

山岳救助活動時における効果的な胸骨圧迫方策に関する検証

淵田 元紀*, 鶴澤 崇**, 原田 益晟***, 佐藤 建司***, 玄海 嗣生***

概 要

現在、山岳救助活動現場における心肺停止傷病者に対する胸骨圧迫方策として、用手又は人工蘇生器による方法が可能である。しかし、急勾配などの悪路において、用手での有効な胸骨圧迫心マッサージ（以下「胸骨圧迫」という。）は非常に困難である。また、現行配置されている人工蘇生器については、動力として空気ポンペを必要とするため、資器材搬送による重量負担が大きい。

そこで本検証では、山岳救助活動時における絶え間ない質の高い胸骨圧迫の実施及び活動隊員の負担軽減に資することを目的とし、3機種種の人工蘇生器を比較検証した。

検証の結果、人工蘇生器の設定時間、胸骨圧迫の中断時間、VASによる主観的評価において、機種間に有意な差が見られた。

1 はじめに

現在、山岳救助活動現場における心肺停止傷病者に対する胸骨圧迫方策として、用手又は人工蘇生器による方法が可能である。しかし、山岳救助活動現場では、急勾配など悪路であることや搬送時間が長時間となることから、用手での有効な胸骨圧迫は非常に困難であり活動隊員の負担も大きい。過去に行われた胸骨圧迫が困難な状況下での適切な処置継続のための方策についての検証¹⁾では、ベルト式人工蘇生器による胸骨圧迫と用手による胸骨圧迫について比較し、人工蘇生器を使用することによって、救急活動の質の向上と効率化が期待できるとされているが、現行配置されている人工蘇生器の多くは、本体の他に動力として空気ポンペを必要とするため、山

岳救助活動現場では、資器材搬送による活動隊員に与える重量負担が大きい。

そこで、本検証では、山岳救助活動時における絶え間ない質の高い胸骨圧迫の実施及び活動隊員の負担軽減に資することを目的とし、3機種種の人工蘇生器を比較検証した。

2 検証で比較した人工蘇生器

比較した人工蘇生器の諸元・性能を表1に示す。なお、当庁における配置状況については、製品Aが救急隊22隊に、製品Bが航空隊と救急隊1隊に配置されており、製品Cについては未配置となっている。

表 1 検証対象の諸元・性能

	製品 A	製品 B	製品 C
外 観			
動 力 源	圧縮酸素又は圧縮空気	バッテリー	バッテリー
稼 働 時 間	約 24 分	約 30 分	約 45 分
圧 迫 頻 度	毎分 100 (回/分)	毎分 80±5 (回/分)	毎分 102±2 (回/分)
圧 迫 の 深 さ	0～7 cm	胸厚の約 20%	5.3±0.2 cm
圧 迫 換 気 比 率	圧迫 5 回に対し 1 回	①圧迫 15 回に対し 2 回 ②圧迫 30 回に対し 2 回 ③連続圧迫 3 パターンから選択	①圧迫 30 回に対し 2 回 ②連続圧迫 いずれかを選択
外 型 寸 法 (幅×長さ×高さ)	49.0 cm×61.0 cm×52.0 cm	44.7 cm×82.6 cm×7.6 cm	52.0 cm×24.0 cm×57.0 cm
重 量	7.0kg (本体)、6.0kg (ポンペ)	11.6kg (本体)、2.3kg (バッテリー)	7.8kg (本体)、0.6kg (バッテリー)
圧 迫 方 式	圧迫パットによる胸骨一点圧迫	胸部バンドによる胸郭全体圧迫	吸着カップと圧迫パットによる胸骨一点圧迫

* 消防技術課 ** 丸の内消防署 *** 活動安全課

3 検証方法

表1に示した人工蘇生器を用い、次の3つの検証方法で比較を行った。なお、検証には、心肺停止傷病者として訓練用人形を用い、付属の解析ソフトで胸骨圧迫の位置、深さを評価した。

