

## 被験者を用いた胸腹部圧迫の呼吸変動に関する実験

鈴木 基継<sup>\*1</sup>, 望月 康廣<sup>\*2</sup>, 西本 哲也<sup>\*3</sup>, 本村 友一<sup>\*4</sup>, 北岡 哲子<sup>\*5</sup>, 宇治橋 貞幸<sup>\*6</sup>

### Experiment of Breath variation on Thoraco-abdominal Press on Human subject

Mototsugu SUZUKI<sup>\*1</sup>, Yasuhiro MOCHIZUKI<sup>\*2</sup>, Tetsuya NISHIMOTO<sup>\*3</sup>,  
Yuichi MOTOMURA<sup>\*4</sup>, Tetsuko KITAOKA<sup>\*5</sup>, Sadayuki UJIHASHI<sup>\*6</sup>

<sup>\*1</sup> College of Engineering, Nihon University, Visiting Researcher  
1 Nakagawawara, Tokusada, Tamuramachi, Koriyama, Fukushima

Thoraco-abdominal injury is the most dangerous trauma from press load is the most dangerous trauma for crowd accident. The purpose of this investigation is to understand criteria of this injury. In order to develop criteria for thoraco-abdominal injury from press load, the present study conducted volunteer experiment that applied mild press load and measured vital signs. As results, experimental condition of chest: 20kg abdomen: 30kg have a baneful influence on dynamic state of aspiration.

**Key Words** : Biomechanics, Crowd Accident, Asphyxia, Vital Signs, Injury Criteria, Volunteer Experiment

### 1. はじめに

多くの人が集まる場所では局所的に人が密集し、犠牲者が出るような群集事故に発展する場合がある。日本国内で発生した群集事故の中で明石花火大会の事故は一例としてあげられ、このときの死者数は11名、負傷者数は247名であると報告されている<sup>(1)</sup>。群集事故は国内だけでなく海外でも発生しており、数百名単位で負傷者が発生している。これらの群集事故を防止するために、群集流動のシミュレーションによる研究が行われている<sup>(2)</sup>。これらは鉄道駅や商業地区の歩行シミュレーションや防災避難のシミュレーションとして活用されている。しかし、これらの技術は群集の密度を予測することはできるが、事故時の傷害の内容や程度を予測するには至っていない。自動車事故時の人体衝撃耐性と同様に、群集事故時の人体圧迫耐性クライテリアを定めることで、施設の建設やイベントの群集誘導の計画段階からの具体的な安全対策が可能になると考えている。

そこで、本研究では実験的手法を用いて胸腹部圧迫時の窒息の危険性を定量的に評価する指標について検討した。具体的には、群衆事故を想定した生体データを計測するため被験者実験を実施した。胸腹部に荷重を同時に負荷し、その経過時間に対する官能評価とバイタルサインを計測した。

### 2. 被験者胸腹部圧迫実験の方法

被験者実験は日本医科大学千葉北総病院の倫理委員会によって承認され、同病院において医師立会いのもと行われた。被験者は事前に実験内容の説明を受け、同意書に署名した20代の日本人成人女性5名である。Fig 1に実験の概略図を示す。幅の広いベルトを用いて仰臥位の被験者の胸部と腹部に同時に荷重を負荷した状態を20分間維持し、バイタルサインを計測する。荷重条件をTable 1に示す。ただしTest type Cのsubject5の実験におい

<sup>\*1</sup> 非会員, 日本大学工学部客員研究員 (〒963-1165 福島県郡山市田村町徳定字中河原1番地)

<sup>\*2</sup> 学生員, 日本大学大学院

<sup>\*3</sup> 正員, 日本大学工学部

<sup>\*4</sup> 非会員, 日本医科大学千葉北総病院

<sup>\*5</sup> 正員, 東京工業大学

<sup>\*6</sup> 正員, 日本文理大学

E-mail: tmishi@mech.ce.nihon-u.ac.jp

では医師の判断により 15 分で中断した。モニタリング項目を Table 2 に示す。苦しさの評価には修正ボルグスケール(Table 3)を用い、10 段階で評価した。

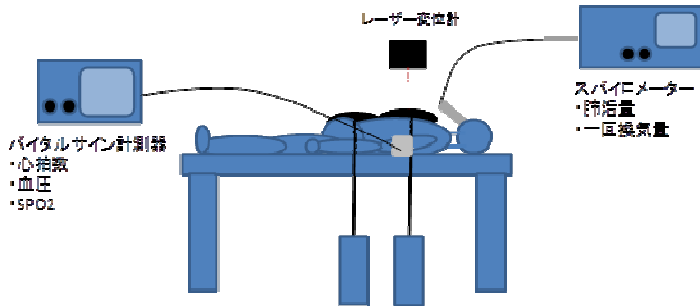


Fig. 1 Subject experiment model

Table 1 Load condition

Test type	Thorax	Abdomen	Subject No.
A	20kg	10kg	1,2
B	20kg	20kg	3,4,5
C	20kg	30kg	3,4,5

