

筑波大学

博士（医学）学位論文

院外心停止患者における  
心肺蘇生の質的評価の研究

2 0 2 2

筑波大学

小 山 泰 明

# 目次

|   |    |
|---|----|
| 1. 要旨   | 5  |
| 2. 略語   | 11 |
| 3. 序文   | 13 |
| 4. 研究 1「胸骨圧迫中の手の位置の適切性の評価」                                  | 17 |
| 4. 1. 背景  | 17 |
| 4. 2. 方法  | 18 |
| 4. 3. 結果  | 22 |
| 4. 4. 考察  | 24 |
| 4. 5. 限界  | 27 |
| 4. 6. 小括  | 28 |
| 5. 研究 2「標準的な CPR 中の血行動態のリアルタイムモニタリングによる動脈灌流及び<br>静脈灌流の定量評価」 | 30 |
| 5. 1. 背景  | 30 |
| 5. 2. 方法  | 31 |
| 5. 3. 結果  | 35 |
| 5. 4. 考察  | 37 |
| 5. 5. 限界  | 41 |
| 5. 6. 小括  | 43 |
| 6. 今後の展望  | 44 |
| 7. 総括   | 46 |
| 8. 謝辞   | 47 |

|          |       |    |
|----------|-------|----|
| 9. 出典    | ————— | 47 |
| 10. 引用文献 | ————— | 48 |
| 11. 図表   | ————— | 60 |

## 1. 要旨

### 【背景】

本邦における院外心停止 (Out of Hospital Cardiac Arrest; OHCA)は年間 12 万件発生し、1 ヶ月後生存率は 6.8%である。一般市民が目撃した心原性心停止(Cardiac Arrest; CA)に限定しても、1 ヶ月後生存率は 13.9%、1 ヶ月後社会復帰率は 9.0%と極めて低値であり、社会復帰は難しい。

近年の心肺蘇生(Cardiac-Pulmonary Resuscitation; CPR)は 1961 年に閉胸式心臓マッサージ(胸骨圧迫法)を用いた CPR の有用性が示され、誰でもどこでも安全かつ簡易に、しかも効率的に行える CPR として普及した。また国際蘇生連絡委員会が発表した Guideline2000 では Chain of Survival という、早期通報、早期の CPR、早期の除細動、早期の病院内治療の 4 つの輪が連なることが、OHCA 患者の社会復帰には重要であると示されたが、特に早期の CPR が生存退院に寄与することが示され、2005 年の改訂からは胸骨圧迫を含む CPR の質が重要視された。

本邦においても一般市民向けの講習会が開催されるようになり、現在では Bystander CPR(居合わせた人による CPR)は 50.7%で行われている。しかし、一般市民が目撃した心原性 CA 患者に Bystander CPR が行われても 1 ヶ月後生存率は 17.3%、1 ヶ月後社会復帰率は 12.3%とわずかに改善したに過ぎない。

この 60 年間で CPR は標準化され多くの医療従事者や一般市民に普及し、「質より量」

を優先させることで生存率や社会復帰率の向上に努めてきた。しかし、現状の成績を向上させるには Bystander CPR の実施率を上げることもさることながら、いかに効果的な CPR を実施し、患者にとって最適な CPR が行われているかという「質の見直し」が必要である。

本研究は、効果的な CPR を実施するために、以下の 2 つの研究を行った。

#### 研究 1: 胸骨圧迫中の手の位置の適切性の評価

CPR の質が重要視され、特に速さや深さは細かく規定されているが、胸骨圧迫の位置は胸骨下半分と細かい規定ではない。また、胸骨下半分への胸骨圧迫について、実際の臨床現場で、圧迫の位置が適切に実施できているのかどうかは、未だ明らかにされていない。

研究 1 では、胸骨圧迫の位置に注目し、医療従事者を対象として、シミュレーターの定められた適切な位置を、通常の胸骨圧迫中に適切に圧迫できているかどうかを定量的に評価することを目的とした。

#### 研究 2: 標準的な CPR 中の血行動態のリアルタイムモニタリングによる動脈灌流及び静脈灌流の定量評価

現行の蘇生ガイドラインは、手技の標準化という点では有効であるが、必ずしも患者毎に最も効率的に有効な臓器灌流を得ることができる胸骨圧迫を提供するとは限らない。体

内の血流は、動脈圧と静脈圧の圧力の勾配によって生じるが、胸骨圧迫中の血行動態と生理的な血行動態との関係は不明である。胸骨圧迫により生理的な血行動態に対して、順行性の血流だけでなく逆行性の血流も生じることが報告されている。研究 2 では、実際の臨床現場において、CA 患者を対象に、標準的 CPR 中の血行動態のリアルタイムモニタリングを実施し、動脈圧及び静脈圧の定量評価と、患者の転帰との関連を評価することを目的とした。

## 【方法と結果】

研究 1: 44 名の医療従事者が参加した。胸骨圧迫中の圧力と手の位置は、柔軟な圧力センサーを用いて確認した。胸骨下半分の中心  $3 \times 3\text{cm}^2$  に力の最強点がきていれば適切な胸骨圧迫位置と定義した。参加者は、人形からの立ち位置と胸骨に接する手の位置で、右左(R-*l*)、右右(R-*r*)、左右(L-*r*)、左左(L-*l*)の 4 群に分けた。そして、各群と、通常法(Manual Method; MM)、母指球法(Thenar Method; TM)、小指球法(Hypothenar Method; HM)の 3 つの方法を比較した。MM は標準化された CPR のガイドライン通りに胸骨下半分で胸骨圧迫を施行してもらうのに対し、TM では母指球を中心マークに、HM では小指球を中心マークにおいて胸骨圧迫するよう口頭指示のみ与えて施行してもらった。MM では 80%の参加者で適切な胸骨圧迫位置からの最強点のずれが認められ、60%~90%が小指側にずれを認めた。HM を用いたで胸骨圧迫法では、より強い圧迫が可能であり、適切な位置から

小指側へのずれを最小限に抑えることができた。

研究 2: 当院救急外来(Emergency Room; ER)到着時に OHCA 患者の動脈圧と静脈圧を連続的に記録した。動脈の収縮期血圧(A sys,)、動脈の拡張期血圧(A dias)、静脈の収縮期血圧(V sys)、静脈の拡張期血圧(V dias)、動脈と静脈の収縮期血圧の差( $\Delta$ Sys A-V)、動脈と静脈の拡張期血圧の差( $\Delta$ Dias A-V)、平均動脈圧(A mean)、平均静脈圧(V mean)、および平均動脈圧と静脈圧の差( $\Delta$ Mean A-V)を測定パラメータとして、心拍再開(Return of spontaneous circulation; ROSC)を得た患者と得られなかった患者で比較した。動脈圧が静脈圧より有意に高値になった症例だけでなく、機械的胸骨圧迫装置を用いて CPR の質を一定にしても静脈圧が動脈圧より優位になった症例が確認された。50 例中、16 例(32%)で ROSC を認めた。A sys、A dias、 $\Delta$ Sys A-V、 $\Delta$ Dias A-V、A mean、 $\Delta$ Mean A-V の平均値は、ROSC のある患者で有意に高かった。 $\Delta$ Mean A-V の平均値を層別化すると、 $\Delta$ Mean A-V 平均値 $<0$  の患者が 19 人(38%)認められたが、いずれも ROSC を得られなかった。 $\Delta$ Mean A-V 平均値の上昇に伴い、ROSC 率も上昇した( $p = 0.00002$ )。

#### 【考察】

研究 1 では、CPR の質的評価として、胸骨圧迫中における適切な手の位置での胸壁にかかる圧の定量評価を行った。研究 2 では、CPR 中の動脈圧・静脈圧のリアルタイムモニタ



リングを行い、臓器灌流と ROSC との関連性を評価した。両研究を通じて、OHCA 患者における効果的な CPR を実施するために必要な質的評価項目が明らかになった。

研究 1 では、胸骨下半分の位置にマークされた目標の場所に胸骨圧迫の最強点があった参加者は 20%のみであり、視覚的な評価だけでは適切な位置を胸骨圧迫することが難しいことが明らかとなった。適切な位置からの最強点のずれは 60~90%が小指側に、30~50%が手関節側に移動していた。小指側に移動すると剣状突起を圧迫してしまうリスク、手関節側に移動すると肋骨骨折のリスクがある。しかし小指球で押す HM を用いた胸骨圧迫では、適切な位置からの小指側へのずれを最小限に抑えることができ、より強く押すことができた。今後の胸骨圧迫に関する指導として、手の位置と合わせ方に関する教習内容として活用できる可能性がある。

研究 2 では、V mean 値が A mean 値よりも高かった患者は ROSC に至らず、 $\Delta$  Mean A-V 平均値が増加するほど、ROSC 率も増加する可能性が示唆された。動脈圧よりも静脈圧が高い場合は、胸骨圧迫時の順行性血流が少なく、圧迫解除時に逆行性血流が出現した可能性があり、酸素化された血液による臓器灌流効率が不良となるため、ROSC 率の著しい低下を招くと考えられる。臓器灌流を反映する動静脈圧較差が予後予測に密接に関連しており、CPR 中に動脈圧・静脈圧の同時モニタリングを行い、患者の臓器灌流を最適にするように個々で胸骨圧迫を調整することが重要である。

## 【結論】

医療従事者が実施する CPR でも、80%に適切な胸骨圧迫位置からの最強点のずれを認め、CPR 指導者は、適切な圧迫位置を指導する必要性が明らかとなった。また、ROSC を得るには、動静脈圧較差を大きくする胸骨圧迫の有効性が明らかとなった。今後は、標準化された胸骨圧迫中の適切なモニタリングの開発により、個々の患者において、効率的な臓器灌流を得るための手の位置の補正や、適切な臓器灌流が得られる胸骨圧迫の実施が OHCA 患者の予後改善には必要である。

## 2. 略語

ABC; Airway, Breathing, Circulation

AED; Automated External Defibrillator

AHA; American Heart Association

AUC; Area under the curve

CA; Cardiac Arrest

CoSTR; Consensus on Science with Treatment Recommendations

CPC; Cerebral performance category

CPR; Cardiac-Pulmonary Resuscitation

ER; Emergency Room

ERC; European Resuscitation Council

EtCO<sub>2</sub>; End tidal CO<sub>2</sub>

HM; Hypothenar Method

ILCOR; International Liaison Committee on Resuscitation

MM; Manual Method

OHCA; Out of Hospital Cardiac Arrest

ROSC; Return of spontaneous circulation

TM; Thenar Method

VF; Ventricular Fibrillation

### 3. 序文

院外心停止(Out of Hospital Cardiac Arrest; OHCA)は、病院外で起こる心停止(Cardiac Arrest; CA)のことで、1年間にヨーロッパで約35~70万件、アメリカで約33万件発生している<sup>1,2)</sup>。本邦におけるOHCAは、2019年で126271件発生し、最近10年間では年間12万件程度で推移している<sup>3,4)</sup>が、OHCAの予後は極めて不良である。2019年の報告によると、1ヵ月後生存率は6.8%であった<sup>4)</sup>。OHCAは、目撃の有無によってその予後は大きく異なるが、一般市民が目撃した心原性CAに限定しても、1ヵ月後生存率は2010年11.4%に対して2019年13.9%、1ヵ月後社会復帰率は2010年6.9%に対して2019年9.0%と報告されている<sup>4)</sup>。このように経年的に治療成績は改善しているものの、依然として低く、OHCAになると社会復帰は難しい。

心肺蘇生(Cardiac-Pulmonary Resuscitation; CPR)は1901年に全身麻酔中のCAに対して初めて開胸式心臓マッサージを行って蘇生した報告<sup>5)</sup>以来、開胸式心臓マッサージが主流であった。しかし、外科医の知識不足や開胸式心臓マッサージをすることへの抵抗、機器の不備などの問題点があり、実際には救命に寄与していなかった<sup>6)</sup>。Kouwenhovenらは1958年に心室細動(Ventricular Fibrillation; VF)の動物実験中に除細動をするために、電極に強い力を加えて胸郭を強く圧迫したところ、動脈で脈が触れることを発見した<sup>7)</sup>。その後、Judeらは、1959年に胆嚢摘出した35歳女性がハロタンによる全身麻酔でCAになった際に閉胸式心臓マッサージ(胸骨圧迫法)を初めて臨床で施行し社会復帰に成功

した<sup>7)</sup>。彼らは、動物実験と臨床において胸骨圧迫の有効性を示し、1分間に60回の胸骨圧迫と16回の換気を推奨した<sup>7)</sup>。またSafarらは、1961年に口対口人工呼吸法と閉胸式心臓マッサージを組み合わせるCPRが有用と報告し、その手順として、気道・呼吸・循環(Airway, Breathing, Circulation; ABC)を提唱した<sup>8)</sup>。胸骨圧迫法は、誰でもどこでも安全かつ簡易に、しかも効果的に行えるCPRとして、以後多くの研究がなされた。アメリカ心臓協会(American Heart Association; AHA)は、今までのエビデンスの集大成として蘇生ガイドラインを1974年に発表した<sup>9)</sup>。その後AHAは、1980年、1986年、1992年に蘇生ガイドラインを改定した<sup>10-12)</sup>。国際蘇生連絡委員会(International Liaison Committee on Resuscitation; ILCOR)は、2000年に共同編集による国際ガイドラインをGuideline2000として発表した<sup>13)</sup>。2005年の改訂からは、ILCORが国際コンセンサス(Consensus on Science with Treatment Recommendations; CoSTR)を発表し、これを元に米国、欧州、日本でそれぞれのガイドラインを作成し5年毎改訂され、2020年に最新の改訂がなされた<sup>14-17)</sup>。

Guideline2000では、Chain of Survivalという、早期通報、早期のCPR、早期の除細動、早期の病院内治療の4つの輪が連なることが、OHCA患者の社会復帰には重要であると示された<sup>13)</sup>。しかし、アメリカ合衆国ワシントン州にあるシアトル市では自動体外式除細動器(Automated External Defibrillator; AED)が普及するにつれOHCAのVF症例の生存率が低下し<sup>18)</sup>、早期の除細動や早期の病院内治療よりも早期のCPRが生存退院に寄与

することが示された<sup>19)</sup>。よって 2005 年の改訂からは、胸骨圧迫を含む CPR の質が重要視された。胸骨圧迫法の変遷を表 1 にまとめる。

Safar らは 1961 年の口対口人工呼吸法と胸骨圧迫法の組み合わせた CPR<sup>8)</sup>の普及に努めた。当初、CPR は医師のみが行う医療行為であったが、救急隊員も行うことが認められ、1965 年にアメリカ赤十字社が市民に普及する活動を開始し、1966 年に National academy of science は標準的教育として採用した<sup>20)</sup>。その後、世界中で医療従事者を対象にトレーニングが行われている。教育を受けた医療従事者が救命処置に加わると心拍再開 (Return of spontaneous circulation; ROSC)や 30 日生存率に寄与するという報告がある<sup>21-28)</sup>一方、数か月で忘れてしまうため継続したトレーニングが必要という報告もある<sup>29,30)</sup>。

本邦では 1964 年東京オリンピック時に、胸骨圧迫を含む蘇生講習会が医療従事者である医師・看護師や救急隊員向けに開催された<sup>31)</sup>。以降は各々が講習会を開催していたが、1979 年に日本救急医学会が中心となり医療従事者向けの「救急蘇生法の指針」を作成した<sup>32)</sup>。また日本赤十字社も 1984 年に赤十字蘇生法講習を設けて、普及活動に努めた<sup>33)</sup>。しかし 1990 年に報告された本邦の OHCA 患者の完全社会復帰率は 1%と極めて低く、救急隊による病院前救護体制の見直しが高まり、翌 1991 年救急救命士制度が施行された<sup>32)</sup>。早期に CPR を開始するためには、Bystander CPR(居合わせた人による CPR)も重要視され、1993 年には日本医師会が一般市民のための「救急蘇生法の指針」<sup>34)</sup>を出版し、本邦における医療従事者や一般市民への CPR の標準化が進められてきた。各消防本部では 1994

年から一般市民向けの応急手当(胸骨圧迫や AED など)に関する講習会を開催し、同年 Bystander CPR 実施率は 13.4%であったが、受講生の増加と同時に Bystander CPR の実施も増え、2019 年には 50.7%となった<sup>4)</sup>。しかし、Bystander CPR が実施されても 1 か月後生存率は 7.7%であり、OHCA 患者全体の 1 ヶ月後生存率 6.8%からわずかに改善したに過ぎなかった<sup>4)</sup>。一般的に CA の原因が心臓疾患に起因する心原性であることや、CA の目撃がある症例は予後が良いとされているが、一般市民が目撃した心原性 CA に限定しても、Bystander CPR の実施で 1 か月後生存率 17.3%、社会復帰率 12.3%とわずかに改善したに過ぎない<sup>4)</sup>。

前述のごとく、この 60 年間で CPR は標準化され多くの医療従事者や一般市民に普及し、「質より量」を優先させることで生存率や社会復帰率の向上に努めてきた。しかし、現状の成績を向上させるには Bystander CPR の実施率をより上げることもさることながら、いかに効果的な CPR を実施し、患者にとって最適な CPR が行われているかという「質の見直し」が必要である。

