

平成25年度（一財）救急振興財団調査研究助成事業

病院前救護における心肺蘇生時の声門上気道デバイス使用下の
呼気CO₂モニタリングの有用性についての検討

報告書

平成26年3月

新潟市消防局

病院前救護における心肺蘇生時の声門上気道デバイス使用下の 呼気 CO₂ モニタリングの有用性についての検討

渡辺 徹¹, 瀧澤 栄史東¹, 村上 宏¹, 進藤 弘¹, 山名 和則¹, 豊島 裕¹, 伊川 章¹
田中 敏春², 廣瀬 保夫²

¹ 新潟市消防局

² 新潟市民病院 救命救急・循環器病・脳卒中センター

Investigation into the usefulness of end-tidal CO₂ measurement via supraglottic airway device use in prehospital cardiopulmonary arrest

Toru WATANABE¹, Eshito TAKIZAWA¹, Hiroshi MURAKAMI¹, Hiromu SHINDO¹,
Kazunori YAMANA¹, Hiroshi TOYOSHIMA¹, Akira IGAWA¹
Toshiharu TANAKA², Yasuo HIROSE²

¹ Niigata City Fire Bureau

² Emergency and Critical Care Medical Center, Cardiovascular and Stroke Center,
Niigata City General Hospital

【要旨】

はじめに: 病院前 CPA 例で声門上気道デバイス使用下での呼気 CO₂ モニタリングの有用性について検討した。対象と方法: 2011 年 10 月 1 日から 2014 年 1 月 31 日までの間, 新潟市における病院前 CPA 傷病者で声門上気道デバイス (ラリングルチューブ[®], 以下 LT) が挿入された例を対象とした。救急車内収容時に EtCO₂ の測定を行い, ROSC の有無, 測定時の心電図波形などについて検討した。結果: CPA 傷病者総数は 1,992 例, うち LT 挿入例で EtCO₂ の測定を試みたのは 320 例。EtCO₂ の波形が描出されなかった 8 例を除いた測定例 (n=312) の EtCO₂ 値 (mmHg) は 26.1 ± 17.8 , ROSC の有無別では ROSC 群 (n=18); 53.7 ± 18.8 , 非 ROSC 群 (n=294); 24.4 ± 16.3 と ROSC 群で有意に高値であった ($p < 0.01$)。測定時の心電図波形別では VF/VT・PEA 群 (n=73); 33.3 ± 21.8 , 心静止群 (n=239); 23.8 ± 15.7 と, VF/VT・PEA 群で有意に高値であった ($p < 0.01$)。考察: 今回の検討により, 呼気 CO₂ モニタリングは声門上気道デバイス使用下においても, 気管挿管下と同様に ROSC の可能性を含めた病態を反映した結果が得られ有用性があることが示唆された。

【索引用語】

病院前, CPA, 呼気終末二酸化炭素, EtCO₂, 声門上気道デバイス

1 はじめに

ガイドライン 2010 において、気管挿管された心肺停止 (cardiopulmonary arrest, 以下 CPA) 患者に対し、気管チューブの位置確認、心肺蘇生 (cardiopulmonary resuscitation, 以下 CPR) の質のモニタリング、及び自己心拍再開 (return of spontaneous circulation, 以下 ROSC) の認知の手段として、波形表示される呼気 CO₂ モニターによる呼気終末 CO₂ 値 (end-tidal CO₂, 以下 EtCO₂) 測定が推奨されている¹⁾²⁾。

本邦の病院前救護において、声門上気道デバイスは CPR 時の気道確保器具として頻用されているが、気道確保の手段として声門上気道デバイスが選択された場合の呼気 CO₂ モニタリングの有用性を論じた報告は少ない。そこで、われわれは病院前救護における CPR 時の声門上気道デバイス使用下での呼気 CO₂ モニタリングの有用性について検討したので報告する。

2 対象と方法

新潟市消防局の管内人口は約81万人、面積は730km²、消防署数は1局8署27出張所からなり、救急隊は25隊が配置されている。職員数は911名、うち救急救命士は160名である。平成25年中の救急出動件数は約3万6,000件となっている。