(1) 搬送による比較（検証1）

山岳救助現場での傷病者搬送による活動隊員の負担と人工蘇生器による胸骨圧迫の質を調べるため、山岳救助現場での心肺停止傷病者の搬送を想定した検証を行った（写真1）。



写真1 検証1の様子

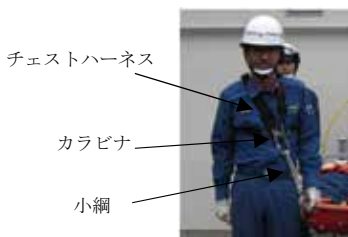


写真2 補助資器材
設定状況

ア 測定条件

- (ア) 被験者4名で1隊とし、計3隊を編成した。身長差を考え、平地搬送時にはバスケットストレッチャーが水平となるよう、補助資器材で調整した状態で搬送した（写真2）。
- (イ) 歩行速度を4.0 km/h、搬送時間を12分間に設定し、約800mのコースを3往復した（図1）。なお、①スロープの高低差は3.9m（傾斜14.0%）、②スロープの高低差は4.0m（傾斜7.5%）であった（写真3、4）。
- (ウ) 搬送資器材として、山岳救助隊が採用しているバスケットストレッチャーを使用した。重量については、人工蘇生器を除いた搬送重量が40kgとなるようにした。
- (エ) 事前訓練は行わず、実施する機種の順番はランダムとし、各隊とも各機種を1回ずつ実施した。
- (オ) 動力源となるポンペ搬送が必要な製品A使用時は、訓練用人形の頭部左側の1名がポンペを背負って搬送した。

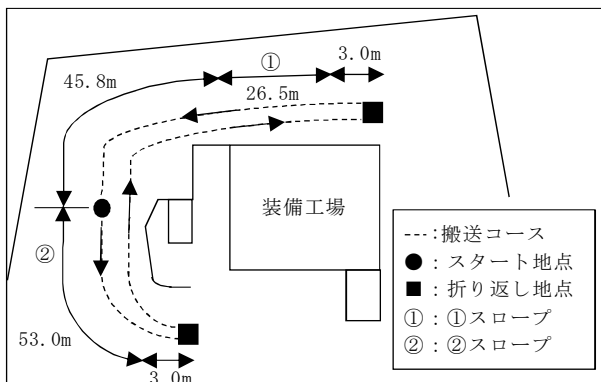


図1 装備工場敷地内平面図



写真3 ①スロープ



写真4 ②スロープ

イ 実施日

平成26年11月7日（金）、10日（月）

検証を実施した時間帯（10時から16時まで）の両日の気温条件と湿度条件はほぼ同等で、平均気温は20.1℃で平均湿度は41.0%であった。

ウ 実施場所

東京消防庁 装備工場敷地内

エ 被験者

当庁職員で山岳救助隊経験のない、健康な男性12名を被験者とした。平均年齢は34.5±4.3歳、平均身長は173.1±6.1cm、平均体重は66.7±5.8kgであった。

オ 測定項目

(ア) 平均心拍数

各被験者にポラールRX800（ポラール社製）を装着させ、検証開始から終了までの心拍数を測定した。機種毎に測定した心拍数の平均を算出した。

(イ) VAS

VASとはVisual Analog Scaleの略で、主観的な評価を測る指標である。図2で示すとおり、質問項目に対し100mmの水平線上で自分の感覚や気持ちに近いと感じるポイントに×印を記すもので、図2の例では、0に近いほど負担を感じず、100に近いほど負担を感じていることを意味する。検証1では、「全く負担を感じない」を0ポイント、「これ以上ない位きつい」を100ポイントとした。