そこで著者は効果的な CPR を実施するために、国際的に標準化された CPR の中で唯一細かく決められていない「胸骨圧迫中の手の位置」に着目し、CPR 中の胸骨圧迫位置を定量評価することとした(研究 1)。次に、CPR の有効性を評価するために、標準的な CPR 中の血行動態をリアルタイムにモニタリングができるシステムを確立し、動脈灌流及び静脈灌流の定量評価を実施することとした(研究 2)。



## 4. 研究 1 「胸骨圧迫中の手の位置の適切性の評価」

### 4. 1. 背景

2005 年の CoSTR 改訂から、胸骨圧迫を含む CPR の質が強調されるようになった<sup>35)</sup>。特に速さや深さは細かく規定されているが、胸骨圧迫の位置は胸骨下半分と細かい規定ではない(表 1)。2000 年のヨーロッパ蘇生協議会(European Resuscitation Council; ERC)のガイドラインでは<sup>36)</sup>、下部肋骨上で指をスライドさせて剣状突起を見つけ 2 横指上の胸骨上にもう片方の手をのせて押すという厳密なランドマーク法を推奨していた。しかし一般市民にはランドマーク法が困難なため、2005 年 AHA ガイドラインの改訂<sup>14)</sup>では、手を離している時間を減らすために、乳頭を結んだ線(乳頭間線)と胸骨の交点を押すという方法が推奨された。2010 年からは一般市民も医療従事者もより簡易にできるように、胸骨下半分を押す方法に改訂された<sup>15-17)</sup>。

上記に示したように、ガイドラインにおける胸骨圧迫の位置は以前よりも曖昧になっている。2000 年の ERC ガイドラインにあるランドマーク法のほうが適切な位置を押せていたという報告<sup>37)</sup>や、2005 年の ERC ガイドラインよりも 2010 年の ERC ガイドラインの方が胸骨圧迫の合併症の一つである肋骨骨折が増加したという報告<sup>38)</sup>もあり、胸骨圧迫の適切な手の位置に関するエビデンスは不十分である。また、平面で胸骨圧迫をシミュレートすると、中指から手根部に延ばした中心線より小指側に力の最強点がずれているという

報告もある<sup>39)</sup>。

さらに、最近臨床現場において利用されているリアルタイムフィードバック装置(図 1)を用いると、同装置を胸骨に乗せてその上から胸骨圧迫を実施することにより、胸骨圧迫の深さ・速さや胸郭の戻りであるリコイルは評価できるが、胸骨圧迫の位置は評価できない。加えて、標準化された CPR の指導指針では、適切な胸骨圧迫位置を胸骨下半分とされているが、一般市民や医療従事者が実際の臨床現場で正しく実行できているか、あるいは適切な位置を圧迫できていない場合はどの方向に手のずれが移動していたかなど、明らかにされていない。医療従事者が一般市民の蘇生教育を行うため、医療従事者が正しく実行できていなければ、一般市民に正しく蘇生教育を行うことはできない。

本研究では、胸骨圧迫を実施する上での適切な手の位置を明らかにするため、医療従事者を対象に以下の 3 つを研究目的とした。

- (1)胸骨下半分にあるマークされた目標の位置を適切に押すことができるか
- (2)適切な位置を圧迫できていない場合はどの方向に圧迫位置がずれているか
- (3)母指球または小指球を中心マークにおいて胸骨圧迫するよう簡単な口頭指示のみ与えるだけで、目標の位置を適切に押すことができるようになるか

## 4.2. 方法

#### 4. 2. 1. 研究デザインと参加者

本研究はシミュレーションを用いた単施設における前向き研究であり、医師 10 名、看護師 20 名、救急救命士 14 名が参加した。本研究は筑波大学附属病院倫理委員会の承認を得た(H30-355)。

#### 4. 2. 2. 研究手技

胸骨圧迫時の位置と圧力は、圧力センサーシート(しんのすけくん<sup>TM</sup>, 住友理工, 愛知県小牧市)を用いて測定した。リトルアン<sup>TM</sup> CPR トレーニングマネキン(Laerdal Medical Corporation, Stavanger, Norway)をストレッチャーに載せ、圧力センサーシート(サイズ: 5×5cm<sup>2</sup>)をマネキンの胸骨下半分の中央にセンサーの中心マークを合わせ(図 2A)、正確な位置を確認した後、両面テープで固定した。圧力センサーシートには 25 個の圧力センサー(サイズ: 1×1cm<sup>2</sup>)が含まれており、各センサーで圧力を検知できる。圧力センサーシートの中心マーク(図 2B の緑色マーク)含めた周囲 3×3cm<sup>2</sup> を適切な位置と定義した<sup>40</sup>)。胸骨圧迫中に付与される各センサーの圧を測定することにより、ガイドラインで規定されている胸骨下半分の中心 3×3cm<sup>2</sup> に力の最強点がきているかを評価し、適切な位置を押すことができているか、適切な位置からずれているかを検証した。

参加者は立ち位置と手技の順番によって、職業毎に 4 つのプロトコルに無作為に分けられた。このプロトコルでは、通常の胸骨圧迫と同じパフォーマンスができるように、胸骨

圧迫時に胸骨に接触する手は通常と同じ手を参加者自ら選択した。胸骨圧迫には、今まで教わってきた標準化された CPR の指導指針の通り胸骨下半分を押す通常法(Manual Method; MM)、通常より小指側に移動し母指球で目標を押すようにした母指球法(Thenar Method; TM)、母指側に移動し小指球で目標を押すようにした小指球法(Hypothenar Method; HM)を施行してもらった(図 3)。これらの方法と立ち位置の順序は、順番で差がでないように、表 2 に示す 4 つのプロトコルで実施した。順番 1 では、立ち位置は最初マネキンの右側から、次にマネキンの左側から、MM で中心マークを 1 分間ずつ押しもらった。次に簡単な口頭指示を与え、手の母指球を中心マークに当ててもらった(TM)。その後、マネキンの右側から 10 回、次に左側から 10 回胸骨圧迫をもらった。最後に、再度指示を与えて、手の小指球を中心マークに当ててもらい(HM)、再度マネキンの右側から 10 回、次に左側から 10 回胸骨圧迫をもらった。各手技は 1 分以上の休憩を挟んで行われた。順番 2 では、TM と HM の順番を逆にし、順番 3 では順番 1 とは逆に立ち位置を左側から始め、順番 4 では順番 3 で行った TM と HM の順番を逆にした(表 2)。なお、胸骨圧迫実施中に参加者にフィードバックは行わなかった。

#### 4. 2. 3. データ収集

参加者の属性として、年齢、性別、職業、職業年数、利き手、2 年以内の CPR トレーニング、2 年以内の CPR 経験を収集した。各センサーは静電容量式の圧力センサーで、圧力

の単位はピコファラッドであった。各参加者が胸骨圧迫中に 25 個のセンサーに加えた圧力の平均値が最大になるセンサー位置を特定した。また、各胸骨圧迫において、各センサーにかかる圧力が最大となるセンサー位置を特定した。さらに、収集したデータを、立ち位置と自由に選択した胸骨に接触している手で、4 つの群に分けた。右側から胸骨圧迫を行い、胸骨に左手を接触させた右・左 (R-*l*)群、右手を接触させた右・右 (R-*r*)群、左側から胸骨圧迫を行い、胸骨に右手を接触させた左・右 (L-*r*)群、左手を接触させた左・左 (L-*l*)群に分けた(図 4)。

#### 4. 2. 4. 評価項目

主要評価項目は、MM における各センサーにかかった圧力の最大値が適切な位置にあった参加者の比率と胸骨圧迫数の比率、および不適切な位置である母指側・小指側・手関節側・手指側(図 5A)にあった参加者の比率と胸骨圧迫数の比率である。副次評価項目は、各センサーにかかった圧力の最大値が適切な位置にあった参加者および胸骨圧迫数の比率および適切な位置からずれを生じた参加者および胸骨圧迫数の比率、各方法での各センサーにかかった平均圧力の最大値、各方法での平均の速さを、MM・TM・HM で比較した。

#### 4. 2. 5. 統計解析

データは、中央値・四分位範囲または比率で示した。カテゴリ変数はカイ二乗検定、

有意差がある場合はカイ二乗検定 with Bonferroni を用いた。連続変数は Kruskal-Wallis H-test、有意差がある場合は Mann-Whitney U-test with Bonferroni を適用した。群間・方法間の比較も行った。検定はすべて両側検定とし、 $p$ 値 $<0.05$  を統計学的に有意とした。すべての統計解析は、R(The R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria) のグラフィカルユーザーインターフェースである EZR(自治医科大学附属さいたま医療センター、日本、埼玉)を用いて行った。

### 4. 3. 結果

#### 4. 3. 1. 通常法による適切な位置

参加者の平均年齢は  $32 \pm 7$  歳、職歴は  $7.8 \pm 5.7$  年であった。過去 2 年間に CPR トレーニングと CPR の経験があったのは、それぞれ 29 名(66%)と 37 名(84%)であった。属性はプロトコルの順番で有意差を認めなかった(表 3)。圧迫位置が適切であった割合は、R-*l*、R-*r*、L-*r*、L-*l* でそれぞれ 25%、13%、22%、10%であり(図 5B 上部)、群間で有意な差はなかった。適切な位置からのずれは、61~90%が小指側に、29~50%が手関節側に移動していた(図 5B 上部)。胸骨圧迫数で比較すると、R-*l* (33%)が最も適切な位置をとっており、次いで L-*r* (26%)、R-*r* (14%)、L-*l* (10%)の順であった(図 5B 下部)。各群間のペアワイズ比較(R-*l* vs R-*r*、L-*r* vs L-*l*、L-*r* vs R-*r*、R-*l* vs L-*l*)では、統計学的に有意な差が認め

られた( $p < 0.001$ )。

#### 4.3.2. 各群における適切な位置

R-*l*を除いて( $p = 0.089$ )、各方法間で圧迫位置が適切である比率に有意差が認められた(R-*r*;  $p = 0.003$ 、L-*r*;  $p = 0.040$ 、L-*l*;  $p = 0.047$ )。各方法間のペアワイズ比較(R-*r*; MM vs HM  $p < 0.001$ 、L-*r*; MM vs HM  $p = 0.033$ )より、R-*r*とL-*r*ではMMよりもHMの方が、圧迫位置が適切であった。全ての群で、HMで胸骨圧迫を行うと、小指側に移動するずれが最も少なくなった。胸骨圧迫数で比較すると、全ての群において、各方法間で圧迫位置が適切である比率に有意差が認められた( $p < 0.001$ ; 表4)。各方法間のペアワイズ比較(R-*l*; MM vs TM, MM vs HM、R-*r*; MM vs TM, MM vs HM, TM vs HM、L-*r*; MM vs TM, MM vs HM、L-*l*; MM vs HM, TM vs HM)では、統計学的に有意な差が認められた( $p < 0.001$ )。

#### 4.3.3. 平均圧力の最大値と平均の速さ

MM、TM、HM各々の方法による、各センサーにかかる平均圧力の最大値と、平均の速さは各群間で有意な差は認められなかった(最大値: MM,  $p = 0.396$ ; TM,  $p = 0.302$ ; HM,  $p = 0.158$ ; 速さ: MM,  $p = 0.330$ ; TM,  $p = 0.632$ ; HM,  $p = 0.524$ )。HMの平均圧力の最大値は、すべての群で、MMまたはTMよりも優れていた(R-*l*,  $p < 0.001$ ; R-*r*,  $p < 0.001$ ; L-*r*,

$p = 0.005$ ; L-l,  $p < 0.001$ )。MM の平均の速さは、すべての群で TM や HM よりも速かった(R-l,  $p < 0.001$ ; R-r,  $p < 0.001$ ; L-r,  $p < 0.001$ ; L-l,  $p < 0.001$ ; 図 6)。

#### 4. 4. 考察

本研究では、胸骨下半分の位置にマークされた目標の場所に胸骨圧迫の最強点があった参加者は 20%のみであり、実に 80%の参加者で適切な胸骨圧迫位置からの最強点のずれが生じていることが明らかとなった。この結果は、視覚的な評価だけでは適切な位置を胸骨圧迫することが難しいことを示している。

本研究でも以前の研究と同様に、圧力センサーシートの中心マーク含めた周囲  $3 \times 3 \text{cm}^2$  を適切な位置と定義した<sup>40)</sup>。横幅に関しては、胸骨圧迫で胸骨にかかる手関節の幅は約 2cm であるため<sup>41)</sup>、幅 3cm は適切な位置として妥当と考える。また縦長に関しては、手関節にかかる力の最強点は、胸骨に接する手が右の場合では、中心線から小指側に 1.3cm、胸骨に接する手が左の場合では、中心線から小指側 1.0cm ずれていると報告されており<sup>39)</sup>、圧力センサーシートの中心マークに中心線を合わせても、縦長 3cm 以内に力の最強点があるため適切な位置として妥当と考えられる。

以前の研究では、70-90%の学生が適切な位置を押すことができていた<sup>42,43)</sup>。しかし、これらの研究では、レサシアンスキルレポーターマネキン(Laerdal Medical Corporation, Stavanger, Norway)を使用していた。このマネキンは本研究で使用したマネキンよりも左



右の適切な位置の範囲が広く、適切な部位を押す割合が本研究よりも高かったと考えられた。別の研究では、2,000 時間以上の救急業務経験があっても救急隊員の 32%しか、本研究で用いた圧力センサーで適切な位置を圧迫できなかったとする報告がある<sup>40)</sup>。本研究でも同様に半数以上の参加者が 2 年以内に CPR トレーニングを受けているが、適切な位置からずれを生じていた。これは CPR トレーニングの不足よりも、CPR トレーニングにおける教習内容の不足によると考えられる。

本研究では、60%以上の参加者において、胸骨圧迫時の最強点が目標点から小指側に移動していた(図 5B 上部)。先行研究では、胸骨圧迫法のように手を背屈させると舟状骨が突出し、救助者は骨膜痛を感じるため、胸骨圧迫時の最強点が中心線から小指側に移動するといわれている<sup>39)</sup>。また、救助者が胸骨圧迫中に押す位置を中心線に合わせると、中心線にある舟状月状靭帯を損傷することが示唆されている<sup>44)</sup>。従って、胸骨圧迫時の最強点は小指側に移動している。しかし、立ち位置と胸骨に接する手が両方とも右の場合や、両方とも左の場合は、手の位置が小指側に移動すると、剣状突起に近い部分が圧迫され、鈍的な上腹部外傷のリスクが高まる可能性があるため、小指側に移動しないように注意する必要がある。

胸骨圧迫数で比較したところ、2000 年のガイドライン<sup>36)</sup>に示されているように、救助者が患者の右側に立ち左手を胸骨に接触させる(R-l)、患者の左側に立ち右手を胸骨に接触させる(L-r)方が、R-r や L-l よりは適切な位置に胸骨圧迫時の最強点があった。これは、

立ち位置が右側で左手を胸骨に接触させた場合は左手の親指側と剣状突起が視覚的に確認できるため(図 4A)、手の位置が剣状突起側に移動しても剣状突起の圧迫を避けることができるが、立ち位置が右側で右手を胸骨に接触させた場合は上側となる左手の親指で剣状突起が隠れてしまい(図 4B)、下側にある右手の小指側で剣状突起を圧迫してしまっているか識別できないからと考えられる。

さらに、30-50%の参加者において、胸骨圧迫時の最強点が目標点から手関節側に移動していた(図 5B)。これは、手のひらの中心が圧センサーの中心マークの上にあると、手関節部分が手関節側に移動してしまうことや、足台があってもストレッチャー上で真上から中心マークを押せていなかったためと考えられた。ROSC した患者の 30%に肋骨骨折があったという報告もあり<sup>38)</sup>、救助者の手の位置が胸骨上より手関節側に移動すると、患者が肋骨骨折する可能性が出てくるため注意が必要である。

簡単な口頭指示で行えた HM は、剣状突起を視覚的に確認できるため、胸骨圧迫時の最強点の適切な位置から小指側へのずれを最小限に抑えることができた。また HM の平均圧力の最大値は、MM や TM よりも高値であったため、より強く押すことができると考えられる。しかし、HM は手関節側の移動は抑えることができなかった。

以上の結果をまとめると、立ち位置が右で胸骨に接する手が左、逆の立ち位置では右とし、HM を用いて胸骨に接する手が剣状突起にかからないように注意しながら行う胸骨圧迫法(図 7A,C)、立ち位置と胸骨に接する手が両方とも右もしくは左で、HM を用いて上

側となる手で剣状突起が隠れないように注意しながら行う胸骨圧迫法が推奨される(図7B,D)。しかし、剣状突起に手がかかる程度や剣状突起が手で隠れる程度が施行者によって違うため、臨床現場では実際に胸骨圧迫を実施している最中に、手の位置が視認・評価でき、適切な位置に補正することを指示できるリアルタイムフィードバック装置の開発が望まれる。また蘇生法の講習会では、適切な位置を評価する装置を用いて手の位置も評価し、適切な圧迫位置を押すことができない場合やずれてしまう場合は指導が必要である。