本研究は、新潟市消防局の管内において搬送したCPA症例に対して以下の方法で実施した。

(1) 期間

2011年10月1日から2014年1月31日までの間。

(2) 対象

新潟市消防局の管内における声門上気道デバイスであるラリゲルチューブ[®](以下、LT)が挿入されたCPA傷病者のうち、活動の状況や傷病者の状態から測定が可能であったもの。なお、LTを選定した理由は、新潟市消防局において最も使用頻度が高いためである。

(3) 方法

新潟市消防局の救急隊 25 隊中、呼気 CO₂ モニター (図 1, 日本光電製 ベッドサイドモニター) が配備されている 20 隊において測定を実施した。測定の時期は、呼気 CO₂ モニターが救急車両に固定されており現場に携行できないため、傷病者を車内収容した時点とした。測定状況例は図 1 のとおりである。測定された値は、新潟市消防局で使用している救急事案管理システム (NEC 製「NEFOAP 消防 OA システム」) に自隊で入力してもらい、当該事案を抽出・集計し検討した。

平成 25 年 4 月からは、副次的調査項目として「EtCO₂測定時の胸骨圧迫の方法：人工呼吸時も連続した胸骨圧迫（以下、非同期 CPR）・人工呼吸時に胸骨圧迫中断（以下、同期 CPR）」を追加した。理由は、JRC 蘇生ガイドライン 2010 では、気管挿管後は非同期 CPR を行うとしているが、声門上気道デバイスを用いた場合は、適切な換気が可能な場合に限り非同期 CPR を行ってよいとしている¹⁾。気道確保器具として声門上気道デバイスを用いた場合の非同期 CPR 時の換気について、適切な換気がなされているかの指標に EtCO₂測定が有用であるか検討するためである。

また参考であるが、新潟市消防局における CPA 事案における胸骨圧迫の方法は、絶え間ない有効な胸骨圧迫を継続するため、全例ではないが多くの事案で同一の機械的ピストン CPR 装置を用いている。また、人工呼吸にあっても、人員の有効活用という観点から自動式人工呼吸器を多くの事案で活用している。



訓練用マネキンにLTが挿入され、EtCO₂センサが接続されている。



呼吸数(左上), EtCO₂値(左下), EtCO₂波形が表示される。

【図 1】測定状況例と使用した呼気 CO₂ モニター（日本光電製 ベッドサイドモニター）測定状況例（写真上）と測定した場合のモニター画面の表示例（写真下）を示す。

（４）各救急隊への測定上の留意点の伝達

今回の調査開始にあたり、新潟市消防局において毎月実施しているプレホスピタル検討会において、以下の事項を救急隊員に伝達した。呼気 CO₂ モニター機器の使用法、留意点として、測定値は EtCO₂ 波形を確認した後の値とすること。アドレナリンを投与した例の

場合は、アドレナリン静脈内投与直後は呼気の CO₂ の排出が低下する³⁾といわれているため、アドレナリン投与後は当該薬剤の血中半減期である 3～5 分後の値とすること。

(5) 統計解析方法

2 群間の比較検討には対応のない t 検定を用い、有意水準 5 % 未満を有意差ありとした。

3 結果

(1) EtCO₂ 測定例の概要

EtCO₂ 測定例の概要を表 1 に示した。CPA 傷病者総数は 1,992 例、うち LT 挿入例で EtCO₂ の測定を試みたのは 320 例であった。全測定例の EtCO₂ 値の平均は、EtCO₂ の波形が描出されなかった 8 例を除いた 312 例で 26.1±17.8mmHg であった。測定時の心電図波形の内訳は、心室細動 (ventricular fibrillation, 以下 VF) / 無脈性心室頻拍 (pulseless ventricular tachycardia, 以下 VT) : 9 例, 無脈性電気活動 (pulseless electrical activity, 以下 PEA) : 64 例, 心静止 : 239 例であった (表 1)。