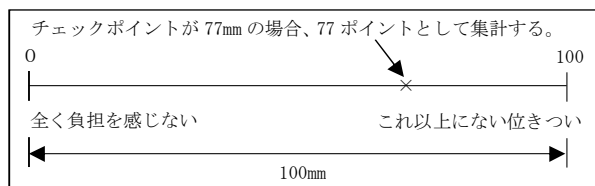


図2 VASの例

(ウ) 自由記述

検証を実施して気付いたことを自由に記述させた。

(エ) 胸骨圧迫位置のずれの大きさ及び深さの比率

胸骨圧迫の位置と深さについて、搬送前後での変化を測定した。位置のずれの大きさについては、搬送前に訓練用人形の圧迫位置周辺にテープを貼り、搬送後にずれを測定した。測定するずれの方向は、3機種間で比較可能な胸骨上の直線方向に限定した（写真5）。深さの比率については、搬送前に適正な圧迫位置において測定した深さを基準（100%）とし、搬送後の深さを百分率（%）で表した。



写真5 計測するずれの方向

(2) 人工蘇生器の設定による比較（検証2）

人工蘇生器の設定のために要する時間、胸骨圧迫中断時間及び設定による活動隊員の負担を調べるため、心肺蘇生法（以下「CPR」という。）を実施しながら人工蘇生器を設定する検証を実施した（表2）。

ア 測定条件

- (7) 被験者3名で仮想の救急隊（隊長、隊員、機関員）を編成した。なお、隊長が人工呼吸、隊員が用手による胸骨圧迫、機関員が人工蘇生器の設定に役割を固定し実施した。
- (4) 被験者は事前に3機種の人工蘇生器の取り扱い訓練及び活動の流れの訓練を合計1時間行った。
- (7) 実施する機種の順番はランダムとした。

イ 実施日

平成26年11月5日（水）、11日（火）、12日（水）、20日（木）

ウ 実施場所

東京消防庁消防技術安全所2階 運動学実験室

エ 被験者

当庁職員6名で男性5名、女性1名を被験者とした。平均年齢は35.3±2.8歳、平均身長は170.5±9.9cm、平均体重は63.3kg±11.1kgであった。救急資格者の内訳は、救急救命士の資格を有する者が1名、救急技術認定者が5名であり、救急隊経験年数の平均は4年10ヵ月であった。

オ 測定項目

- (7) 人工蘇生器の設定を完了するまでに要した時間（表2の②から⑤まで）

機種毎に3回連続測定を実施し、最短で完了した時間を測定結果とした。

- (4) 胸骨圧迫の中断時間（表2の③と④の合計）

機種毎に3回連続測定を実施し、最短の中断時間を測定結果とした。

(7) VAS

①設定難易度（「とても容易」を0ポイント、「とても困難」を100ポイントとした）、②山岳救助現場使用意欲（「積極的に使用したい」を0ポイント、「使いたくない」を100ポイントとした）に対し、評価させた。

(エ) 自由記述

検証を実施して気付いたことを自由に記述させた。

表2 活動の流れ

活動状況	活動内容
	① [活動開始前] ただちにCPRを開始できる資器材の配置とするが、人工蘇生器については本体ケースに収納された状態とする。
	② [活動開始] CPR、人工蘇生器の設定の準備を開始する。
	③ [胸骨圧迫中断時間] 人工蘇生器の設定準備が完了したら、CPRを中断、訓練用人形をバスケットストレッチャーに収容し、CPRを再開する。
	④ [胸骨圧迫中断時間] 再度CPRを中断し、バスケットストレッチャーに収容した訓練用人形に人工蘇生器を設定する。
	⑤ [活動終了] 人工蘇生器による胸骨圧迫を開始する。安定用ストラップ等の必要な措置がすべて完了した時点で活動終了とする。

(3) 傾斜による比較（検証3）

傾斜地での人工蘇生器による胸骨圧迫の質を調べるため、水平位置から角度を変え人工蘇生器を稼働させる検証を行った（写真6）。

ア 測定条件

- (7) バックボードに位置がずれないように人工蘇生器を固定した。さらに、腰部ベルトのみを用いて訓練用人形をバックボードに固定した。
- (4) 各機種ともに傾斜角度を15度、30度、45度に設定した。
- (7) 予備検証より各機種とも40秒程度で胸骨圧迫の位置及び深さに変化が見られなくなったことから、計測時間を1分とした。
- (エ) 山岳救助現場での搬送を想定しているため、傾斜方向は進行方向に対し、上下のみとした。