#### 4.5. 限界

本研究にはいくつかの限界がある。

まずは、胸骨圧迫継続時間が実臨床と乖離していることである。現行の標準化された CPR においては、2分毎に心電図波形を確認するため、1人の術者が2分間連続して胸骨圧迫を行うことが一般的である。しかし、本研究では参加者の疲労を考慮して、1分間の休憩をおいてから再度1分間のMMによる胸骨圧迫を行うプロトコルで行った。従って、実臨床との乖離は否めないが、1分間でも適切な胸骨圧迫位置からの最強点のずれが生じていることから、2分間連続での胸骨圧迫ではなおさらずれを生じることが予測される。

次に、連続する胸骨圧迫の評価であるため、蓄積疲労の影響である。参加者はTMやHMで10回の圧迫のみを行った。参加者が最初に行った手技のMMによる疲労が、TMやHMの平均の速さが遅くなったことに影響している可能性は否定できない。また、TM

や HM が普段と違うやり方であったため遅くなった、もしくは適切な位置を意識することで遅くなった可能性も否定できない。本研究結果を検証するためには、さらなる研究が必要である。

第三に、44 人の参加者の内、左利きの参加者が 3 人しかいなかったため、利き手による違いを比較できなかったことである。以前の研究では、救助者の利き手が胸骨に接触しているほうが適切な位置を押すことができるという報告もあれば<sup>45)</sup>、利き手と非利き手の間には有意な差は認めなかったという報告もある<sup>46)</sup>。本研究では、右利きの参加者が多く、R-l または L-r がより適切な位置で押していたことから、利き手と適切な圧迫位置には関連性が示されなかった。

最後に、研究の各群の参加者数では有意差を認められなかった項目であっても、胸骨圧迫数では有意差が認められた。これは、本研究の対象者数が少なかったためと考えられる。本プロトコルで参加者数を拡大した大型研究が望まれる。

#### 4. 6. 小括

医療従事者 44 名を対象に、圧センサーシートを装着したマネキンを用いて、立ち位置と胸骨に接する手の相違による胸骨圧迫位置のずれを評価した。80%の参加者で適切な胸骨圧迫位置からの最強点のずれが認められ、60~90%が小指側に、30~50%が手関節側にずれを認めた。患者に対する立ち位置と接触する手の方向により、適正位置を圧迫しやす

くすることや、小指側を意識した圧迫をするように指導することなど、CPR の指導者は、適切な位置を教育する必要があると考えられた。

## 5. 研究 2 「標準的な CPR 中の血行動態のリアルタイムモニタリングによる動脈灌流及び静脈灌流の定量評価」

### 5.1. 背景

CPR の目的は、酸素化された血液を脳、心臓、そして全身に灌流させることである<sup>17,47)</sup>。特に主要臓器に血液を灌流させるためには、効果的な胸骨圧迫を継続することが不可欠である。しかし、胸骨圧迫時の血圧目標値は定義されていない。現行の蘇生ガイドラインでは、全ての患者に対して、手を添える位置、胸骨を圧する深さ、胸骨圧迫の速さなど、一律の胸骨圧迫の目標値を推奨しているに過ぎない<sup>17)</sup>。手の位置や胸骨圧迫の深さは胸骨圧迫の質を評価するための基準の一つではあるが、研究 1 より医療従事者でも 80%で適切な胸骨圧迫位置から最強点のずれをきたしていることが明らかとなった。また、患者の胸骨下半分の裏側にある構造物の多くは上行大動脈と左心房の上部であり<sup>48)</sup>、また患者の約 80%が剣状突起付近に左心室があることも示されており、現行の標準化された CPR ガイドラインで明示されている圧迫位置が必ずしも妥当ではない可能性がある<sup>49)</sup>。均一な深さと手の位置を強調した指導ガイドラインは、手技の標準化という点では有効であるが、必ずしも患者毎に最も効率的な胸骨圧迫を提供するとは限らない。そのため、場合によっては、胸骨圧迫で十分な臓器灌流を維持できず、ROSC が得られなかったり、神経学的転帰が悪くなったりすることがある。

加えて既に約 60 年の歴史をもつ胸骨圧迫について、胸骨圧迫実施中の血行動態と生理的な血行動態との関係は、意外にも未だ明らかにはされていない<sup>50)</sup>。体内の血流は、動脈圧と静脈圧の差である圧力の勾配によって生じるといわれている<sup>51)</sup>。胸骨圧迫では主に、生理的な血行動態と同一の順行性血流を生み出すと報告されている<sup>52)</sup>。しかし、胸骨圧迫により、生理的な血行動態の方向とは逆である、頸静脈や下大静脈に逆行している報告も認められる<sup>53)</sup>。用手または機械的胸骨圧迫で惹起される血行動態について、特に動脈圧や静脈圧の変化については明らかにされていない。同時に CPR 中の動脈や静脈の灌流状態と患者の転帰についても明らかにされていない。

本研究は、CPR 中の動脈および静脈の灌流圧を評価し、患者の転帰との関連を明らかにすることを目的とした。

## 5. 2. 方法

### 5. 2. 1. 研究デザイン

本研究は、単施設における前向き観察研究として、2017 年 5 月から 2020 年 6 月まで、当院の救急外来(Emergency Room; ER)で実施した。ROSC のある患者(またはその家族)から書面によるインフォームドコンセントを得た。ROSC を認めなかった患者からのインフォームドコンセントは、オプトアウト法で受動的に獲得した。本研究はヘルシンキ宣言を

遵守した。研究プロトコルは筑波大学附属病院倫理委員会の承認を得た(H27-084)。

### 5. 2. 2. 研究参加者

当院に搬送された 16 歳以上の非外傷性 OHCA 患者で、CPR 時に動脈圧および静脈圧の測定が可能であった患者を対象とした。蘇生を希望しない患者、測定を試みる前に ROSC した患者、体外循環式 CPR を受けた患者、測定が試みられなかった患者は除外した。

### 5. 2. 3. CPR

医師、看護師、救急救命士は、ER 到着後も CPR を継続し、2015 年の蘇生ガイドライン<sup>54)</sup>に基づいて実施した。胸骨圧迫は用手あるいは機械的胸骨圧迫装置を用いて実施された。救急救命士が機械的胸骨圧迫装置を使用していた場合は、ER 到着後も使用を継続した。使用した機械的胸骨圧迫装置は、AutoPulse™(AutoPulse Resuscitation System Model 100, Zoll Medical Corp. Chelmsford, MA, USA)、KOMSTAT™(KOMSTAT2300, コーケンメディカル, 東京, 日本)、Clover™(Clover3000, コーケンメディカル, 東京, 日本)、Lucas 2™または 3™(LUCAS2 または 3 Chest Compression System, JOLIFE AB Inc., Lund, Sweden)であった(図 8)。挿管後、患者を人工呼吸器(設定; 呼吸回数 10 回/分、一回換気量 8~10mL/kg、呼気終末圧 5cmH<sub>2</sub>O)に接続し、ガイドライン<sup>54)</sup>に従って胸骨圧迫を非同期で行った。リズムチェックは 2 分ごとに行われ、ROSC は CPR の中断後に触知



可能な脈が確認された場合と定義した<sup>55,56)</sup>。

#### 5.2.4. 動脈圧・静脈圧の連続測定

ER に到着後、できるだけ早く、超音波法をガイド下に Seldinger 法で 4Fr のイントロ  
デューサーシース(Radifocus Introducer II H、テルモ株式会社、東京)を大腿動脈と静脈  
に挿入した。動脈圧と静脈圧は連続して同時に記録した。全ての患者において挿入した大  
腿動脈・静脈へのカテーテルの適正位置留置は、ROSC 後の CT(コンピュータ断層撮影)ま  
たは CPR 停止後の死後 CT で確認した。

#### 5.2.5. データ収集

各患者データとして、年齢、性別、CA の場所、CA の目撃者、バイスタンダー CPR、救  
急隊到着時の初期波形、機械的胸骨圧迫装置の使用、ER 到着時の初期波形、最終生存確  
認から CPR 開始までの時間、救急隊出動から現場到着までの時間、救急隊出動から ER  
到着までの時間、CPR 施行時間、血圧連続測定時間について記録した。ER 到着時の動脈  
血液ガスと連続的な呼気終末二酸化炭素濃度(End tidal CO<sub>2</sub>; EtCO<sub>2</sub>)の値も記録した。大  
腿動脈と静脈の圧力波形は、CPR 中に測定が開始できた時点から触診可能な脈拍が存在す  
る直前、あるいは中止する直前まで連続して測定した。

### 5.2.6. 評価項目

主要評価項目は ROSC の成功率とした。副次評価項目は、24 時間後の生存率、1 ヶ月後の生存率、および CPC(cerebral performance category)スコア<sup>57)</sup>とした(表 5)。

### 5.2.7. データ解析

患者データは、必要に応じて平均値または比率で示した。カテゴリ変数と連続変数には、それぞれカイ二乗と t 検定を用いた。

MATLAB ver9.4 (R2018a) (MathWorks, マサチューセッツ州, アメリカ) を用いて圧力波形データを表すグラフを作成し、各胸骨圧迫で得られた大腿動脈と静脈の圧力波形の後述する収縮期と拡張期の値を抽出して解析した。

動脈の収縮期血圧(A sys, 胸骨圧迫の圧縮期に相当)、動脈の拡張期血圧(A dias, 胸骨圧迫の減圧期に相当)、静脈の収縮期血圧(V sys, 胸骨圧迫の圧縮期に相当)、静脈の拡張期血圧(V dias, 胸骨圧迫の減圧期に相当)、動脈と静脈の収縮期血圧の差( $\Delta$ Sys A-V)、動脈と静脈の拡張期血圧の差( $\Delta$ Dias A-V)、平均動脈圧(A mean)、平均静脈圧(V mean)、および平均動脈圧と静脈圧の差( $\Delta$ Mean A-V)を測定パラメータとして定義した(図 9)。

各パラメータの総測定時間の平均値を、ROSC した患者群(ROSC 群)と ROSC しなかった患者群(非 ROSC 群)で比較した。また、各パラメータの曲線下面積(Area under the curve; AUC)を求めた。さらに、AUC の最も高いパラメータの圧力を層別化し、ROSC 群

の患者割合に傾向があるか検定した(Cochran-Armitage 検定)。

検定はすべて両側検定とし、 $p$  値 $<0.05$  を統計学的に有意とした。すべての統計解析は、EZR ソフトウェア(自治医科大学附属さいたま医療センター, 日本, 埼玉)を用いて行った。

### 5.3. 結果

#### 5.3.1. 登録患者

調査期間中、11942 人の患者が救急車で当院に搬送された。211 人の OHCA 患者を登録し、57 人の患者にイントロデューサーシースを挿入した。しかし、7 人の患者で挿入に失敗したため、50 人の患者(男性,  $n=29$ , 患者年齢  $72\pm 16$  歳, 図 10)を対象とし、そのうち 16 人(32%)に ROSC を得た。ROSC 群と非 ROSC 群の間には、CA の目撃者有り、最終生存確認から CPR 開始までの時間、CPR 施行時間のみ有意差を認めた。ER 到着時の EtCO<sub>2</sub>、pH、乳酸値は、ROSC 群と非 ROSC 群で有意差は認められなかった。救急隊到着時、3 名(6%)の初期波形が VF を示していた。無脈性電気活動を示した 11 名の患者のうち、6 名(55%)に ROSC を得た。さらに、初期波形が心静止であった 36 人のうち、8 人(22%)に ROSC を得た。機械的胸骨圧迫装置は 27 人(54%)の患者に用いられた(表 6)。目標体温管理療法を行ったのは 1 人で、残りの患者は神経学的転帰が予後不良と判断され、積極的な治療は行われなかった。4 名の患者は 24 時間生存し、1 名の患者は 1 か月後

も生存し CPC スコア 4 で他病院に転院した。

### 5.3.2. 動脈圧・静脈圧波形

代表的な 7 症例の動脈圧及び静脈圧波形を示す(図 11)。図 11(a)(c)(e)(g)は動脈圧が静脈圧を凌駕した症例、図 11(b)(d)(f)は静脈圧が動脈圧を凌駕した症例である。また機械的胸骨圧迫装置を使用した場合、図 11(d)(f)のように静脈圧が動脈圧を凌駕する症例も存在した。従って、用手または機械的胸骨圧迫装置を用いた CPR では、動脈と静脈の両方に様々な血行動態の差異が認められた。

### 5.3.3. パラメータの平均値および AUC

$A_{sys}$ ,  $A_{dias}$ ,  $\Delta Sys A-V$ ,  $\Delta Dias A-V$ ,  $A_{mean}$ ,  $\Delta Mean A-V$  の平均値は、ROSC 群が非 ROSC 群よりも有意に高かった(表 7)。また、 $\Delta Mean A-V$  の平均値が最も高い AUC 値 (0.87)を示した。

### 5.3.4. 層別化

$\Delta Mean A-V$  平均値を 10mmHg 刻みで層別化したところ、19 人(38%)の患者で  $\Delta Mean A-V$  平均値がマイナス( $V_{mean}$  が  $A_{mean}$  よりも高い)であった。これらの患者は ROSC を得ることはできなかった(図 12)。またこれら 19 人の中で、機械的胸骨圧迫装置は 9 人

(47%)に使用されており、これは機械的胸骨圧迫装置を使用した 27 人中 33%に相当した。さらに、 $\Delta$ Mean A-V 平均値が増加すると、ROSC 率も増加することが観察された( $p = 0.00002$ 、図 12)。40-50mmHg の 2 名、30-40mmHg の 1 名、20-30mmHg の 1 名が 24 時間生存し、40-50mmHg の 1 名は CPC スコア 4 で他病院に転院した。

#### 5. 4. 考察

本研究では、胸骨圧迫時に静脈圧が高い患者が存在し、V mean 平均値が A mean 平均値よりも高かった患者は ROSC に至らなかった。また、 $\Delta$  Mean A-V 平均値が増加するほど、ROSC 率も増加することが確認された。これは標準的ガイドラインに則った正しい胸骨圧迫を実施したとしても、患者毎に評価すると、必ずしも効率的な胸骨圧迫を提供できていないことが明らかとなった。従って、本研究で実施したように、CPR 中に動脈圧及び静脈圧モニタリングを実施し、全身の灌流圧が最適になるように、患者毎に最も効率的な CPR を調整して行うことによって、蘇生率が向上する可能性があることが示唆される。

我々は、胸骨圧迫からの血流が胸郭を超えて大腿部に至るまでの圧力の変化を観察した。先行研究では、Paradis らが胸郭内の下行大動脈と右心房の圧力を測定し、胸骨圧迫時に心臓前後の圧差がゼロまたはマイナスであっても、冠動脈灌流圧が高く、ROSC を得た患者が多数存在することを報告した<sup>58)</sup>。この知見は、胸郭内で下行大動脈圧と右心房圧を測定したことによるもので、胸骨圧迫に伴う胸郭内圧の変化が胸郭内の動脈圧・静脈圧に影響

響を与えている可能性がある。しかし本研究では、胸骨圧迫による胸腔内圧の変化によって生まれた胸郭外への血圧変化を直接計測しており、脳や四肢末梢、その他の臓器への血流を推定する上で有用と考えられる。

本研究では、CPR 中の大腿動脈圧及び静脈圧の同時モニタリングを実施し、19 名(38%)の患者で V mean 平均値が A mean 平均値よりも高いことがわかった。また、CPR 中の  $\Delta$  Mean A-V 平均値が増加するほど、ROSC 率も増加することが明らかになった。CPR 中の動脈圧と静脈圧の関係については、未だ定説はなく、CPR 中は動脈圧が静脈圧よりも有意に高いという報告<sup>52)</sup>や、動脈圧と静脈圧は同等であるという報告がある<sup>59-61)</sup>。血流についても、胸骨圧迫時の血流は主に順方向であるという報告<sup>52)</sup>と、胸骨圧迫時に逆方向の血流も存在したという報告<sup>53,62-65)</sup>がある。

先行研究において、ブタを用いた実験では、胸骨圧迫時に下行大動脈や腎動脈で順行性血流が発生する一方で下大静脈や腎静脈で逆行性血流が発生し、圧迫解除時に動脈で逆行性血流が発生し静脈で順行性血流が発生していることを報告している<sup>65)</sup>。また胸骨圧迫中に動脈圧が低下すると、大動脈と頸動脈の血流が大きく減少し、時間経過で平均動脈圧と平均右房圧が同等となり、動脈圧が低下した状態で胸骨圧迫を行うと、順行性血流は非常に少なく、胸骨圧迫時に順行性に流れた血液のほとんどが圧迫解除時に逆行性に戻ると報告されている<sup>50)</sup>。図 13A に示すように、動脈圧が高く、静脈圧が低い場合、生理的な血行動態と同一の順行性血流が出現し、動脈圧が低くなると、胸骨圧迫中の順行性血流も少

なくなると考えられる。そして、図 13B に示すように、動脈圧が低く、静脈圧が高い場合、胸骨圧迫時の順行性血流が少なく、圧迫解除時に逆行性血流が出現した可能性がある。逆行性血流が出現すると、脳や心臓に酸素化された血液を効率よく灌流させることができず、ROSC 率の著しい低下を招くと考えられる。