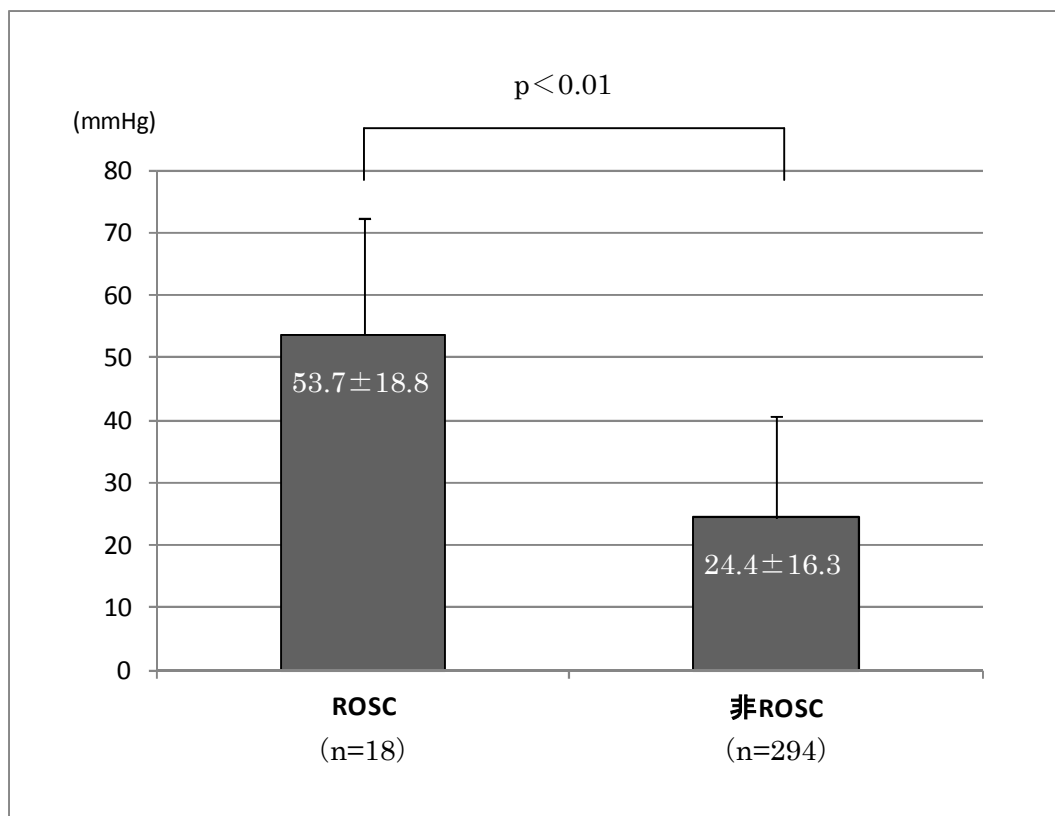
年齢(歳)	75.3±14.6
性別(人)	
男性	193(61.9%)
女性	119(38.1%)
全測定例のEtCO ₂ 平均値(mmHg)	26.1±17.8
測定時の心電図波形内訳(症例数)	
VF/VT	9(2.9%)
PEA	64(20.5%)
心静止	239(76.6%)

【表 1】 EtCO₂ 測定例の概要 (n=312)

(2) ROSC 群と非 ROSC 群の比較

病院前で EtCO₂ の測定を開始してから一時的にせよ心拍再開が認められた例を ROSC 群, 心拍再開を認めなかった群を非 ROSC 群とし EtCO₂ 値を比較した。ROSC 群 18 例の平均は 53.7±18.8mmHg, 非 ROSC 群 294 例の平均は 24.4±16.3mmHg であり, ROSC 群で

有意に高値であった（図2， $p<0.01$ ）。また，ROSC群18例の最小値は25mmHgであった。さらに，ROSC群で社会復帰例（グラスゴー・ピッツバーグ脳機能カテゴリー・全身機能カテゴリー共に1または2であったもの。）は2例あり，1例のEtCO₂値は41mmHg，もう1例のEtCO₂値は65mmHgであった。