イ 実施日

平成26年11月20日（木）

ウ 実施場所

東京消防庁消防技術安全所2階 運動学実験室

エ 測定項目

胸骨圧迫位置のずれの大きさ及び深さの比率について、(1)オ(エ)と同様の方法で、人工蘇生器稼働前後での変化を測定した。

バックボード



写真6 検証3の様子

4 結果

(1) 検証1の結果

ア 平均心拍数

機種毎に算出した平均心拍数は図3のとおりであった。機種毎における平均心拍数の差が有意であるか、一元配置分散分析多重比較法（以下「分散分析」という。）を用い分析したところ、それぞれの機種の間で有意な差は見られなかった。なお、図3において製品Aに限り、動力源となるポンペを背負った被験者（3名）の結果を製品A有、それ以外の被験者（9名）の結果を製品A無しとし、合わせた製品Aの被験者全体の結果を製品Aとして表記した。（以下、図中において1%有意は**、5%有意は*で表す。）

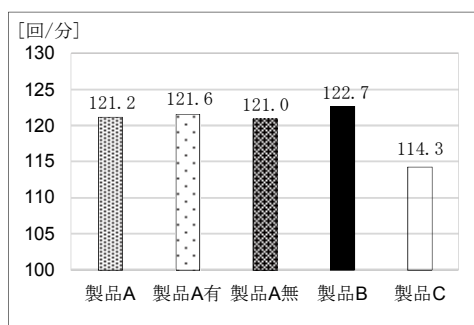


図3 平均心拍数

イ VAS

各機種における平均は図4のとおりであり、分散分析を用い分析したところ、それぞれの機種の間で有意な差は見られなかった。なお、製品Aの結果に関しては、アと同様に表記した。

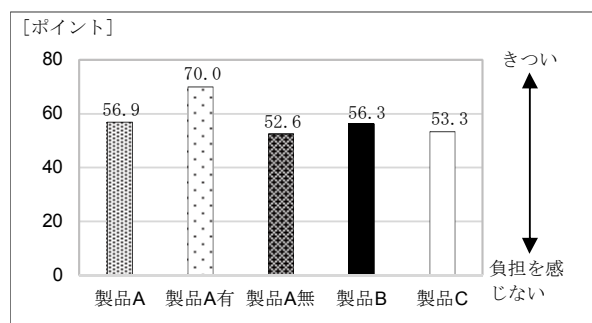


図4 身体的負荷度のVAS

ウ 胸骨圧迫位置のずれの大きさ及び深さの比率

胸骨圧迫位置のずれの大きさ及び深さの比率について、実施した3隊の結果を機種毎に平均した値を表3に示す。位置のずれ、深さの比率ともに製品Bの変化が最も大きく、製品Cが最も小さかった。位置のずれの方向は、製品Bのみ適正位置から足部側へずれ、製品A及び製品Cは頭部側へずれる結果となった。