本研究では、 $\Delta$  Mean A-V の平均値が大きくなるほど ROSC 率は上昇した。用手的胸骨圧迫と LUCAS2™ を用いた機械的胸骨圧迫を比較した動物実験によると、平均動脈圧と右心房圧の差は機械的胸骨圧迫(23~43mmHg)の方が用手的胸骨圧迫(12~23mmHg)よりも高値であり、頸動脈血流と ROSC 率は機械的胸骨圧迫の方が用手的胸骨圧迫よりも有意に高かった<sup>66)</sup>。収縮期血圧を目標とした CPR と標準的な CPR を比較した動物実験では、 $\Delta$  Mean A-V は、収縮期血圧を目標とした CPR(50mmHg)の方が標準的な CPR(40mmHg)よりも高値であった<sup>67-69)</sup>。同様に、ROSC 率も標準的な CPR より収縮期血圧を目標にした CPR の方が有意に高かった。生理学的な順行性血流は、 $\Delta$  Mean A-V 平均値が上昇するにつれて増加し、ROSC を得る可能性が高まることを示している。

生理学的には、健常者の A mean は 65mmHg 以上、中心静脈圧は 5~15mmHg である<sup>70)</sup>。従って、健常者の  $\Delta$  Mean A-V の平均値は 50mmHg 以上必要である。本研究では、 $\Delta$  Mean A-V の平均値が 50mmHg を超えていた患者は 1 人だけで、ROSC が得られた。従って、 $\Delta$  Mean A-V 平均値  $\geq$  50mmHg は、ROSC を得るための一つの目標値となりうる可能性がある。

本研究では、拡張期血圧を示す  $A_{dias}$  と冠動脈灌流圧を示す  $\Delta Dias A-V$  は、ROSC 群の方が非 ROSC 群より有意に高かった。しかし、 $A_{sys}$ 、 $\Delta Sys A-V$ 、 $A_{mean}$ 、 $\Delta Mean A-V$  の平均値は、 $A_{dias}$ 、 $\Delta Dias A-V$  の平均値よりも ROSC と関連する可能性が高く、 $\Delta Mean A-V$  は ROSC と強く関連していた。Paradis らは、胸郭内の下行大動脈圧と右心房圧の差を指す拡張期下行大動脈圧や冠動脈圧が転帰との間に最も強い相関関係を見出した<sup>58)</sup>。我々の研究では、 $\Delta Dias A-V$  と大腿部の  $A_{dias}$  も良い指標であった。しかし、我々は胸郭外の血圧を観察したため、全身灌流圧を示す  $\Delta Mean A-V$  が  $\Delta Dias A-V$  よりも ROSC との相関が高くなった可能性がある。これまでの動物実験でも、収縮期血圧を目標にした CPR は、標準的な CPR よりも ROSC 率が高いことが報告されている<sup>67-69)</sup>。拡張期血圧や冠動脈灌流圧に加えて、全身灌流圧やその他のさまざまな指標が CA の転帰に関連する可能性があり、最適な目標値を決定するためにさらなる研究が必要と考えられる。

深さ、速さ、胸郭を完全に戻すことが均一となっている機械的胸骨圧迫装置を用いた患者の3分の1で、 $V_{mean}$  平均値が  $A_{mean}$  平均値よりも高く ROSC を得られなかった。標準的な CPR を行う機械的胸骨圧迫装置を用いたとしても、図 11(d)のように高い動脈圧以上に静脈圧が高くなり、結果的に負の圧力勾配になり ROSC を得られない症例も認められた。本研究のように、CPR 中に動脈圧と静脈圧の両方を測定することで、末梢臓器灌流において、正あるいは負の圧力勾配の有無を評価することが可能となる。実際、静脈圧を測定することは臨床現場では一般的ではないが、本研究で示されたように、胸郭外にある大腿部



で容易に末梢の動脈圧及び静脈圧の測定が可能である。しかし、この技術が一般的に実施可能かどうかを検証するには、より多くの患者を対象とした研究が必要である。加えて胸骨圧迫の位置や深さを変更して、 $\Delta$  Mean A-V 平均値を大きくする胸骨圧迫を行い、動脈圧と静脈圧の関係改善によって ROSC 率を高められる可能性がある。CPR 中の胸郭外動脈圧・静脈圧の同時モニタリングは、患者の臓器灌流を最適にするように各々の患者に応じて胸骨圧迫を調整することに有用と考えられる。今後均一的な CPR ではなく、患者個々に合わせてカスタマイズされた CPR を行うことが重要であると思われる。

## 5. 5. 限界

本研究にはいくつかの限界がある。

まず、来院前を含む CA の初期段階における血行動態は不明であった。そのため、十分な血流を維持できたので ROSC 率が高かったのか、ROSC の可能性のある患者が CPR 中に十分な血流を維持できる可能性が高かったのかは明らかにできなかった。今後、動物実験モデルでの実証が必要である。

第二に、我々は胸骨圧迫中の臓器灌流を直接評価しておらず、大腿動静脈の圧変化を計測して、臓器灌流を推定しているに過ぎない。しかし、圧力が変化すれば血流変化が生じ、臓器灌流に影響を及ぼすことは明らかである<sup>51,61)</sup>。胸骨圧迫中の血流を正確に測定することは困難ではあるが、本研究で評価した大腿動静脈の圧力の変化により、前方または後方

の血流が生じたことが考えられる。

しかし血流量は血圧のみならず、血管抵抗にも依存する。時間経過した CA では血管抵抗が低下するが<sup>71)</sup>、例えば肺疾患の既往をもつ患者では肺血管抵抗が高いため、CPR で得られる血流は大きく変化する。本研究では、慢性肺疾患の既往がある患者が 4 名、CA の原因も肺疾患が 3 名であった。既往歴や原因疾患を限定した中での研究ではないため、今後 CA の原因疾患を限定した対象での研究が必要である。

本研究では血圧連続測定時間は有意差が出なかったものの、ROSC 群のほうが短い傾向であった。ROSC 直前の動脈圧が高い症例の平均値や、当初動脈圧が低値であってもアドレナリンで高値になった症例の平均値も含まれている。今後は CA からの時間や均一した測定時間での比較が必要である。

CPR で最も重要なのは ROSC ではなく、神経学的転帰すなわち脳蘇生であり、脳血流の評価が必要である。ほとんどの動物実験では、胸腔内および胸郭上の圧較差に着目していた<sup>61,67,68)</sup>。胸部入口には機能的な静脈弁が存在するため、我々の測定した圧力は胸部上の圧力を反映していない可能性があり、必ずしも脳血流を評価できていない可能性がある<sup>72)</sup>。

最後に、選択バイアスと ROSC 患者数の少なさが結果に影響している可能性がある。本研究の対象には、病院到着前に ROSC せず、長時間の CPR を受けて体外循環式 CPR の適応外だった若年層の患者も含まれており、長期転帰は極めて不良であった。Paradis ら

も評価項目として ROSC の成否を用い、長期転帰は評価していない<sup>58)</sup>。本研究結果は、より高い全身灌流圧で CPR を行うことが有効であることを示唆しており、将来的には、最も有効な灌流圧を得られるように患者毎に最適となる CPR の有用性を支持するものであると考えている。良好な転帰である患者の病院前での全身灌流圧を評価し、より高い全身灌流圧を生み出す CPR が、早期の ROSC と長期転帰の改善に寄与するのか、更なる研究が必要である。

## 5.6. 小括

CA 患者 50 名に対して、CPR 中の動脈圧・静脈圧モニタリングを実施し、ROSC との関連性を評価した。CPR 中に静脈圧が高くなった患者や、V mean が A mean より高かった患者は ROSC に至らなかった。動脈圧を維持し、静脈圧が上昇しないような胸骨圧迫が ROSC を得るには重要であることが示唆された。患者の ROSC 率の改善には、CPR 中の血行動態に関する更なる解明が必要である。

## 6. 今後の展望

本研究と、そこから得られた結果、及び今後の CPR に求められる課題を図 14 に示す。

研究 1 から、蘇生に当たる医療従事者に対して適切な位置の補正や教育が必要と考えられる。そのために適切な胸骨圧迫の位置を含む蘇生教育方法の質を見直す必要がある。また医療従事者が一般市民への CPR を指導する際に、簡単な口頭指示で質の高い Bystander CPR が可能になることが期待され、蘇生率向上が期待される。

本研究結果は、位置も詳細に評価した標準化された CPR を行い、かつ客観的に動脈圧と静脈圧の評価が可能であれば、より高い全身灌流圧で CPR を行うことが有効であることを示唆している。これは将来的に標準化された画一的な CPR のあり方から、患者毎の特性を把握した上での最も効率的な CPR、つまりカスタマイズ CPR の有用性を支持するものであると考えている。

しかし、CPR で最も重要なのは神経学的転帰すなわち脳蘇生であり、ROSC が得られても植物状態となるような転帰は好転しているとはいえない。OHCA 患者の神経学的予後を改善し、社会復帰率を改善することが CPR の重要な目的であり、早期の ROSC と長期生命学的及び神経学的転帰の改善には、より高い全身灌流圧を生み出す患者毎の最適な CPR が求められる。現場において、CPR 中の胸骨圧迫の質的評価と適正圧迫位置を含めたリアルタイムフィードバック、CPR の質の見直しができるように、CPR 中の適正な臓器灌流のモニタリングが今後必要と思われる。また、本研究を踏まえ胸骨圧迫を行う位置を変更

することでより高い全身灌流圧を生み出すことができるかの研究が必要である。

また、研究 2 で実施した CPR 中の大腿動・静脈圧のリアルタイムモニタリングでは、脳灌流圧を必ずしも反映せず、正しく脳血流を評価できていない可能性がある。CPR の本体が“心肺脳蘇生”と称されるごとく、CPR 中の脳灌流をリアルタイムに定量評価することが次の課題である。前述のような、CPR 中の適正な臓器灌流のモニタリングと同様に、脳灌流量の同時モニタリングを実施することにより、患者毎に適切で効率的な CPR が可能になる。また本研究のように大腿動・静脈圧という観血的なモニタリングだけでなく、非観血的に臓器灌流や脳灌流のリアルタイムモニタリングができるデバイスの開発および有用性の評価も必要である。CPR 中の臓器灌流・脳灌流をリアルタイムに評価し、現場でも効率的な胸骨圧迫の質の見直しをすることにより、脳蘇生率を高め、社会復帰の向上が期待される。

## 7. 総括

本研究では、CPR の質的評価として、胸骨圧迫中の手の位置の変化と胸郭に付与される圧の定量評価と(研究 1)、CPR 中の血行動態をリアルタイムにモニタリングして動脈圧・静脈圧の定量評価と ROSC 率の関係性の評価を行い(研究 2)、患者における効果的な CPR を実施するために必要な質的評価項目を探索した。

80%の医療従事者が胸骨下半分という適切な胸骨圧迫位置からの最重点のずれが認められ、60~90%が小指側にずれを認めた。CPR の指導者は、国際的に標準化された CPR の中で唯一細かく決められていない「胸骨圧迫中の手の位置」も、適正位置を圧迫しやすくすることや、小指側を意識した圧迫をすることなど、より細かく適切な位置を教育する必要があると考えられた。

しかし標準化された CPR や機械的胸骨圧迫装置を用いたとしても、胸骨圧迫中に V mean が A mean より高かった患者は ROSC を得ることはできなかった。A mean が高く V mean が小さくなる胸骨圧迫が ROSC を得るためには重要であった。胸骨圧迫の位置や深さの調整や、 $\Delta$ Mean A-V 平均値を拡大させるような胸骨圧迫を行うことで ROSC 率は向上する可能性がある。均一的な CPR ではなく、患者個々に合わせて最適な灌流圧を得られる CPR を行うことが重要である。

## 8. 謝辞

本研究の論文執筆にあたり、多大なる御指導と御鞭撻を賜りました、筑波大学大学院人間総合科学研究科疾患制御医学専攻救急・集中治療医学分野 井上貴昭 教授に心より感謝申し上げます。

研究 1 において、本研究に関わった筑波大学附属病院の医師、看護師、つくば市消防本部救急救命士の皆様に感謝申し上げます。また特にデータ解析に多大な御協力をいただきました京都府立医科大学救急医療学教室 松山匡先生に感謝申し上げます。

研究 2 において、多大な御協力をいただきました京都府立医科大学救急医療学教室 松山匡先生に感謝申し上げます。また、実際の診療にあたられた筑波大学附属病院救急・集中治療科の全てのスタッフに感謝申し上げます。

## 9. 出典

本学位論文では、Acute Med Surg. 8(1):e658, 2021 (doi.org/10.1002/ams2.658) 及び Resuscitation. S0300-9572(21)00424-X, 2021 (doi.org/10.1016/j.resuscitation.2021.10.019) に掲載された論文の内容を、John Wiley and Sons と Elsevier B.V.からの許可を得て、Copyright Clearance Center's RightsLink® service.で手続き後に再利用している。

## 10. 引用文献

- 1) Perkins GD, Handley AJ, Koster RW, et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 2. Adult basic life support and automated external defibrillation. Resuscitation 2015;95:81-99.
- 2) Virani SS, Alonso A, Benjamin EJ, et al. Heart Disease and Stroke Statistics-2020 Update: A Report From the American Heart Association. Circulation 2020;141:e139-e596.
- 3) Kiguchi T, Okubo M, Nishiyama C, et al. Out-of-hospital cardiac arrest across the World: First report from the International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR). Resuscitation 2020;152:39-49.
- 4) 総務省消防庁. 令和元年版救急・救助の現況.  
[https://www.fdma.go.jp/publication/rescue/items/kkkg\\_r02\\_01\\_kyukyu.pdf](https://www.fdma.go.jp/publication/rescue/items/kkkg_r02_01_kyukyu.pdf)  
(最終アクセス: 2021.9.7)
- 5) Keen WW. A Case of Total Laryngectomy (Unsuccessful) and a Case of Abdominal Hysterectomy (Successful) in Both of Which Massage of the Heart for Chloroform Collapse was Employed with Notes of Twenty-five Other Cases of Cardiac Massage. Therp. Gaz., 1904;30:216.
- 6) Stephenson HE Jr, Reid LC and Hinton JW. Some common denominators in 1200



cases of cardiac arrest. *Ann Surg* 1953;137:731-744.

- 7) Kouwenhoven WB, Jude JR, Knickerbocker GG: Closed – chest cardiac massage.

*JAMA* 1960;173:1064-1067

- 8) Safar P, Brown TC, Holtey WJ, et al. Ventilation and Circulation with Closed-Chest

Cardiac Massage in Man. *JAMA* 1961;176:574-576.

- 9) Anonymous. Standards for cardiopulmonary resuscitation (CPR) and emergency

cardiac care (ECC). II. Basic life support. *JAMA* 1974;227:833-868.

- 10) Anonymous. Standards and guidelines for cardiopulmonary resuscitation (CPR)

and emergency cardiac care (ECC). *JAMA* 1980;244:453–509.

- 11) Anonymous. Standards and guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation (CPR)

and Emergency Cardiac Care (ECC). National Academy of Sciences-National

Research Council. *JAMA* 1986;255:2905–2989.

- 12) Anonymous. Guidelines for cardiopulmonary resuscitation (CPR) and emergency

cardiac care (ECC). *JAMA* 1992;286:2135–2302.

- 13) Anonymous. American Heart Association in collaboration with International

Liaison Committee on Resuscitation. Guidelines 2000 for Cardiopulmonary

Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation* 2000;102:I1–I384.

- 14) American Heart Association. American Heart Association guidelines for

cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care: Part 4: Adult Basic Life Support. *Circulation* 2005;112:19-34.

15) Sayre MR, Koster RW, Botha M, et al. Part 5: Adult basic life support: 2010 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science With Treatment Recommendations. *Circulation* 2010;122:S298-324.

16) Travers AH, Perkins GD, Berg RA, et al. Part 3: Adult Basic Life Support and Automated External Defibrillation: 2015 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science With Treatment Recommendations. *Circulation* 2015;132:S51-83.

17) Olasveengen TM, Mancini ME, Perkins GD, et al. Adult Basic Life Support: 2020 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science With Treatment Recommendations. *Circulation* 2020; 142: S41-S91.

18) Cobb LA, Fahrenbruch CE, Walsh TR, et al. Influence of cardiopulmonary resuscitation prior to defibrillation in patients with out-of-hospital ventricular fibrillation. *JAMA* 1999; 281: 1182-1188.

19) Stiell IG, Wells GA, Field B, et al. Advanced cardiac life support in out-of-hospital

cardiac arrest. *N Engl J Med* 2004;351:647-656.

