadkarni VM. Training hospital providers in basic CPR skills in Botswana: acquisition, retention and impact of novel training techniques. *Resuscitation.* 2012;83:1484–1490.
161. Niles D, Sutton RM, Donoghue A, Kalsi MS, Roberts K, Boyle L, Nishisaki A, Arbogast KB, Helfaer M, Nadkarni V. "Rolling Refreshers": a novel approach to maintain CPR psychomotor skill competence. *Resuscitation.* 2009;80:909–912.
162. Oermann MH, Kardong-Edgren SE, Odom-Maryon T. Effects of monthly practice on nursing students' CPR psychomotor skill performance. *Resuscitation.* 2011;82:447–453.
163. Hunziker S, Johansson AC, Tschan F, Semmer NK, Rock L, Howell MD, Marsch S. Teamwork and leadership in cardiopulmonary resuscitation. *J Am Coll Cardiol.* 2011;57:2381–2388.
164. Andreatta P, Saxton E, Thompson M, Annich G. Simulation-based mock codes significantly correlate with improved pediatric patient cardiopulmonary arrest survival rates. *Pediatr Crit Care Med.* 2011;12:33–38.
165. Bradley SM, Huszti E, Warren SA, Merchant RM, Sayre MR, Nichol G. Duration of hospital participation in Get With the Guidelines Resuscitation and survival of in-hospital cardiac arrest. *Resuscitation.* 2012;83:1349–1357.



Circulation

JOURNAL OF THE AMERICAN HEART ASSOCIATION