表3 胸骨圧迫位置のずれの大きさ及び深さの比率

	ずれの大きさ [mm]	深さの比率 [%]	ずれの方向
製品A	26	90.4	頭部側
製品B	33	79.3	足部側
製品C	12	100.0	頭部側

(2) 検証2の結果

ア 人工蘇生器の設定を完了するまでに要した時間

各機種における平均時間は図5のとおりであり、分散分析を用い分析したところ、製品Aと製品B、製品Aと製品Cの間で有意な差が見られた。

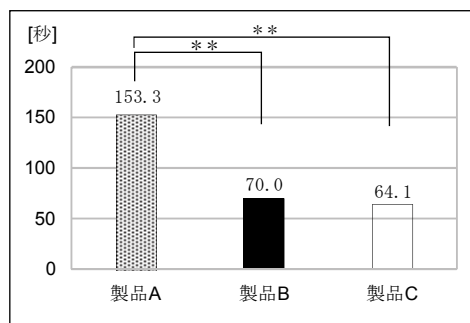


図5 設定完了までの時間の平均

イ 胸骨圧迫の中断時間の合計

各機種における胸骨圧迫の中断時間の合計は図6のとおりであり、分散分析を用い分析したところ、製品Aと製品Cの間に有意な差が見られた。

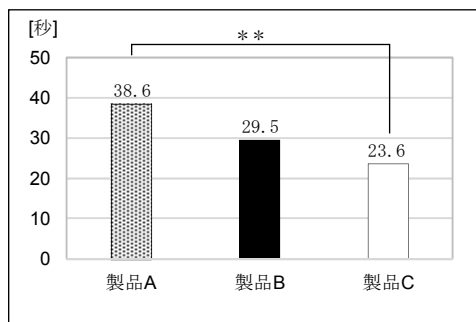


図6 胸骨圧迫の中断時間合計の平均

ウ VAS

(7) 設定難易度

各機種における平均は図7のとおりであり、分散分析を用い分析したところ、製品Aと製品B、製品Aと製品Cの間にそれぞれ有意な差が見られた。

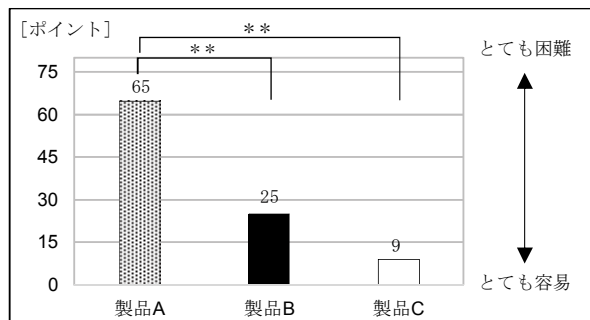


図7 設定難易度のVAS

(4) 山岳救助現場使用意欲

各機種における平均は図8のとおりであり、分散分析を用い分析したところ、製品Aと製品C、製品Bと製品Cの間にそれぞれ有意な差が見られた。

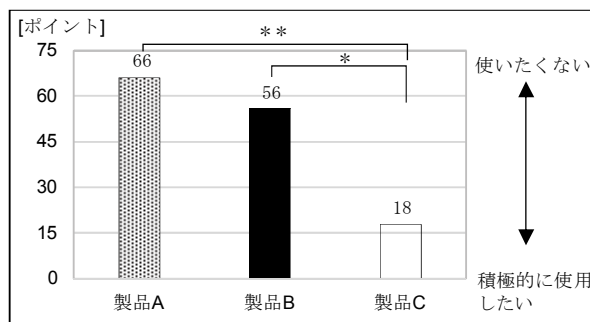


図8 山岳救助現場使用意欲のVAS

(3) 検証3の結果

ア 胸骨圧迫位置のずれの大きさ

傾斜角度を変化させた際の胸骨圧迫位置のずれの大きさは図9のとおりで、解析ソフトによる圧迫位置の評価は3機種ともに全ての角度において常に「適切」であった。

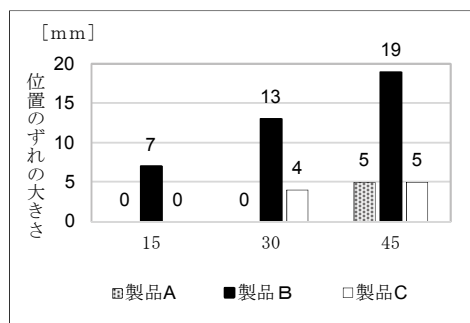


図9 胸骨圧迫位置のずれの大きさ

イ 胸骨圧迫深さの比率

傾斜角度を変化させた際の胸骨圧迫深さの比率は図10のとおりであった。

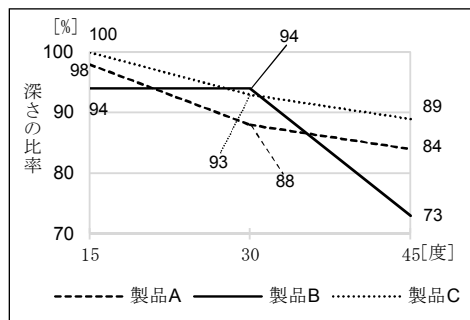


図10 胸骨圧迫深さの比率

5 考察

(1) 諸元・性能比較

表1で示した諸元・性能について比較し考察する。ポンベ又はバッテリーを含んだ各機種の重量を比較すると製品Aが最も重く、製品Cが最も軽い。動力源の予備のポンベ又はバッテリーの携行は必須であるから、予備のポンベ又はバッテリーを含めると、製品Aが約19kg、製品Bが13.9kg、製品Cが8.4kgとなり、3機種の重量に差があることが分かる。また、ポンベはバッテリーと比べて大きく重いため携行が困難であることが考えられる。