- 20) Anonymous. Cardiopulmonary resuscitation: statement by the Ad Hoc Committee on Cardiopulmonary Resuscitation, of the Division of Medical Sciences, National Academy of Sciences, National Research Council. *JAMA*. 1966;198:372-379.
- 21) Lowenstein SR, Sabyan EM, Lassen CF, et al. Benefits of training physicians in advanced cardiac life support. *Chest* 1986;89:512-516.
- 22) Sanders AB, Berg RA, Burrell M, et al. The efficacy of an ACLS training program for resuscitation from cardiac arrest in a rural community. *Ann Emerg Med* 1994;23:56-59.
- 23) Makker R, Gray-Siracusa K, Evers M. Evaluation of advanced cardiac life support in a community teaching hospital by use of actual cardiac arrests. *Heart Lung* 1995;24:116-120.
- 24) Camp BN, Parish DC, Andrews RH. Effect of advanced cardiac life support training on resuscitation efforts and survival in a rural hospital. *Ann Emerg Med* 1997;29:529-533.
- 25) Pottle A, Brant S. Does resuscitation training affect outcome from cardiac arrest? *Accid Emerg Nurs* 2000;8:46-51.
- 26) Dane FC, Russell-Lindgren KS, Parish DC, et al. In-hospital resuscitation:

- association between ACLS training and survival to discharge. *Resuscitation* 2000;47:83-87.
- 27) Moretti MA, Cesar LA, Nusbacher A, et al. Advanced cardiac life support training improves long-term survival from in-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 2007;72:458-465.
- 28) Sodhi K, Singla MK, Shrivastava A. Impact of advanced cardiac life support training program on the outcome of cardiopulmonary resuscitation in a tertiary care hospital. *Indian J Crit Care Med* 2011;15:209-212.
- 29) Mancini ME, Soar J, Bhanji F, et al. Part 12: Education, implementation, and teams: 2010 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science With Treatment Recommendations. *Circulation* 2010;122:S539-581.
- 30) Bhanji F, Mancini ME, Sinz E, et al. Part 16: education, implementation, and teams: 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation* 2010;122:S920-933.
- 31) 岡田和夫. JRC (日本蘇生協議会) ガイドライン 2015 に向けて. *日本臨牀*. 2016;74:337-344.
- 32) 菱谷隆. 心肺蘇生法の歴史と今後の展望. *日本小児循環器学会雑誌*. 2009;25:766-774.

- 33) 佐藤忠義. 救急法(心肺蘇生法)教育. 蘇生. 1996;14:147-150.
- 34) 青野允. 蘇生法の国際基準を目指して：わが国の現状. 朝日メディカル. 1999;3:70-71.
- 35) International Liaison Committee on Resuscitation. 2005 International Consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. Part 2: adult basic life support. Resuscitation. 2005;67:187–201.
- 36) Handley AJ, Monsieurs KG, Bossaert LL. European Resuscitation Council Guidelines 2000 for adult basic life support. Resuscitation. 2001;48:199–205.
- 37) Owen A, Harvey P, Kocierz L, et al. A randomised control trial comparing two techniques for locating chest compression hand position in adult Basic Life Support. Resuscitation 2011;82:944-946.
- 38) Kralj E, Podbregar M, Kejžar N, et al. Frequency and number of resuscitation related rib and sternum fractures are higher than generally considered. Resuscitation 2015;93:136–141.
- 39) Baubin M, Kollmitzer J, Pomaroli A et al. Force distribution across the heel of the hand during simulated manual chest compression. Resuscitation 1997;35:259–263.
- 40) Minami K, Kokubo Y, Maeda I, et al. Analysis of actual pressure point using the power flexible capacitive sensor during chest compression. J Anesth 2017;31:152–

155.

- 41) Hanbyul C, Christopher CL, Ho JK, et al. Identifying the optimal hand placement site for chest compression by measuring hand width and sternal length in young adults. *Am J Emerg Med.* 2016;34:407-411.
- 42) You JS, Kim H, Park JS et al. Relative effectiveness of dominant versus non-dominant hand position for rescuer's side of approach during chest compressions between right-handed and left-handed novice rescuers. *Emerg Med J* 2015;32:184–188.
- 43) Wang J, Tang C, Zhang L, et al. Compressing with dominant hand improves quality of manual chest compressions for rescuers who performed suboptimal CPR in manikins. *Am J Emerg Med* 2015;33:931–936.
- 44) Curran R, Sorr S, Aquino E. Potential wrist ligament injury in rescuers performing cardiopulmonary resuscitation. *J Emerg Trauma Shock* 2013;6:123–125.
- 45) Kundra P, Dey S, Ravishankar M. Role of dominant hand position during external cardiac compression. *Br J Anaesth* 2000;84:491–493.
- 46) Nikandish R, Shahbazi S, Golabi S, et al. Role of dominant versus non dominant hand position during uninterrupted chest compression CPR by novice rescuers: a randomized double-blind crossover study. *Resuscitation* 2008;76:256–260.

- 47) Chalkias A, Arnaoutoglou E, Xanthos T. Personalized physiology-guided resuscitation in highly monitored patients with cardiac arrest-the PERSEUS resuscitation protocol. *Heart Fail Rev* 2019;24:473-480.
- 48) Pickard A, Darby M, Soar J. Radiological assessment of the adult chest: implications for chest compressions. *Resuscitation* 2006;71:387-390.
- 49) Cha KC, Kim YJ, Shin HJ, et al. Optimal position for external chest compression during cardiopulmonary resuscitation: an analysis based on chest CT in patients resuscitated from cardiac arrest. *Emerg Med J* 2013;30:615-619.
- 50) Lampe JW, Yin T, Bratinov G, et al. Effect of compression waveform and resuscitation duration on blood flow and pressure in swine: One waveform does not optimally serve. *Resuscitation* 2018;131:55-62.
- 51) Chalkias A, Xanthos T. Pathophysiology and pathogenesis of post-resuscitation myocardial stunning. *Heart Fail Rev* 2012;17:117-128.
- 52) Werner JA, Greene HL, Janko CL, et al. Visualization of cardiac valve motion in man during external chest compression using two-dimensional echocardiography. Implications regarding the mechanism of blood flow. *Circulation* 1981;63:1417-1421.
- 53) Rutty GN, Robinson C, Amoroso J, et al. Could post-mortem computed tomography

angiography inform cardiopulmonary resuscitation research? Resuscitation  
2017;121:34-40.

54) Link MS, Berkow LC, Kudenchuk PJ, et al. Part 7: Adult Advanced Cardiovascular  
Life Support: 2015 American Heart Association Guidelines Update for  
Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. Circulation  
2015;132:S444-464.

55) Parnia S, Yang J, Nguyen R, et al. Cerebral oximetry during cardiac arrest: a  
multicenter study of neurologic outcomes and survival. Crit Care Med  
2016;44:1663-1674.

56) Perkins GD, Jacobs IG, Nadkarni VM, et al. Cardiac arrest and cardiopulmonary  
resuscitation outcome reports: Update of the Utstein Resuscitation Registry  
Templates for Out-of-Hospital Cardiac Arrest: A statement for healthcare  
professionals from a task force of the International Liaison Committee on  
Resuscitation (American Heart Association, European Resuscitation Council,  
Australian and New Zealand Council on Resuscitation, Heart and Stroke  
Foundation of Canada, InterAmerican Heart Foundation, Resuscitation Council of  
Southern Africa, Resuscitation Council of Asia); and the American Heart  
Association Emergency Cardiovascular Care Committee and the Council on



- Cardiopulmonary, Critical Care, Perioperative and Resuscitation. *Circulation* 2015;132:1286–1300.
- 57) 総務省消防庁. ウツタイン統計作業部会報告書(平成 20 年度救急統計活用検討会報告書 2009. [http://www.fdma.go.jp/html/intro/form/pdf/kyuukyutoukei\\_houkoku.pdf](http://www.fdma.go.jp/html/intro/form/pdf/kyuukyutoukei_houkoku.pdf) (最終アクセス: 2021.11.08)
- 58) Paradis NA, Martin GB, Rivers EP, et al. Coronary perfusion pressure and the return of spontaneous circulation in human cardiopulmonary resuscitation. *JAMA* 1990;263:1106-1113.
- 59) Weale FE, Rothwell-Jackson RL. The efficiency of cardiac massage. *Lancet* 1962;279:990-992.
- 60) Mackenzie GJ, Taylor SH, McDonald AH, et al. Haemodynamic effects of external cardiac compression. *Lancet* 1964;9:162-163.
- 61) Rudikoff MT, Maughan WL, Effron M, et al. Mechanisms of blood flow during cardiopulmonary resuscitation. *Circulation* 1980;61:345-352.
- 62) Kim H, Hwang SO, Lee CC, et al. Direction of blood flow from the left ventricle during cardiopulmonary resuscitation in humans: its implications for mechanism of blood flow. *Am Heart J* 2008;156:1222.e1-7.
- 63) Niemann JT, Rosborough JP, Hausknecht M, et al. Pressure-synchronized

cineangiography during experimental cardiopulmonary resuscitation. *Circulation* 1981;64:985-991.

64) Ma MHM, Hwang JJ, Lai LP, et al. Transesophageal echocardiographic assessment of mitral valve position and pulmonary venous flow during cardiopulmonary resuscitation in humans. *Circulation* 1995;92:854-861.

65) Lampe JW, Tai Y, Bratinov G, et al. Developing a kinematic understanding of chest compressions: the impact of depth and release time on blood flow during cardiopulmonary resuscitation. *Biomed Eng Online* 2015;14:1-6.

66) Liao Q, Sjöberg T, Paskevicius A, et al. Manual versus mechanical cardiopulmonary resuscitation. An experimental study in pigs. *BMC Cardiovasc Disord* 2010;10:1-8.

67) Friess SH, Sutton RM, Bhalala U, et al. Hemodynamic directed cardiopulmonary resuscitation improves short-term survival from ventricular fibrillation cardiac arrest. *Crit Care Med* 2013;41:2698-2704.

68) Sutton RM, Friess SH, Bhalala U, et al. Hemodynamic directed CPR improves short-term survival from asphyxia-associated cardiac arrest. *Resuscitation* 2013;84:696-701.

69) Sutton RM, Friess SH, Naim MY, et al. Patient-centric blood pressure-targeted cardiopulmonary resuscitation improves survival from cardiac arrest. *Am J Respir*

Crit Care Med 2014;190:1255-1262.

- 70) Vinayak AG, Levitt J, Gehlbach B, et al. Usefulness of the external jugular vein examination in detecting abnormal central venous pressure in critically ill patients.

Arch Intern Med 2006;166:2132-2137.

- 71) Okuma Y, Yagi T, Yin T, et al. Effect of Adrenaline on Cerebral Blood Oxygenation Measured by NIRS in a Rat Asphyxia Cardiac Arrest Model. Adv Exp Med Biol.

2021;1269:277-281

- 72) Koyama Y, Inoue Y, Hisago S, et al. Improving the neurological prognosis following OHCA using real-time evaluation of cerebral tissue oxygenation. Am J Emerg Med

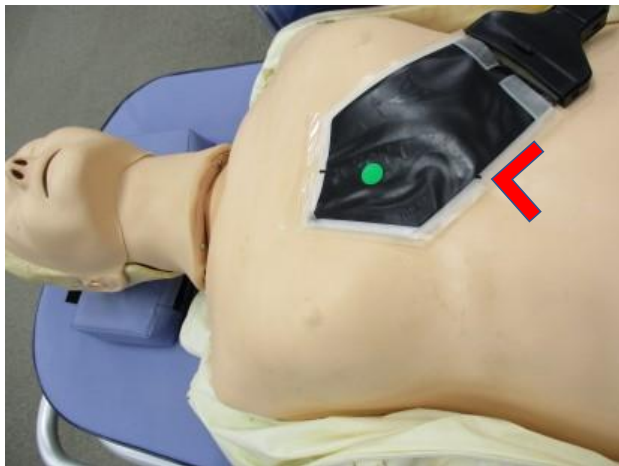
2018;36:344.e5-7.

## 11. 図表



図 1: リアルタイムフィードバック装置  
CPR アシスト™(CPR-1100, 日本光電, 東京都新宿区)

A)



B)

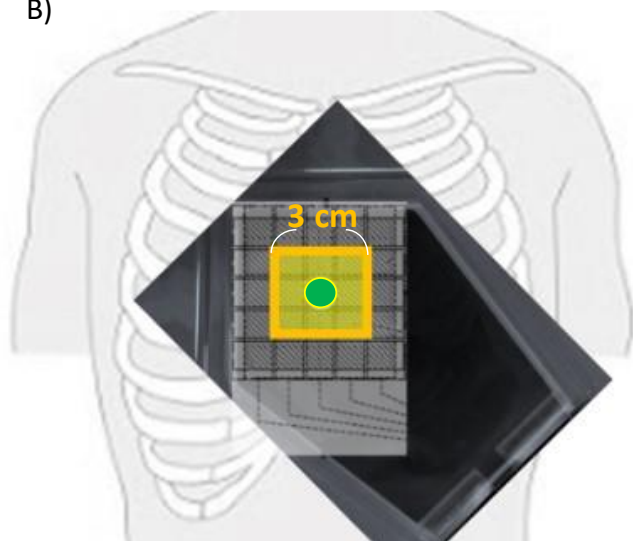


図 2: 圧力センサーシートの配置と仕様

- A) CPR トレーニングマネキンの胸骨下半分に圧力センサーシート(しんのすけくん<sup>TM</sup>)を設置した。緑色点は中心マークを、赤印は剣状突起と両側肋骨下縁を示している。
- B) マス目は測定面積( $5 \times 5 \text{cm}^2$ )を表し、緑色点は中心マークを、黄色部分は胸骨圧迫時の適切な位置( $3 \times 3 \text{cm}^2$ )を示している。

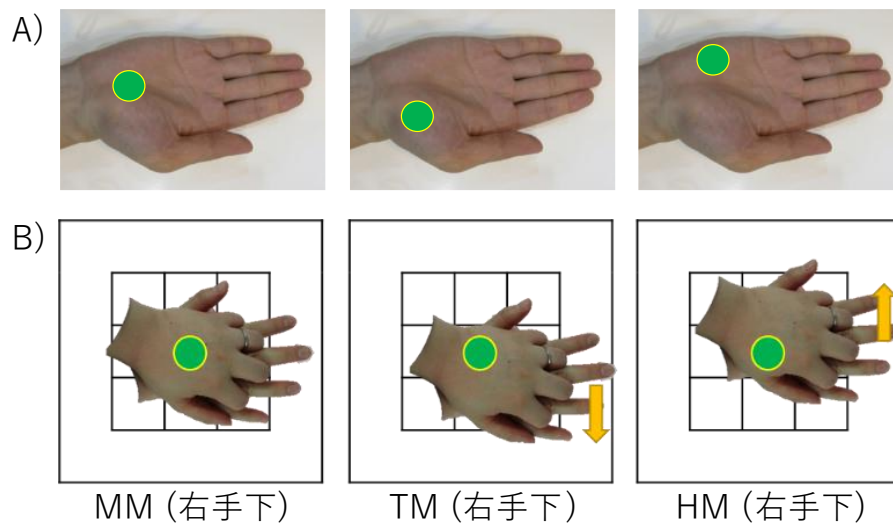


図 3: 胸骨圧迫の方法

A) 胸骨に接触させる右手と目標を押す場所

左: MM, 今まで教わってきた標準化 CPR の指導指針の通り胸骨下半分を押す通常法

中: TM, 母指球で目標を押すようにした母指球法

右: HM, 小指球で目標を押すようにした小指球法

B) 立ち位置(マネキンの右側)と胸骨に右手を接触させた状態を示している

左: MM, 中心マークを目標とした通常の方法で押している

中: TM, 接触している右手が小指側に移動し母指球で中心マークを押している

右: HM, 接触している右手が母指側に移動し小指球で中心マークを押している

緑色点は中心マークを示している。

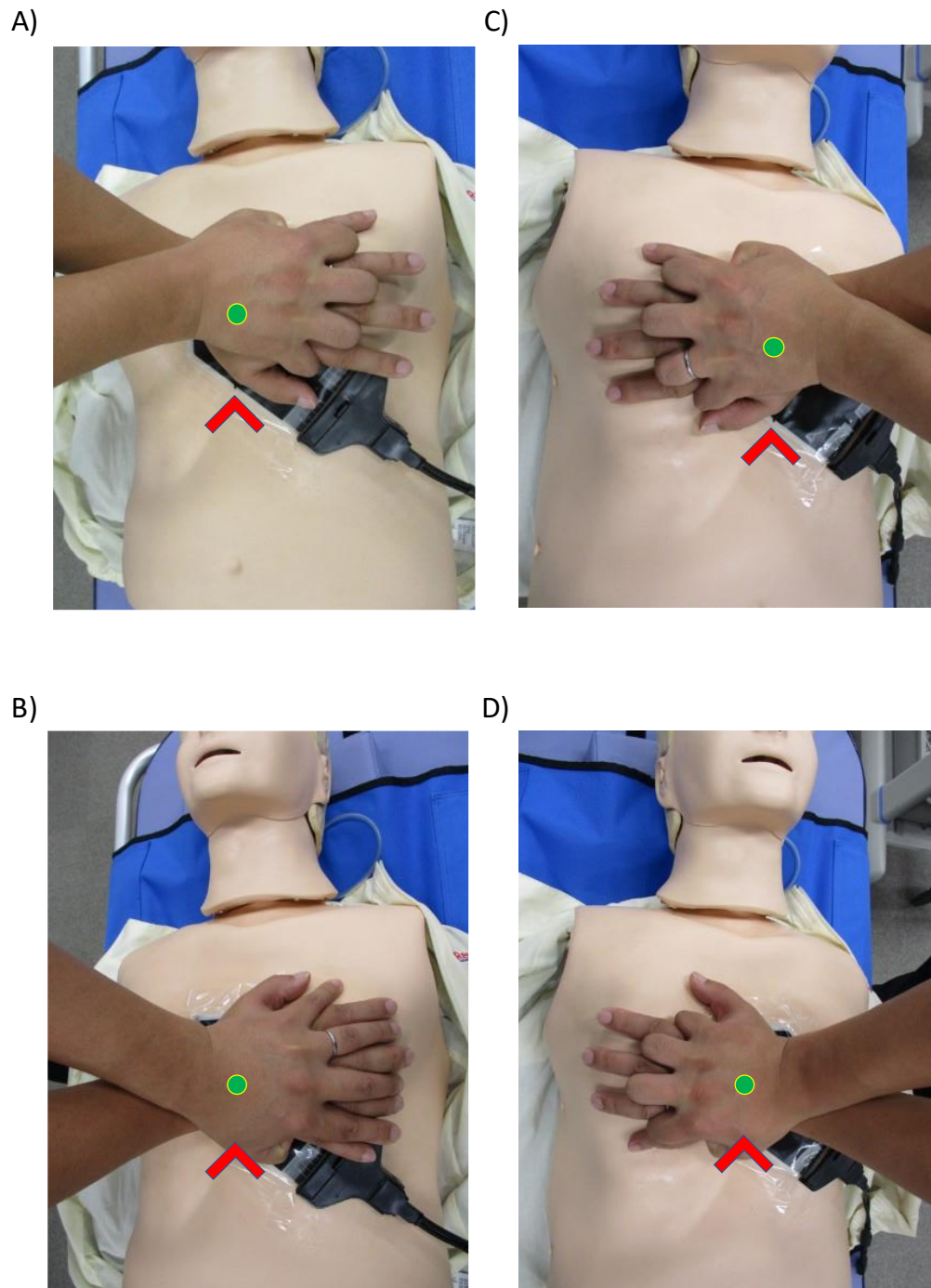
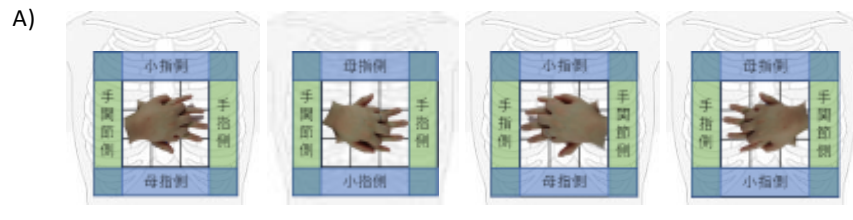