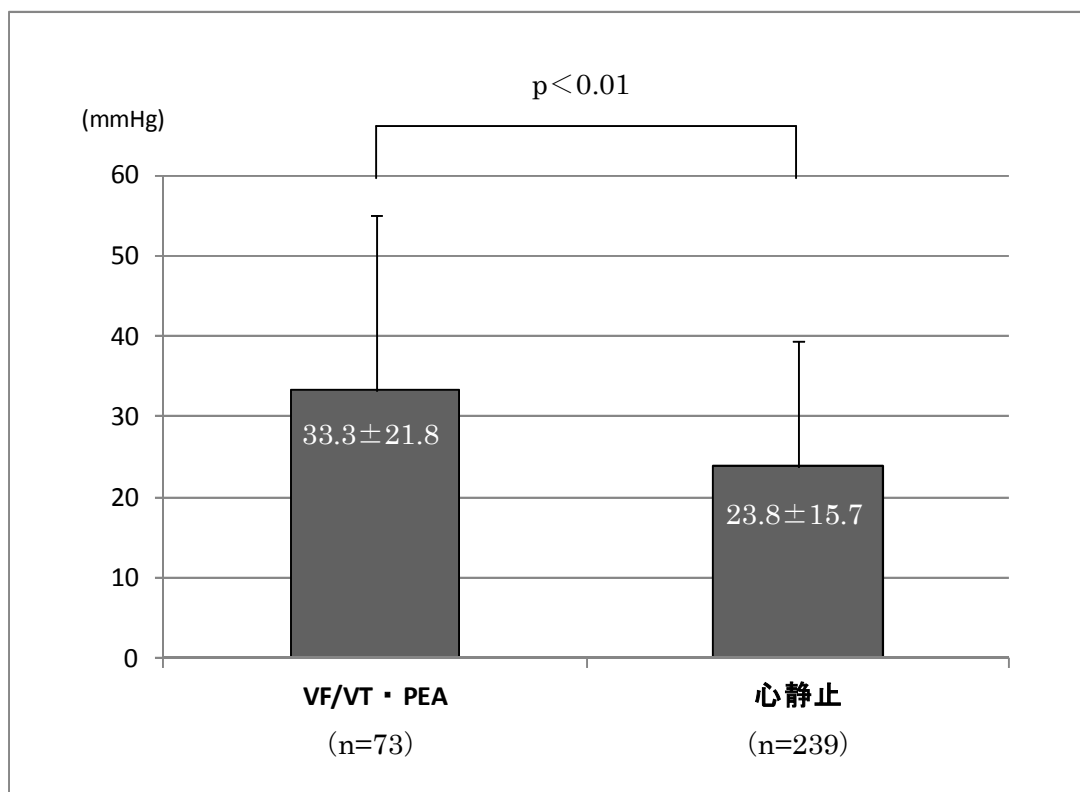


【図2】ROSC群と非ROSC群の比較（n=312）

ROSC群と非ROSC群におけるEtCO₂の平均値の比較を示す。ROSC群18例の平均は53.7±18.8mmHg，非ROSC群294例の平均は24.4±16.3mmHgであり，ROSC群で有意に高値であった（ $p<0.01$ ）。

（3）VF/VT・PEA群と心静止群の比較

何らかの波形の認められるVF/VT・PEA群と心静止群のEtCO₂の平均値を比較した。VF/VT・PEA群73例の平均は33.3±21.8mmHg，心静止群239例の平均は23.8±15.7mmHgであり，VF/VT・PEA群で有意に高値であった（図3， $p<0.01$ ）。



【図 3】 VF/VT・PEA 群と心静止群の比較 (n=312)

VF/VT・PEA 群と心静止群における EtCO₂ の平均値の比較を示す。VF/VT・PEA 群 73 例の平均は 33.3±21.8mmHg, 心静止群 239 例の平均は 23.8±15.7mmHg であり, VF/VT・PEA 群で有意に高値であった (p<0.01)。