稼働時間は予備の動力源を含めると、製品Aで約48分、製品Bで約1時間、製品Cで約1時間30分となり、人工蘇生器の稼働時間に差が出てくることが分かる。また、予備の動力源を交換する際の操作についても相違点がある。製品Aは動力源が圧縮酸素又は圧縮空気なので、交換する際にいったんポンベを閉鎖し機器に残存する空気圧を抜いてから充填済みのポンベを再度取り付けなければ

ばいけない。製品Bのバッテリー交換は本体の側面でバッテリーの抜き差しをする必要があり、傷病者を収容したバスケットストレッチャー上で行う操作としては簡便とは言えない。製品Cは本体の上部にバッテリーがセットされるため、上方からバッテリー交換するのみであり、最も簡便であると言える。

(2) 検証1について

ア 身体的負荷

平均心拍数およびVASに関して3機種間で有意な差は見られなかった。ただし、製品Aについては、ポンペを搬送しなかった被験者9名のVASが52.6ポイントであるのに対し、ポンペを搬送した被験者3名のVASは70.0ポイントと高くなった。これは、ポンペの重量が主観的な身体的負荷に影響したと考えられる。

イ 自由記述

重さや負担感に関しては3機種間で異なり、製品Aは、「資器材が重く、大きい。予備ポンペを含めるとさらに重くなる」(4名)や「ポンペを背負う担当者の負担が大きい」(3名)と重さや動力源となるポンペ搬送者への負担の記述が多くなり、デメリットを挙げる回答が多かった。製品Bに関しては、表1の外形寸法のとおり機器本体とバスケットストレッチャーとの接地面積(幅×長さ:46cm×82cm)が最も大きいことから推測できるように、「形状に安定感があり、圧迫位置がずれにくい感じがする」(3名)や「重量バランスが比較的均等である」(1名)と安定感を挙げる回答が多かった。一方で、「他の機種と比べて重く感じた」(4名)と重さのデメリットを挙げる回答も多かった。製品Cに関しては、軽量感が挙げられる一方、「特に不都合はなかったが、人工蘇生器の重心が高いので横に揺れる」(8名)や「左右の揺れで、実際の傷病者の重みでは、蘇生器が外れてしまうのでは」(1名)という左右の揺れに対する回答が多かった。これはバックプレートと呼ばれる傷病者の背中側に装着する背板が若干湾曲していることが原因と考えられる(写真7)。



写真7 製品Cのバックプレート

ウ 胸骨圧迫位置のずれの大きさ及び深さの比率

3機種の中で圧迫位置が最もずれたのは製品Bで、これは他の2機種と圧迫方式が異なり、本体に装着されたベルトが収縮し胸部を全周性に圧迫するので、圧迫解除時に緩みが生じ、傾斜角度があるとずれやすいことが影響していると考えられる。製品Bのみ圧迫位置が足部側へずれていったのは、訓練用人形の体幹部の厚みが胸部