図4: 立ち位置と胸骨に接触した手で分けた群

- A) 右-左 (R-l) 群, マネキンの右側から胸骨に左手を接触して胸骨圧迫を行う
  - B) 右-右 (R-r) 群, マネキンの右側から胸骨に右手を接触して胸骨圧迫を行う
  - C) 左-右 (L-r) 群, マネキンの左側から胸骨に右手を接触して胸骨圧迫を行う
  - D) 左-左 (L-l) 群, マネキンの左側から胸骨に左手を接触して胸骨圧迫を行う
- 緑色点は中心マークを、赤印は剣状突起と両側肋骨下縁を示している。



B)

| 立ち位置 -<br>胸骨に接触している手 | 右-左<br>(R-l) |      | 右-右<br>(R-r) |      | 左-右<br>(L-r) |      | 左-左<br>(L-l) |      |          |
|----------------------|--------------|------|--------------|------|--------------|------|--------------|------|----------|
| 参加者数, n              | 20           |      | 24           |      | 23           |      | 21           |      |          |
| 位置                   |              |      |              |      |              |      |              |      | $\rho$ 値 |
| 適切, n (%)            | 5            | (25) | 3            | (13) | 5            | (22) | 2            | (10) | 0.797    |
| 不適切, n (%)           | 15           | (75) | 21           | (87) | 18           | (78) | 19           | (90) |          |
| 母指側 n (%)            | 0            | (0)  | 0            | (0)  | 1            | (4)  | 0            | (0)  |          |
| 小指側 n (%)            | 13           | (65) | 19           | (79) | 14           | (61) | 19           | (90) |          |
| 手指側 n (%)            | 0            | (0)  | 2            | (8)  | 2            | (9)  | 0            | (0)  |          |
| 手関節側 n (%)           | 9            | (45) | 12           | (50) | 10           | (43) | 6            | (29) |          |
| 胸骨圧迫数 n              | 2130         |      | 2494         |      | 2616         |      | 2188         |      |          |
| 位置                   |              |      |              |      |              |      |              |      | $\rho$ 値 |
| 適切, n (%)            | 700          | (33) | 357          | (14) | 674          | (26) | 209          | (10) | <0.001   |
| 不適切, n (%)           | 1430         | (67) | 2137         | (86) | 1942         | (74) | 1979         | (90) |          |
| 母指側 n (%)            | 0            | (0)  | 0            | (0)  | 99           | (4)  | 0            | (0)  |          |
| 小指側 n (%)            | 1093         | (51) | 1911         | (77) | 1333         | (51) | 1974         | (90) |          |
| 手指側 n (%)            | 1            | (0)  | 108          | (4)  | 210          | (8)  | 5            | (0)  |          |
| 手関節側 n (%)           | 1076         | (51) | 970          | (39) | 1078         | (41) | 656          | (30) |          |

図 5: MM による主要評価項目

A) 立ち位置と胸骨に接触している手の状態と不適切な位置の定義

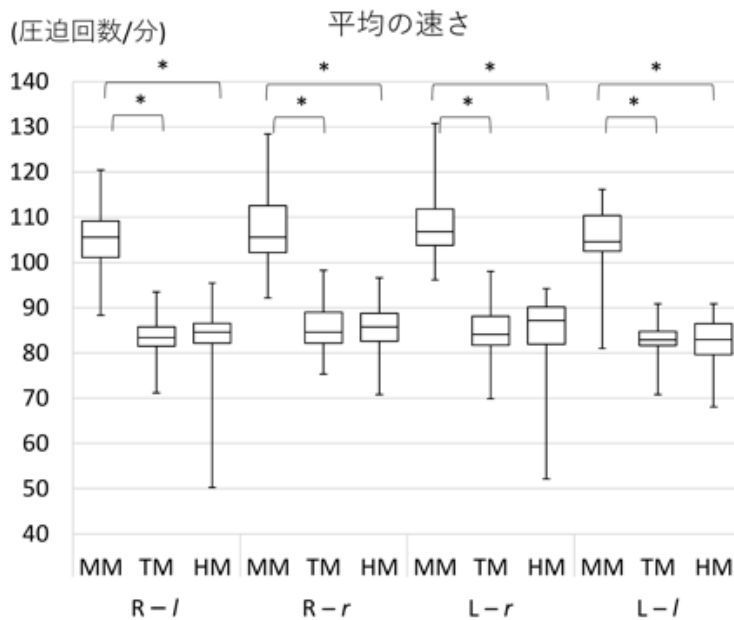
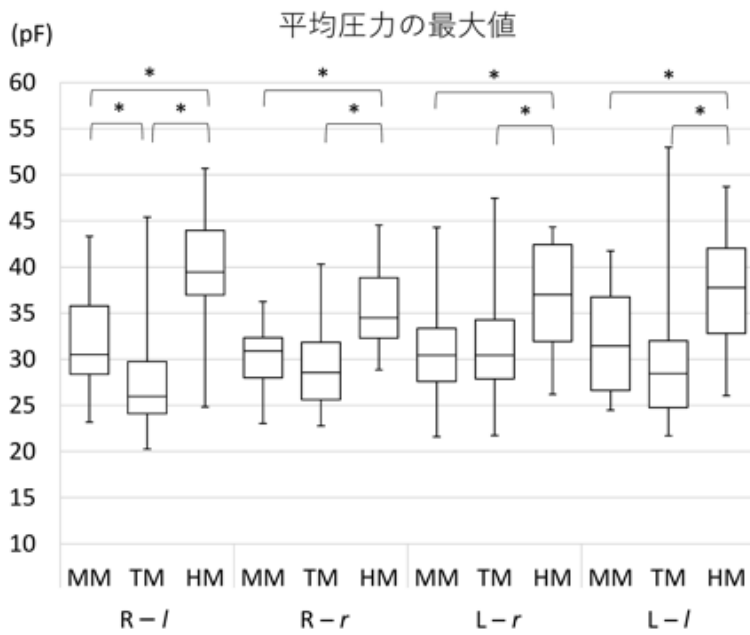
胸骨に接触させた手の手前側を手関節側、手指の先端側を手指側、手の母指側を母指側、手の小指側を小指側と定義した。

B) 上部: 主要評価項目の結果

下部: MM による各胸骨圧迫で各センサーにかかる圧力が最大となった位置の割合

MM, Manual Method





\* $p < 0.05$

図 6: 平均圧力の最大値と平均の速さ

全群における各方法でのセンサーにかかる平均圧力の最大値と平均の速さ

HM, Hypothenar Method; MM, Manual Method; TM, Thenar Method

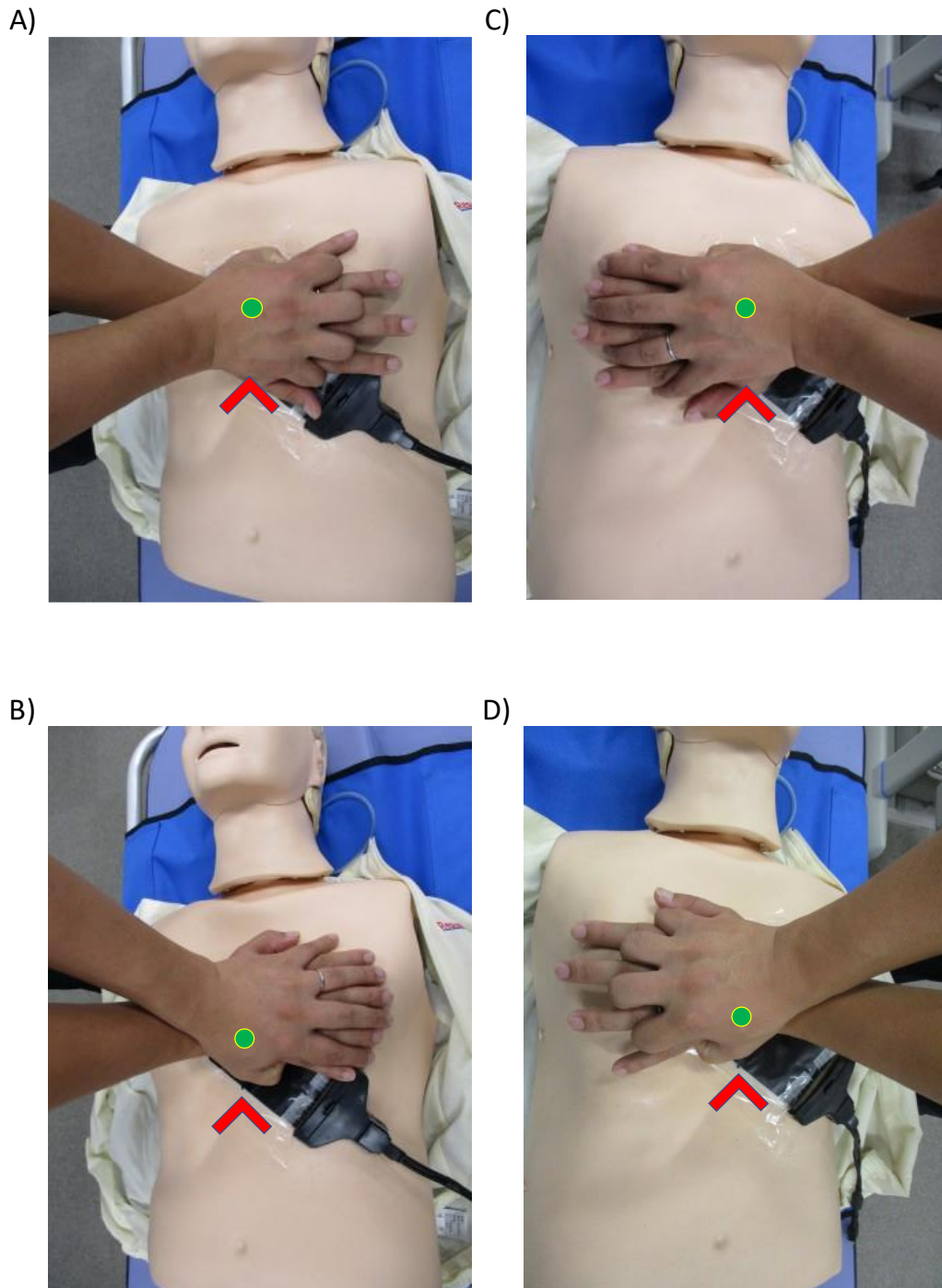


図 7: 推奨する胸骨圧迫の方法

- A) マネキンの右側から胸骨に左手を接触して HM を用いて胸骨圧迫を行う
  - B) マネキンの右側から胸骨に右手を接触して HM を用いて胸骨圧迫を行う
  - C) マネキンの左側から胸骨に右手を接触して HM を用いて胸骨圧迫を行う
  - D) マネキンの左側から胸骨に左手を接触して HM を用いて胸骨圧迫を行う
- HM, Hypothernar Method

A)



B)



C)



D)



E)



图 8: 机械的胸骨压迫装置

A) AutoPulse™

B) KOMSTAT™

C) Clover™

D) Lucas 2™

E) Lucas 3™

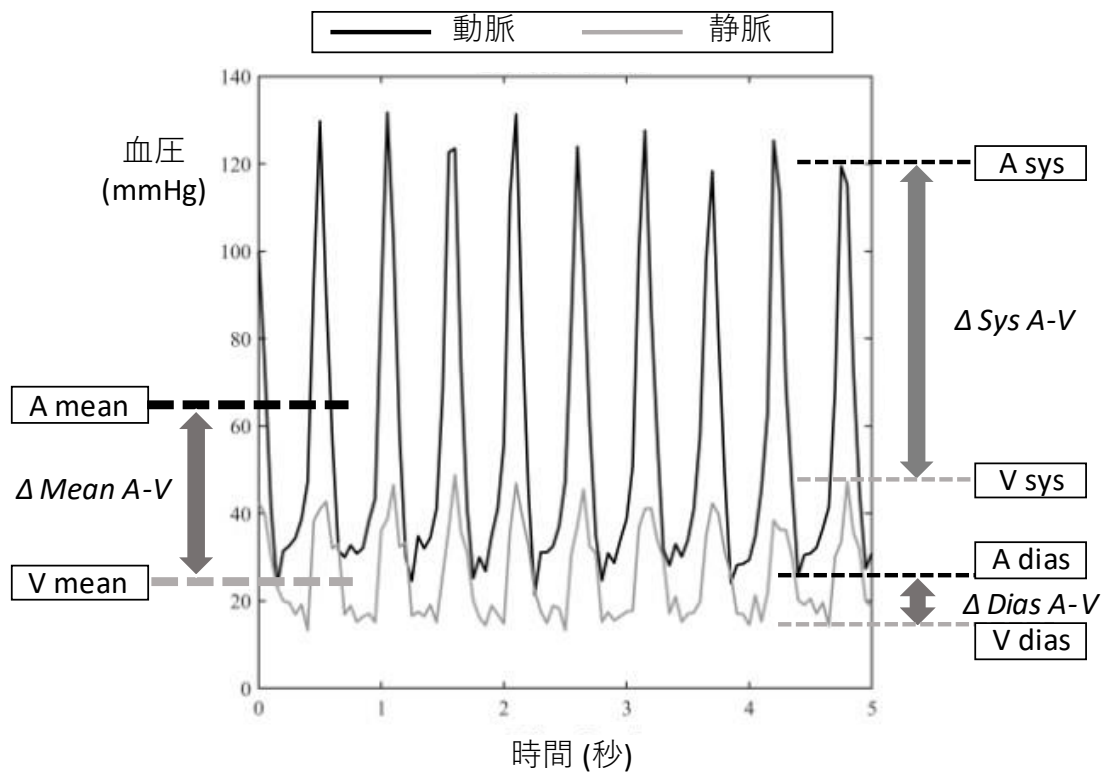


図 9: CPR 中の大腿動脈・静脈の圧力波形

A sys, 動脈の収縮期血圧(胸骨圧迫の圧縮期に相当); A dias, 動脈の拡張期血圧(胸骨圧迫の減圧期に相当); A mean, 平均動脈圧; V sys, 静脈の収縮期血圧(胸骨圧迫の圧縮期に相当);

V dias, 静脈の拡張期血圧(胸骨圧迫の減圧期に相当); V mean, 平均静脈圧;

$\Delta Sys A-V$ , 動脈と静脈の収縮期血圧の差;  $\Delta Dias A-V$ , 動脈と静脈の拡張期血圧の差;