(4) 声門上気道デバイス使用下における EtCO₂ 測定による換気の確認

LT 挿入例で EtCO₂ の測定を試みた 320 例のうち 312 例において EtCO₂ が検出され換気されていることが確認できた。しかし, 8 例において EtCO₂ の波形が描出されず換気の異常を検知した。なお, EtCO₂ の波形が描出されなかった 8 例は, LT を留置した時点の視診及び聴診による一次確認は良好であった。

(5) 声門上気道デバイス使用下における EtCO₂ 測定による ROSC の認知

病院前で EtCO₂ の測定を開始してから一時的にせよ心拍再開が認められた ROSC 群 18 例において, ROSC 前と ROSC 後の EtCO₂ 値を比較すると, 4 例で EtCO₂ 値の明らかな上昇が認められた。なお, 本検討における明らかな上昇とは, 正常な状態での EtCO₂ 値 35~40mmHg と本検討における全測定例の EtCO₂ 平均値 26.1mmHg との差から勘案し, 15mmHg 以上の上昇をもって明らかな上昇とした。

4 副次的調査項目に関する結果

非同期 CPR 時の EtCO₂ 測定による換気の確認

副次的調査項目として「EtCO₂測定時の胸骨圧迫の方法：非同期 CPR・同期 CPR」を新たに追加した平成 25 年 4 月 1 日から平成 26 年 1 月 31 日までの間において、LT 挿入例で EtCO₂ の測定を試みた 116 例のうち 115 例において非同期 CPR が実施されていた。非同期 CPR が実施され EtCO₂ の測定を試みた 115 例のうち 111 例において EtCO₂ を検出することができ換気されていることが確認できた。EtCO₂ を検出した 111 例の平均値は 28.2±18.4mmHg であった。しかし、4 例において EtCO₂ の波形が描出されなかった例があった。なお、EtCO₂ の波形が描出されなかった 4 例は、LT を留置した時点の視診及び聴診による一次確認は良好であった。

5 考察

(1) ROSC 群での EtCO₂ 高値について

気管挿管下でのいくつかの研究で、EtCO₂ 値が高い場合には ROSC の可能性が高いと予測できるとする報告がある¹⁾。また、竹内ら⁴⁾のプレホスピタルでの CPR 時の声門上器具使用時の呼気二酸化炭素ガスモニタリングの有用性の研究においても、声門上器具留置時にも気管挿管時と同様に EtCO₂ の値が高い時には ROSC の可能性が高いと考えられると報告している。今回の ROSC 群と非 ROSC 群の比較でも、ROSC 群で EtCO₂ が高値を示したことは、声門上気道デバイス使用下においても気管挿管下と同様の傾向を示したと考えられる。

また、同じく気管挿管下でのいくつかの研究で、CPR 中における EtCO₂ 値<10mmHg の場合では心停止からの生存の可能性が低いとする報告がある¹⁾²⁾⁵⁾。本調査においても ROSC 群 18 例において EtCO₂ 値<10mmHg の症例はなく同様の傾向を示したと考えられる。

(2) VF/VT・PEA 群での EtCO₂ 高値について

Heradstveit BE ら⁶⁾の報告では、CPA 症例における EtCO₂ 値は初期心電図波形の如何に関わらず、ROSC 群が非 ROSC 群と比較して有意に高値であり、一方で CPR 中の EtCO₂ 平均値は心停止からの時間経過が長ければ低下したとしている。また、EtCO₂ 値は傷病者の換気・循環の状態に影響を受けることも知られている³⁾。本検討では VF/VT・PEA 群と心静止群とで EtCO₂ 値を比較すると、VF/VT・PEA 群で高値を示した。これは、VF/VT・PEA では心停止からの時間経過が心静止の例と比較して短いと考えられること、PEA 例では脈拍は触れないながらも、循環がわずかながら存在する場合もありうることを考えると、VF/VT・PEA 例の方がより ROSC しやすい病態であることを反映していると考えられる。