から腹部にかけて薄くなっていることが原因と考えられる(写真8)。

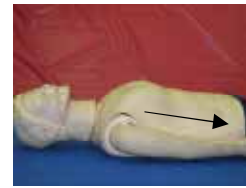


写真8 訓練用人形の体幹部の厚み

製品Cは圧迫位置にずれがあったものの、胸骨圧迫深さの比率は変化しなかった。これは第一に、圧迫位置のずれが12mmと小さかったことが主要因だと考えられ、ずれが小さかったのは、圧迫解除の際も吸着カップが訓練用人形と密着していたことが影響していると考えられる。第二に、製品Cは圧迫パッドによる面での圧迫の方式であることが影響していると考えられる(写真9)。一方、製品Aはパットが球状であるため、圧迫解除時にパットと訓練用人形の接地面が小さく圧迫位置がずれやすい。また、球状のパットは圧迫位置の少しのずれでも圧迫の質の低下につながりやすい構造と言える(写真10)。



写真9 製品Cの吸着カップと圧迫パッド

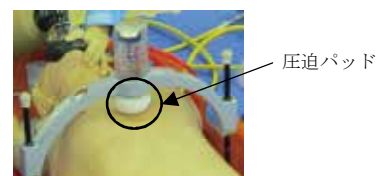


写真10 製品Aの圧迫パッド

(3) 検証2について

人工蘇生器の違いが救急隊による模擬活動に与えた影響を検証したところ、設定完了までに要した時間は、製品Aが製品B及び製品Cに比べて約2倍の時間を要し、製品Aと製品B、製品Aと製品Cの間に有意な差がみられた。これは、製品Aの動力源が空気ボンベであり、設定完了までに組み立てる部品数が多いことが影響していると考えられる。胸骨圧迫の中断時間に関しては、製品Aが最も長いことが分かり、製品Aと製品Cの間に有意な差がみられた。傷病者をバスケットストレッチャーに収容するまでは胸骨圧迫の中断時間に差はなかったことから、中断時間の合計の差の15秒は、傷病者の胸部上で行う設定操作の違いから生じていると考えられる。

アンケートによる VAS の結果では、全ての項目において製品 A が最も高いポイントとなり、製品 C が最も低いポイントとなった。「設定難易度」、「山岳救助現場使用意欲」において、製品 A と製品 C 間で有意な差がみられた。製品 B と製品 C との間で有意な差がみられたのは「山岳救助現場使用意欲」であった。自由記述では、操作性と重さに関する記述が多く、その中でも簡便さと軽量感について製品 C が優れているという回答が多くを占めた。製品 A については、デメリットの記述が多く、製品 B については、重さや操作性で製品 C よりやや劣るという記述が多くを占めた。以上のことから、容易に負担感なく設定を完了し、早期に搬送開始し CPR の中断時間をできる限り短縮するには、製品 B 又は製品 C の活用が望ましいと考えられる。また、VAS の「山岳救助現場使用意欲」と自由記述の結果から、救急隊による主観的な評価は、製品 B より製品 C の方が高かった。