$\Delta Mean A-V$ , 平均動脈圧と静脈圧の差

CPR, cardiopulmonary resuscitation

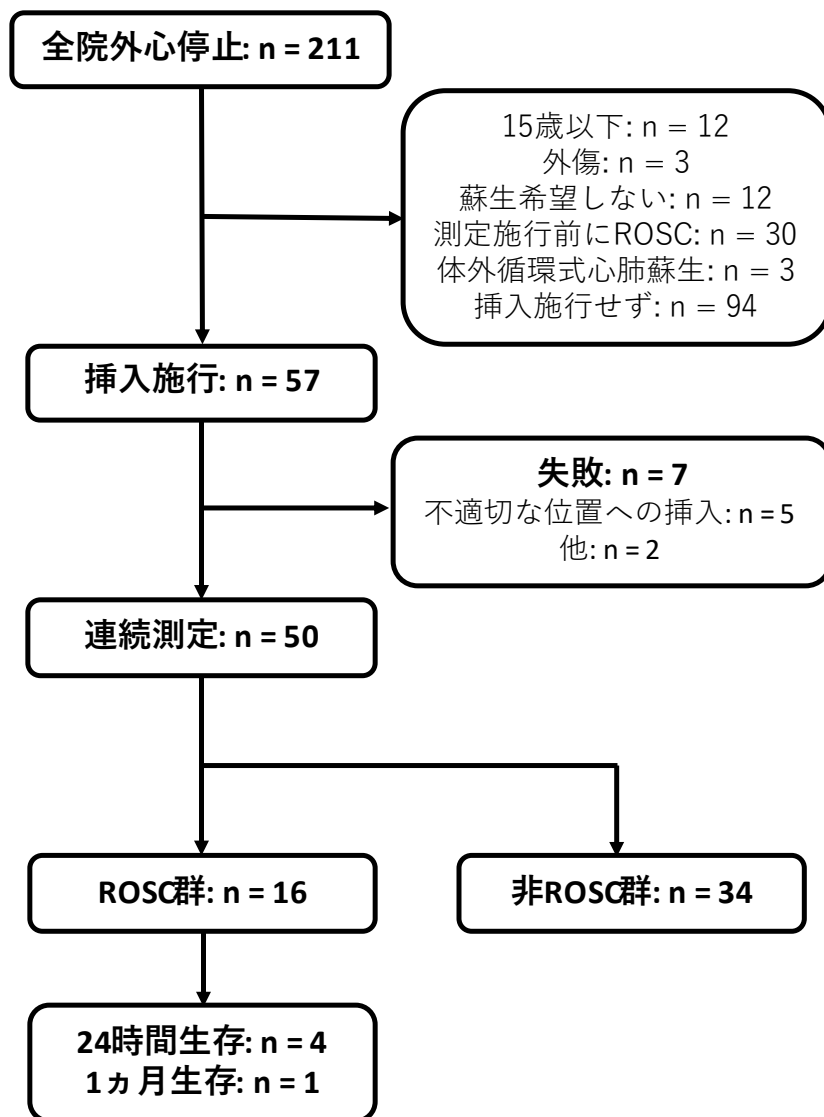
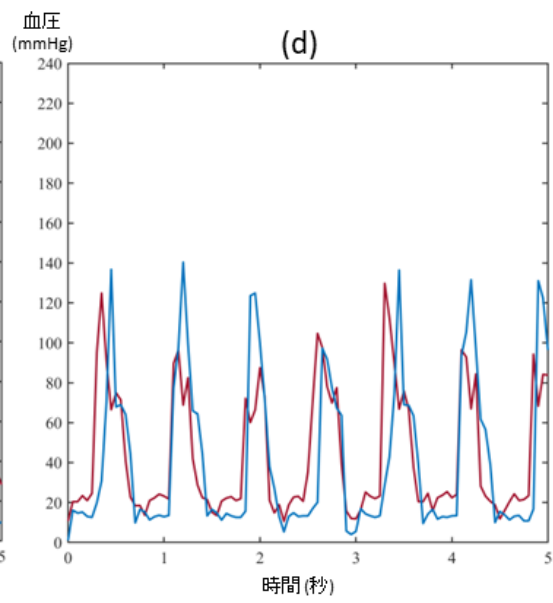
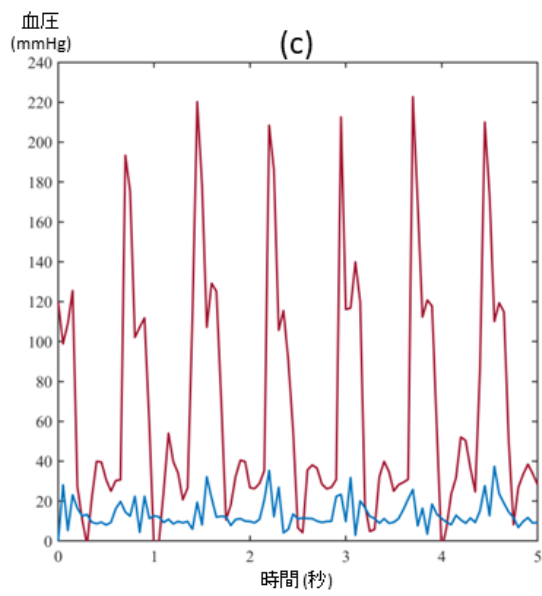
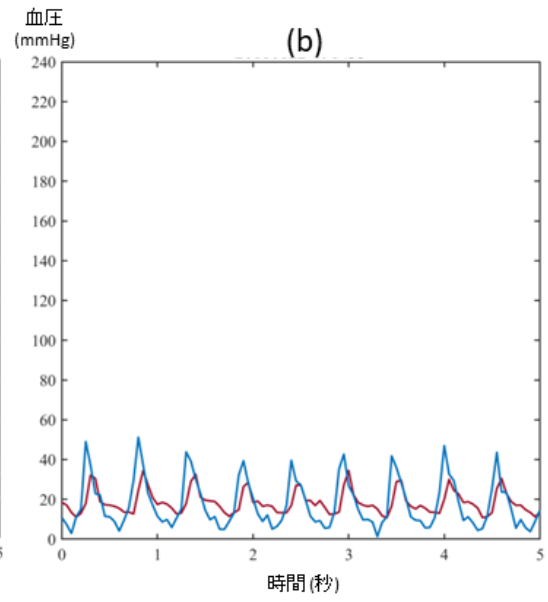
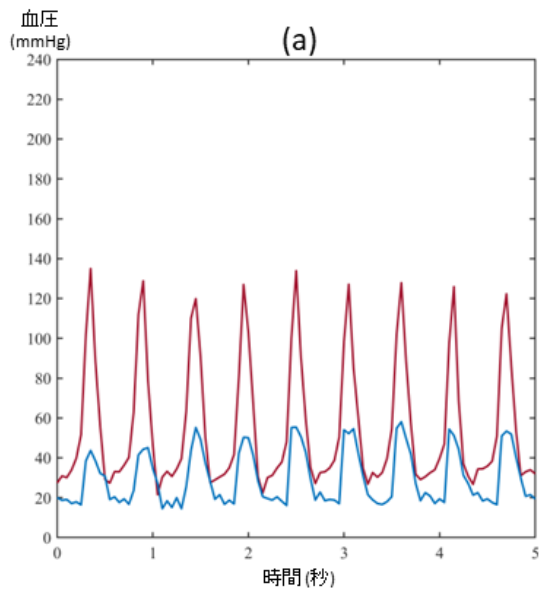


図 10: 患者フローチャート  
ROSC, Return of spontaneous circulation



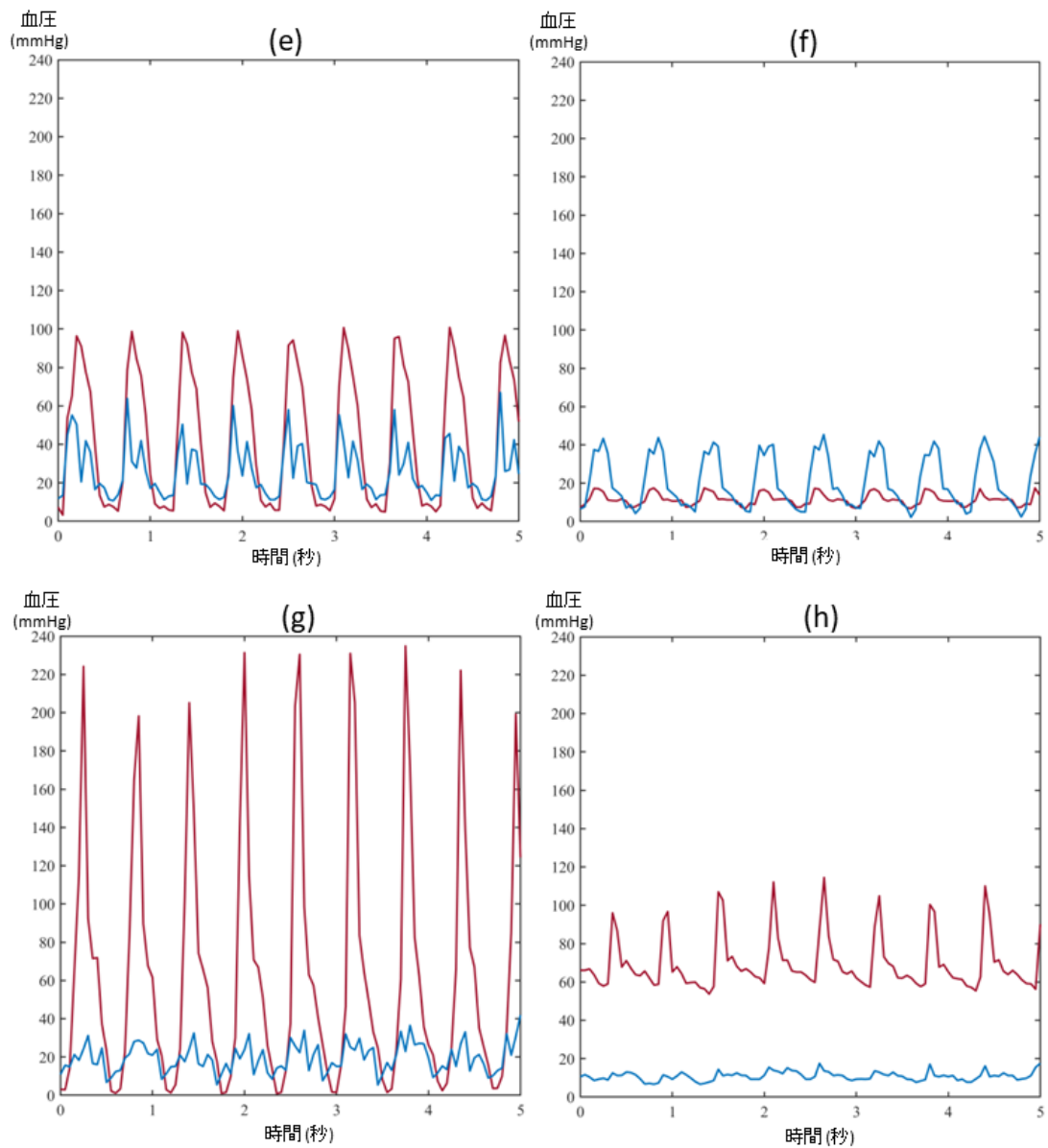
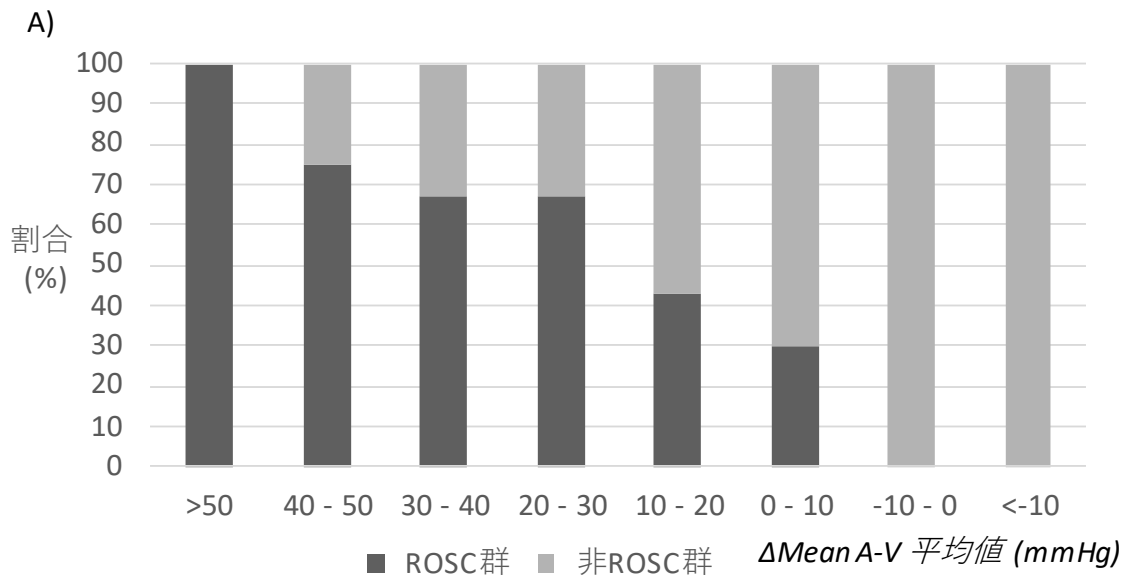


図 11: 大腿動脈・静脈の圧力波形の症例

赤波形は動脈圧波形、青波形は静脈圧波形を示す。

- (a) 89 歳女性 用手による胸骨圧迫, (b) 87 歳男性 用手による胸骨圧迫, (c) 86 歳男性 機械的胸骨圧迫(AutoPulse™), (d) 81 歳男性 機械的胸骨圧迫(AutoPulse™), (e) 88 歳女性 機械的胸部圧迫(KOMSTAT 2300™), (f) 44 歳男性 機械的胸部圧迫(KOMSTAT 2300™), (g) 60 歳女性 機械的胸部圧迫(LUCAS 3™), (h) 図(g)と同じ女性の ROSC 後の波形



B)

| mmHg       | >50 | 40 - 50 | 30 - 40 | 20 - 30 | 10 - 20 | 0 - 10 | -10 - 0 | <-10 |
|------------|-----|---------|---------|---------|---------|--------|---------|------|
| ROSC群 (n)  | 1   | 3       | 2       | 4       | 3       | 3      | 0       | 0    |
| 非ROSC群 (n) | 0   | 1       | 1       | 2       | 4       | 7      | 16      | 3    |

図 12:  $\Delta$  Mean A-V の平均値を 10mmHg で層別化した ROSC 率と ROSC 患者数の推移

A) ROSC 率のグラフ

B) ROSC が得られた患者数と ROSC が得られなかった患者数の推移

$\Delta$  Mean A-V, 平均動脈圧と静脈圧の差

ROSC, Return of spontaneous circulation



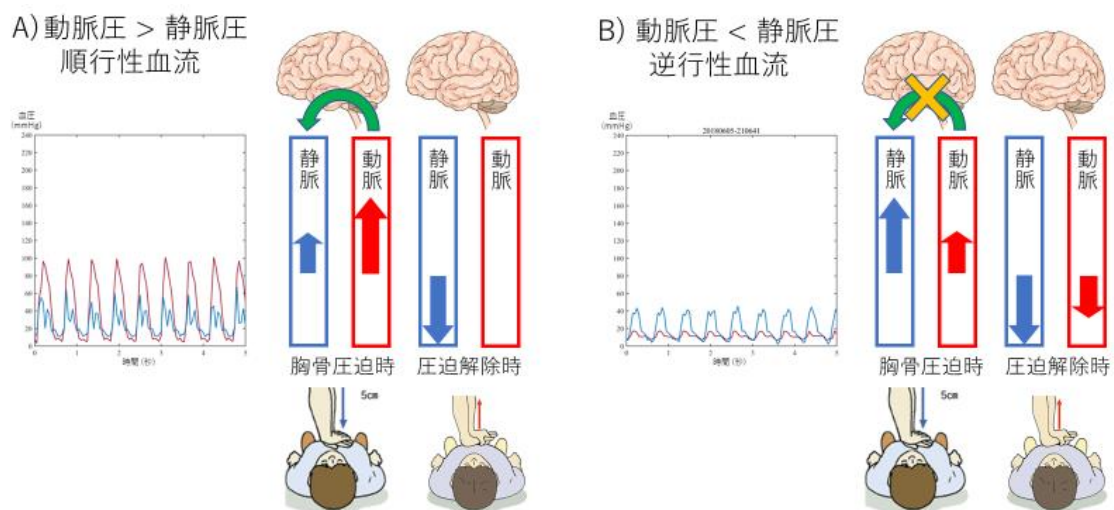


図 13: 胸骨圧迫中の順行性血流と逆行性血流

- A) 動脈圧が静脈圧より高い場合、生理的な血行動態と同一の順行性血流が出現し、肺で酸素化された血液を脳や心臓に灌流させることができる。
- B) 動脈圧が静脈圧より低い場合、胸骨圧迫時の順行性血流が少なく、圧迫解除時に逆行性血流が出現し、肺で酸素化された血液を脳や心臓に灌流させることができない。