(3) 声門上気道デバイス使用下における EtCO₂ 測定による換気の確認について

Grmec S⁷⁾によると、心停止患者に対する気管挿管後に呼気 CO₂ 波形が、気管チューブが気管内にあることを予測する精度は、感度 100%、特異度 100%であった。また呼気 CO₂ 波形によって 246 例の心停止患者中 4 例の食道挿管を検知したと報告している。理論的に、気道確保器具として声門上気道デバイスを用いた場合でも EtCO₂ を測定し EtCO₂ が検出されれば、とりあえず気道は確保され換気されていると考えられる。本調査結果では、LT 挿入例で EtCO₂ の測定を試みた 320 例のうち 312 例において EtCO₂ が検出され換気されていることが確認できた。しかし、8 例において EtCO₂ の波形が描出されなかった例があった。EtCO₂ の波形が描出されなかった 8 例は、すべて LT を留置した時点において視診及び聴診の一次確認は良好であった。原因として傷病者の移動等による気道確保器具の位置のズレや粘液等によるチューブの閉塞、測定機器の異常などが考えられるが、本検討では原因までは調査できなかった。本調査結果においても気管挿管下と同様に EtCO₂ の測定により換気の異常を検知できたことは、声門上気道デバイスを用いた場合においても、EtCO₂ 測定は気道確保され換気されているかの確認に有用であると考えられる。

(4) 声門上気道デバイス使用下における EtCO₂ 測定による ROSC の認知について

本検討では、病院前で EtCO₂ の測定を開始してから一時的にせよ心拍再開が認められた ROSC 群 18 例のうち 4 例に EtCO₂ の明らかな上昇が認められ、ROSC の認知に有用と考えられる症例があった。しかし、すべての ROSC 例で明らかな EtCO₂ の上昇は確認できなかったことは、本調査結果における ROSC 群を含む EtCO₂ の平均値が高値であったことが考えられる。

ガイドライン 2010 において EtCO₂ 値が 10mmHg 未満である場合は、CPR の質の向上を試みるとされている²⁾。本調査結果では全測定例の EtCO₂ の平均値は 10mmHg をはるかに上回る値であり、全般的に高値である印象が強い。何故このような傾向を示したのか、CPR の質の観点からだけでは説明し難い。測定上の問題、気管挿管と声門上気道器具の違い、などが理由として考えられるが、現時点では明確な解釈は困難である。竹内ら⁴⁾のプレホスピタルでの CPR 時の声門上器具使用時の呼気二酸化炭素ガスモニタリングの有用性の研究では、ROSC 群 44 例の EtCO₂ 平均値は 34.7±15.6mmHg、非 ROSC 群 163 例の EtCO₂ 平均値は 22.3±12.6mmHg であったと報告している。本研究と竹内らの研究結果を比較すると、症例数が異なる点はあるものの測定値としては比較的近い。病院前 CPA 例における声門上気道デバイス使用下での EtCO₂ 値は、気管挿管下での値と比較して高値を示す可能性もあり、今後の更なる検討が必要である。

6 副次的調査項目に関する考察

声門上気道デバイス使用下における非同期 CPR 時の EtCO₂ 測定について

(1) 声門上気道デバイス使用下における非同期 CPR について

JRC 蘇生ガイドライン 2010 では、非同期 CPR について、気管挿管後は非同期 CPR を行うとし、声門上気道デバイスを用いた場合は、適切な換気が可能な場合に限り非同期 CPR を行ってよいとしている¹⁾。気道確保器具として声門上気道デバイスを用いた場合の非同期 CPR においても、EtCO₂を測定し EtCO₂が検出されれば、とりあえず気道は確保され換気されていると考えられる。本調査結果で、LT 挿入例で非同期 CPR が実施され EtCO₂の測定を試みた 115 例のうち 111 例において EtCO₂が検出されたことは、声門上気道デバイスを用いた場合の非同期 CPR においても、気管挿管下と同様に換気されることを示唆していると考えられる。しかしながら、4 例において EtCO₂の波形が描出されなかった例があった。EtCO₂の波形が描出されなかった 4 例は、すべて LT を留置した時点において視診及び聴診の一次確認は良好であった。原因として傷病者の移動等による気道確保器具の位置のズレ、粘液等によるチューブの閉塞、陽圧換気時の声門上気道デバイス周囲からの換気ガスの漏れ、測定機器の異常などが考えられるが、本検討では原因までは調査できなかった。EtCO₂の波形が描出されなかった場合には原因検索し換気が保たれるよう対処する必要がある。