(4) 検証 3 について

製品 B を装着した状態で傾斜させた際の胸部圧迫ベルトのずれについては、角度をつけるごとに圧迫位置のずれが大きくなった報告²⁾があるが、本検証では 3 機種の人工蘇生器を訓練用人形に装着し稼働させ、圧迫位置のずれと圧迫深さを計測し、3 機種共に傾斜角度が大きくなるほど圧迫位置がずれ、圧迫が浅くなる傾向があることが分かった。傾斜角度が 15 度までであれば、製品 A と製品 C は圧迫位置のずれがなく、圧迫深さの比率もほぼ変化がなかった。製品 A は 15 度、30 度の傾斜角度であってもずれが生じないが、圧迫深さの比率が変化することから、圧迫位置にずれは生じなくても傾斜角度の変化が胸骨圧迫の深さに影響を及ぼすことが分かる。3 機種共に 45 度の傾斜角度では、圧迫の深さが少なくとも 10% 低下することが分かった。このような傾斜での対応方策として、傾斜時はなるべく傷病者の水平を保つように搬送するとともに、圧迫位置がずれていないかを常に確認することが望ましいと言える。製品 C の傾斜角度 45 度設定時のみ、圧迫の度に訓練用人形の上体が起き上がったのは、訓練用人形及びバックプレートが軽量であり、製品 C のバッテリーが上部にあることで重心が高くなるため、上半身部分のモーメントが大きくなることが原因だと考えられる。製品 C を 45 度以上の傾斜角度で活用するのであれば、傷病者の上半身をバスケストレッチャーに固定する措置が必要になると思われる。

6 まとめ

- (1) 山岳救助時における活動隊員の負担軽減に着目すると、傷病者搬送時において 3 機種間に有意な差はなかったが、人工蘇生器の設定時において製品 A が最も時間を要し、他の 2 機種と有意な差があった。
- (2) 絶え間ない胸骨圧迫の実施に着目すると、製品 C は稼働時間が 3 機種の中で最も長く、かつ胸骨圧迫の中断時間が最も短かった。

- (3) 胸骨圧迫位置及び深さに着目すると、3 機種の中で製品 C の圧迫位置のずれ、深さの比率共に変化が最も小さかった。

7 おわりに

質の高い胸骨圧迫を維持するには、適正な圧迫の位置を維持することが重要である。ずれることなく最適な位置で圧迫し続けることにより、質の高さを維持し、胸郭及び内臓の損傷の危険性を低減できる。したがって、今後は圧迫位置がずれる可能性の高い急勾配での搬送において、傷病者及び人工蘇生器の固定方法や搬送方法の検討が必要である。

本検証では傷病者を模擬するため、訓練用人形を用いて検証を実施したが、訓練用人形の重量等を変更した場合や実施できる範囲内で生体を対象として行った場合に相関性が見られるか確認する必要がある。また、本検証では 3 種の人工蘇生器の胸骨圧迫の質を用手による胸骨圧迫の訓練を目的とした訓練用測定機器である訓練用人形と解析ソフトを用いて評価したが、今後は胸骨圧迫の質の測定方法も検討の余地がある。

[参考文献]

- 1) 赤野史典、坂田雄一、日高一誠、高井啓安、下畑行盛、宮尾雄三：胸骨圧迫が困難な状況下での適切な処置継続のための方策についての検証、消防技術安全所報 46 号、p p 51－58、2009 年
- 2) 田中秀治、前住智也、伊藤進、細川晃央、鈴木健介、白川透：搬送機能を付加した Load-distributing band vest CPR 装置の開発と効果の検討、財団法人救急振興財団 救急に関する調査研究事業 平成 19 年度助成対象事業完了報告書

Study on Effective Cardiopulmonary Resuscitation in Mountain Rescue Efforts

Genki FUCHITA*, Takashi UZAWA**, Masunari HARADA***, Kenji SATO***,

Tsuguo GENKAI***

Abstract

During mountain rescue efforts, cardiopulmonary resuscitation is currently performed onsite on cardiopulmonary arrest victims either by hand or with a resuscitator. Steep slopes and rough mountain paths may make it extremely difficult to effectively perform manual cardiopulmonary resuscitation (CPR), however. Furthermore, since the resuscitators currently used require an air cylinder to work, the transportation of equipment involves a large burden due to the weight.

This study's goal was to contribute to both the consistent implementation of high-quality CPR during mountain rescue efforts and the reduction of the burden on operational personnel by studying and comparing three resuscitator models.

The results of this study found significant differences between the models in terms of the resuscitator setup time, the intermission time between CPR, and the subjective evaluations based on VAS.