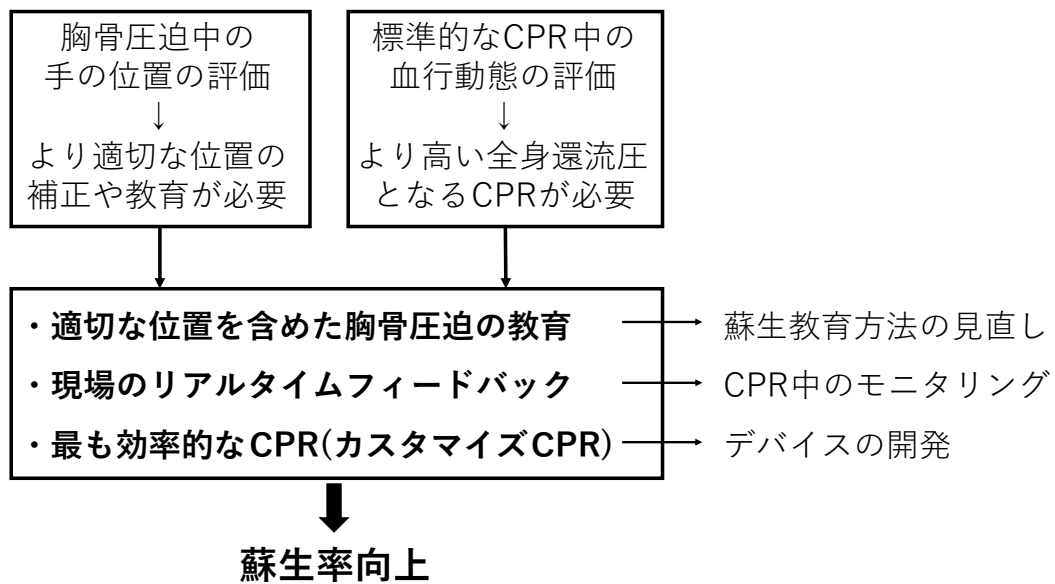


図 14: 今後の展望

CPR, cardiopulmonary resuscitation

表 1: 胸骨圧迫法の変遷

|          |           |                 |                |              |           |           |
|----------|-----------|-----------------|----------------|--------------|-----------|-----------|
| 発表年 (年)  | 1992      | 2000            | 2005           | 2010         | 2015      | 2020      |
| 深さ (cm)  | 4 - 5     | 4 - 5           | 4 - 5          | at least 5   | 5 - 6     | 5 - 6     |
| 速さ (回/分) | 80 - 100  | 100             | about 100      | at least 100 | 100 - 120 | 100 - 120 |
| 換気との回数比  | 5 : 1     | 15 : 2          | 30 : 2         | 30 : 2       | 30 : 2    | 30 : 2    |
| 圧迫の位置    | 胸骨上       | 剣状突起から<br>2 横指上 | 乳頭間線と胸骨の<br>交点 | 胸骨<br>下半分    | 胸骨<br>下半分 | 胸骨<br>下半分 |
| 胸郭の戻り    | 完全に<br>戻す | 完全に<br>戻す       | 完全に<br>戻す      | 完全に<br>戻す    | 完全に<br>戻す | 完全に<br>戻す |

表 2: プロトコル

| 胸骨圧迫 | 順番 1         | 順番 2         | 順番 3         | 順番 4         |
|------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1分間  | MM<br>(右側から) | MM<br>(右側から) | MM<br>(左側から) | MM<br>(左側から) |
| ↓    |              |              |              |              |
| 1分間  | MM<br>(左側から) | MM<br>(左側から) | MM<br>(右側から) | MM<br>(右側から) |
| ↓    |              |              |              |              |
| 10回  | TM<br>(右側から) | HM<br>(右側から) | TM<br>(左側から) | HM<br>(左側から) |
| ↓    |              |              |              |              |
| 10回  | TM<br>(左側から) | HM<br>(左側から) | TM<br>(右側から) | HM<br>(右側から) |
| ↓    |              |              |              |              |
| 10回  | HM<br>(右側から) | TM<br>(右側から) | HM<br>(左側から) | TM<br>(左側から) |
| ↓    |              |              |              |              |
| 10回  | HM<br>(左側から) | TM<br>(左側から) | HM<br>(右側から) | TM<br>(右側から) |
|      |              |              |              |              |

HM, Hypothernar Method; MM, Manual Method; TM, Thenar Method

表 3: 参加者の属性

|                       | 順番 1      | 順番 2      | 順番 3      | 順番 4      | p 値  |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| 参加者数 (N)              | 12        | 10        | 10        | 12        |      |
| 年齢 (歳), 平均 ± 標準偏差     | 33 ± 6    | 30 ± 6    | 31 ± 7    | 34 ± 6    | 0.21 |
| 性別 (N)                |           |           |           |           | 0.76 |
| 男                     | 8         | 6         | 9         | 7         |      |
| 職業 (N)                |           |           |           |           | 1    |
| 医師                    | 3         | 2         | 2         | 3         |      |
| 看護師                   | 5         | 5         | 5         | 5         |      |
| 救急救命士                 | 4         | 3         | 3         | 4         |      |
| 職業年数 (年), 平均 ± 標準偏差   | 8.1 ± 1.4 | 6.7 ± 1.9 | 6.2 ± 1.8 | 9.9 ± 1.8 | 0.28 |
| 利き手 (N)               |           |           |           |           | 0.87 |
| 右                     | 11        | 10        | 10        | 10        |      |
| 2 年以内の CPR トレーニング (N) |           |           |           |           | 0.74 |
| 有                     | 9         | 8         | 6         | 6         |      |
| 2 年以内の CPR 経験 (N)     |           |           |           |           | 0.95 |
| 有                     | 11        | 9         | 8         | 9         |      |

CPR, Cardiac-Pulmonary Resuscitation

表 4: 胸骨圧迫中の手の位置

|                                   | 右 - 左 (R-l) |          |          |        | p         | 右 - 右 (R-r) |          |        |           | p        | 左 - 右 (L-r) |        |           |          | p        | 左 - 左 (L-l) |           |          |          | p      |
|-----------------------------------|-------------|----------|----------|--------|-----------|-------------|----------|--------|-----------|----------|-------------|--------|-----------|----------|----------|-------------|-----------|----------|----------|--------|
|                                   | MM          | TM       | HM       |        |           | MM          | TM       | HM     |           |          | MM          | TM     | HM        |          |          | MM          | TM        | HM       |          |        |
| 参加者数 n                            | 20          | 22       | 21       |        | 24        | 22          | 23       |        | 23        | 22       | 22          |        | 21        | 22       | 22       |             | 21        | 22       | 22       |        |
| 位置 適切 n (%)                       | 5 (25)      | 14 (64)  | 10 (48)  | 0.089  | 3 (13)    | 8 (37)      | 15 (65)  | 0.003  | 5 (22)    | 10 (45)  | 14 (64)     | 0.040  | 2 (10)    | 4 (18)   | 10 (45)  | 0.047       | 2 (10)    | 4 (18)   | 10 (45)  | 0.047  |
| 不適切 n (%)                         | 15 (75)     | 8 (36)   | 11 (52)  |        | 21 (87)   | 14 (63)     | 8 (35)   |        | 18 (78)   | 12 (55)  | 8 (36)      |        | 19 (90)   | 18 (82)  | 12 (55)  |             | 19 (90)   | 18 (82)  | 12 (55)  |        |
| 母指側 n                             | 0           | 2        | 0        |        | 0         | 4           | 0        |        | 1         | 1        | 0           |        | 0         | 0        | 0        |             | 0         | 0        | 0        |        |
| 小指側 n                             | 13          | 6        | 0        |        | 19        | 9           | 0        |        | 14        | 8        | 0           |        | 19        | 17       | 1        |             | 19        | 17       | 1        |        |
| 手指側 n                             | 0           | 0        | 1        |        | 2         | 5           | 0        |        | 2         | 2        | 0           |        | 0         | 0        | 0        |             | 0         | 0        | 0        |        |
| 手関節側 n                            | 9           | 1        | 10       |        | 12        | 1           | 8        |        | 10        | 8        | 8           |        | 6         | 4        | 12       |             | 6         | 4        | 12       |        |
| 各センサーにかかる平均圧力が最大になる位置の胸骨圧迫数に対する割合 |             |          |          |        |           |             |          |        |           |          |             |        |           |          |          |             |           |          |          |        |
| 胸骨圧迫数 n                           | 2130        | 218      | 207      |        | 2494      | 222         | 226      |        | 2616      | 224      | 216         |        | 2188      | 215      | 215      |             | 2188      | 215      | 215      |        |
| 位置 適切 n (%)                       | 700 (33)    | 110 (50) | 110 (53) | <0.001 | 357 (14)  | 61 (27)     | 117 (52) | <0.001 | 674 (26)  | 122 (54) | 125 (58)    | <0.001 | 209 (10)  | 28 (13)  | 91 (42)  | <0.001      | 209 (10)  | 28 (13)  | 91 (42)  | <0.001 |
| 不適切 n (%)                         | 1430 (67)   | 108 (50) | 97 (47)  |        | 2137 (86) | 161 (73)    | 109 (48) |        | 1942 (74) | 102 (46) | 91 (42)     |        | 1979 (90) | 187 (87) | 124 (58) |             | 1979 (90) | 187 (87) | 124 (58) |        |
| 母指側 n                             | 0           | 17       | 0        |        | 0         | 22          | 0        |        | 99        | 2        | 8           |        | 0         | 6        | 0        |             | 0         | 6        | 0        |        |
| 小指側 n                             | 1093        | 58       | 0        |        | 1911      | 120         | 2        |        | 1333      | 76       | 0           |        | 1974      | 159      | 10       |             | 1974      | 159      | 10       |        |
| 手指側 n                             | 1           | 0        | 3        |        | 108       | 26          | 0        |        | 210       | 2        | 0           |        | 5         | 0        | 0        |             | 5         | 0        | 0        |        |
| 手関節側 n                            | 1076        | 38       | 94       |        | 970       | 19          | 109      |        | 1078      | 82       | 87          |        | 656       | 52       | 124      |             | 656       | 52       | 124      |        |

CPR, Cardiac-Pulmonary Resuscitation; MM, Manual Method; TM, Thenar Method; HM, Hypothenar Method

表 5: CPC(cerebral performance category)

|  |
|--|
| CPC 1. 機能良好<br>意識は清明、普通の生活ができ、労働が可能である。障害があるが軽度の構音障害、脳神経障害、不完全麻痺などの軽い神経障害あるいは精神障害まで。                   |
| CPC 2. 中等度障害<br>意識あり。保護された状況でパートタイムの仕事ができ、介助なしに着替え、旅行、炊事などの日常生活ができる。片麻痺、痙攣失調、構音障害、嚥下障害、記銘力障害、精神障害など。   |
| CPC 3. 高度障害<br>意識あり。脳の障害により、日常生活に介助を必要とする。少なくとも認識力は低下している。高度な記銘力障害や痴呆、Looked-in 症候群のように目でのみ意思表示ができるなど。 |
| CPC 4. 昏睡<br>昏睡、植物状態。意識レベルは低下、認識力欠如、周囲との会話や精神的交流も欠如。   |
| CPC 5. 死亡、もしくは脳死   |

表 6: 患者属性

|                                   | 全体            | ROSC 群       | 非 ROSC 群    | p 値  |
|-----------------------------------|---------------|--------------|-------------|------|
| 患者数                               | 50            | 16           | 34          |      |
| 年齢                                | 72 ± 16       | 69 ± 20      | 74 ± 14     | 0.45 |
| 男性                                | 29 (58)       | 7 (44)       | 22 (56)     | 0.27 |
| CA の場所; 自宅 / 居住地                  | 47 (94)       | 14 (88)      | 33 (97)     | 0.24 |
| CA の目撃                            | 12 (24)       | 7 (44)       | 5 (15)      | 0.04 |
| バイスタンダー CPR                       | 25 (50)       | 6 (38)       | 19 (56)     | 0.36 |
| 救急隊到着時の初期波形                       |               |              |             | 0.2  |
| VF / pulseless VT                 | 3 (6)         | 2 (12)       | 1 (3)       |      |
| PEA                               | 11 (22)       | 6 (38)       | 5 (15)      |      |
| Asystole                          | 36 (72)       | 8 (50)       | 28 (82)     |      |
| 機械的胸骨圧迫装置の使用                      |               |              |             | 0.69 |
| AutoPulse™                        | 7 (14)        | 1 (6)        | 6 (18)      |      |
| LUCAS 2 or 3™                     | 7 (14)        | 3 (19)       | 4 (12)      |      |
| Komstat™ or Clover™               | 13 (26)       | 4 (25)       | 9 (26)      |      |
| 救急外来到着時の初期波形                      |               |              |             | 0.45 |
| VF / pulseless VT                 | 1 (2)         | 1 (6)        | 0 (0)       |      |
| PEA                               | 7 (14)        | 4 (25)       | 3 (9)       |      |
| Asystole                          | 42 (84)       | 11 (69)      | 31 (91)     |      |
| 最終生存確認から CPR 開始までの時間 (分)          | 112.5 ± 207.9 | 54.9 ± 112.2 | 138.7 ± 236 | 0.02 |
| 救急隊出動から現場到着までの時間 (分)              | 9.1 ± 3.2     | 8.5 ± 2.7    | 9.4 ± 3.4   | 0.17 |
| 救急隊出動から救急外来到着までの時間 (分)            | 40.4 ± 10.9   | 40.5 ± 9.7   | 40.3 ± 11.5 | 0.48 |
| CPR 施行時間 (分)                      | 64.8 ± 14.4   | 58.2 ± 10.7  | 67.9 ± 15   | 0.02 |
| 血圧連続測定時間 (分)                      | 14.1 ± 8      | 11.0 ± 8.3   | 15.6 ± 7.5  | 0.06 |
| 救急外来到着時 EtCO <sub>2</sub> (mmHg)* | 23.9 ± 18.9   | 24.3 ± 14.2  | 23.8 ± 21.6 | 0.94 |
| 救急外来到着時 pH**                      | 6.84 ± 0.16   | 6.88 ± 0.17  | 6.83 ± 0.15 | 0.30 |
| 救急外来到着時乳酸値 (mmol/L)**             | 17.9 ± 6.7    | 16.9 ± 4.9   | 18.3 ± 7.4  | 0.52 |

データは平均値 ± 標準偏差 (%) で示した。

CA, Cardiac Arrest; CPR, Cardiac-Pulmonary Resuscitation; EtCO<sub>2</sub>, End tidal CO<sub>2</sub>; PEA, Pulseless Electrical Activity; VT, Ventricular Tachycardia; ROSC, Return of spontaneous circulation; VF, Ventricular Fibrillation



\* 32 人の患者 (ROSC 群, n = 12; 非 ROSC 群, n = 20) の測定できたデータで比較した。

\*\* 44 人の患者 (ROSC 群, n=14; 非 ROSC 群, n=31) の測定できたデータで比較した。

表 7: 各パラメータの平均値の比較

|                        | 全体          | ROSC 群       | 非 ROSC 群    | p 値   | AUC (95% CI)     |
|------------------------|-------------|--------------|-------------|-------|------------------|
| A sys                  | 79.6 ± 50   | 113.2 ± 45.5 | 63.8 ± 44.4 | <0.01 | 0.79 (0.67–0.92) |
| A dias                 | 14.1 ± 16.4 | 21 ± 17.6    | 10.8 ± 15   | 0.04  | 0.69 (0.53–0.85) |
| V sys                  | 58.2 ± 38   | 57.4 ± 35.3  | 58.5 ± 39.7 | 0.92  | 0.51 (0.34–0.69) |
| V dias                 | 7.9 ± 10.5  | 8.2 ± 4.2    | 7.8 ± 12.5  | 0.88  | 0.63 (0.47–0.78) |
| Δ Sys A-V              | 21.5 ± 17.4 | 55.8 ± 53.4  | 5.3 ± 34.7  | <0.01 | 0.82 (0.67–0.96) |
| Δ Dias A-V             | 6.2 ± 7.7   | 12.8 ± 15.1  | 3.1 ± 10.8  | 0.01  | 0.72 (0.56–0.87) |
| A mean                 | 35.9 ± 27.5 | 51.7 ± 19.6  | 28.5 ± 21.6 | <0.01 | 0.8 (0.68–0.92)  |
| V mean                 | 24.7 ± 19.5 | 24.6 ± 12.9  | 24.7 ± 19.7 | 0.99  | 0.47 (0.3–0.64)  |
| Δ Mean A-V             | 11.3 ± 10.2 | 27.1 ± 16.8  | 3.8 ± 13.9  | <0.01 | 0.87 (0.78–0.97) |
| EtCO <sub>2</sub> 中央値* | 25.2 ± 16.9 | 30.8 ± 13.2  | 21.8 ± 18.2 | 0.14  | 0.7 (0.51–0.9)   |

データは平均値 ± 標準偏差 (mmHg)で示した。

A sys, 動脈収縮期圧; A dias, 動脈拡張期圧; V sys, 静脈収縮期圧; V dias, 静脈拡張期圧;

Δ Sys A-V, 動脈と静脈の収縮期血圧の差; Δ Dias A-V, 動脈と静脈の拡張期血圧の差;

A mean, 平均動脈圧; V mean, 平均静脈圧; Δ Mean A-V, 平均動脈圧と静脈圧の差

AUC, Area under the curve; CI, Confidence Interval; EtCO<sub>2</sub>, End tidal CO<sub>2</sub>; ROSC, Return of spontaneous circulation

\* 32 人の患者 (ROSC 群, n = 12; 非 ROSC 群, n = 20) の測定できたデータで比較した。