(2) 非同期 CPR 時の EtCO₂ 測定による換気の確認について

病院前において視診・聴診のみで非同期 CPR 中に適切な換気がされているか確認することは容易ではない。具体的に非同期 CPR 中は連続した胸骨圧迫により視診による胸部の拳上を確認することは難しく、また胸部の聴診も連続する胸骨圧迫の雑音により正確に観察することは難しい。救急車が走行中であれば、走行による雑音で聴診はさらに難しくなる。本調査では、視診・聴診による一次確認が良好であっても、EtCO₂の波形が描出されないことが一定数あることも示唆された。しかし、非同期 CPR 中に視診・聴診により換気の確認をすることは容易ではないことを考慮すると、視診・聴診と併せて、EtCO₂を測定して情報を増やして総合的に判断することは、確認の精度を高めるために有用と考えられる。

7 本研究の限界

EtCO₂値は CPA からの時間経過や、傷病者の換気・循環の状態に影響を受けるが、本研究ではそういった因子について検討できなかった。今後、心停止からの時間経過や心停止の原因、胸骨圧迫や人工呼吸の方法など、EtCO₂値への影響因子をコントロールした研究が必要である。

8 結語

われわれは、声門上気道デバイス使用下の病院前 CPA 例において EtCO₂ 値を測定し、呼気 CO₂ モニタリングの有用性について検討した。ROSC 群では非 ROSC 群に比して EtCO₂ 値は有意に高値であった。何らかの心電図波形を認める VF/VT・PEA 群では心静止群に比して有意に高値であった。また、気道確保の手段として声門上気道デバイスが選択された場合においても、EtCO₂ 測定は気道確保され換気がされているかの確認に有用であった。ROSC の認知では一部の症例で有用であった。声門上気道デバイス使用下においても呼気 CO₂ モニタリングは、ROSC の可能性を含めた病態を反映した結果が得られ、気管挿管下と同様に有用性があることが示唆された。

本研究は、（一財）救急振興財団の「平成25年度救急に関する調査研究事業助成」を受けて行ったものである。

【文献】

- 1) 日本蘇生協議会 日本救急医療財団 監修：JRC 蘇生ガイドライン 2010 第2章 成人の二次救命処置（ALS）．へるす出版，東京，2011，p45-p142.
- 2) Neumar RW, Otto CW, Link MS, et al. : アメリカ心臓協会 心肺蘇生と救急心血管治療のためのガイドライン 2010 Part 8: adult advanced cardiovascular life support (第8章：成人の ACLS) [Circulation. 2010;122(suppl 3):S729-S767 の翻訳]. American Heart Association, Dallas TX USA, 2012, pS739-S777.
- 3) 小松孝美：呼気 CO₂ モニタ. 救急医学 2007 ; 31 : 1031-4.
- 4) 竹内昭憲, 田渕昭彦, 坪内宏樹, 他：CPR 時の声門上器具 (Supraglottic Airway : SGA) 使用時の呼気二酸化炭素ガス (ETCO₂) モニタリングの有用性. 日臨救医誌 2013 ; 16 : 466.
- 5) Touma O, Davies M : The prognostic value of end tidal carbon dioxide during cardiac arrest: A systematic review. Resuscitation 2013 ; 84(11) : 1470-9.
- 6) Heradstveit BE, Sunde K, Sunde GA, et al. : Factors complicating interpretation of capnography during advanced life support in cardiac arrest – A clinical retrospective study in 575 patients. Resuscitation 2012 ; 83 : 813-8.
- 7) Grmec S. Comparison of three different methods to confirm tracheal tube placement in emergency intubation. Intensive Care Med. 2002 ; 28 : 701-4.