Table 2 Monitoring item

Monitoring item	Sampling period
Abdominal depth	50 msec
Heart rate (HR)	2 min
Blood pressure(BP)	2 min
Oxygen saturation(SpO2)	2 min
Vital capacity(VC)	5 min
Tidal volume(Vt)	2.5 min
Organoleptic evaluation	2 min

Table 3 Modified Borg Dyspnea Scale

0	感じない (nothing at all)
0.5	非常に弱い (very very slight)
1	やや弱い (very slight)
2	弱い (slight)
3	
4	多少強い (some what severe)
5	強い (severe)
6	
7	とても強い (very severe)
8	
9	非常に強い (very very severe)
10	これ以上耐えられない (maximal)

### 3. 実験結果と考察

#### 3・1 胸腹部圧迫時の呼吸変動

Fig.2 に各荷重条件における胸腹部圧迫の持続時間に対する肺活量の計測結果を示す。肺活量は 5 分毎に計測した。負荷した時間を時刻 0min とし、20min で除荷している。負荷前後のプロットは無負荷時に仰臥（ぎょうが）位での肺活量である。

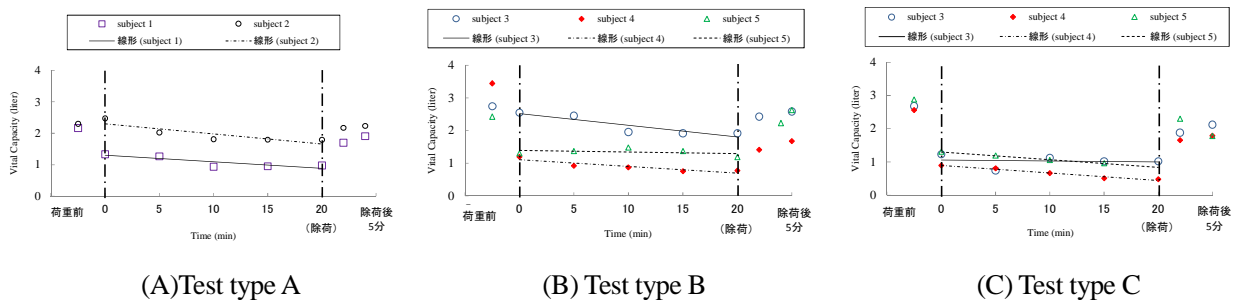
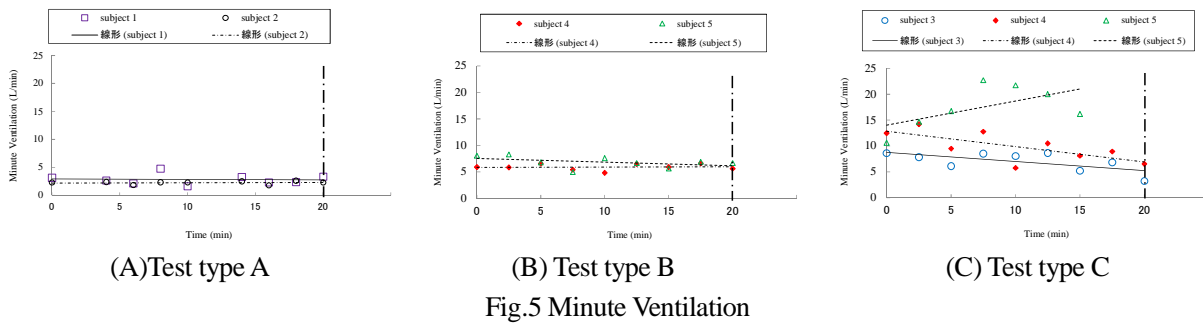
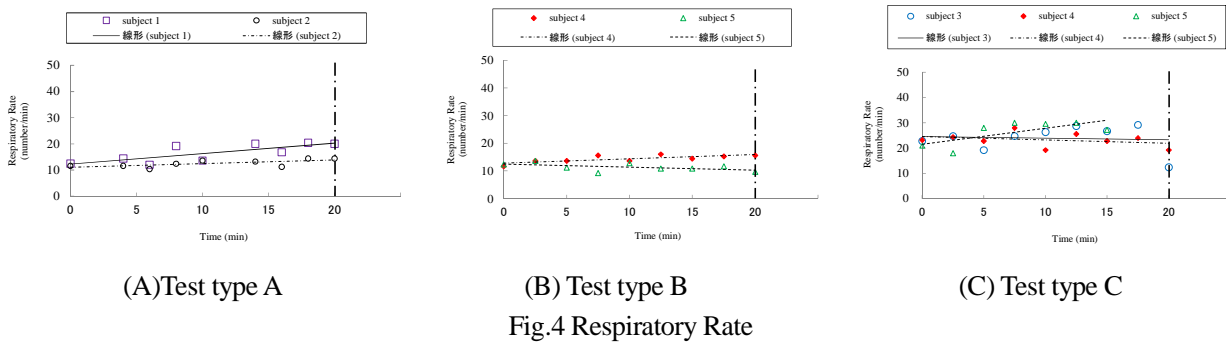
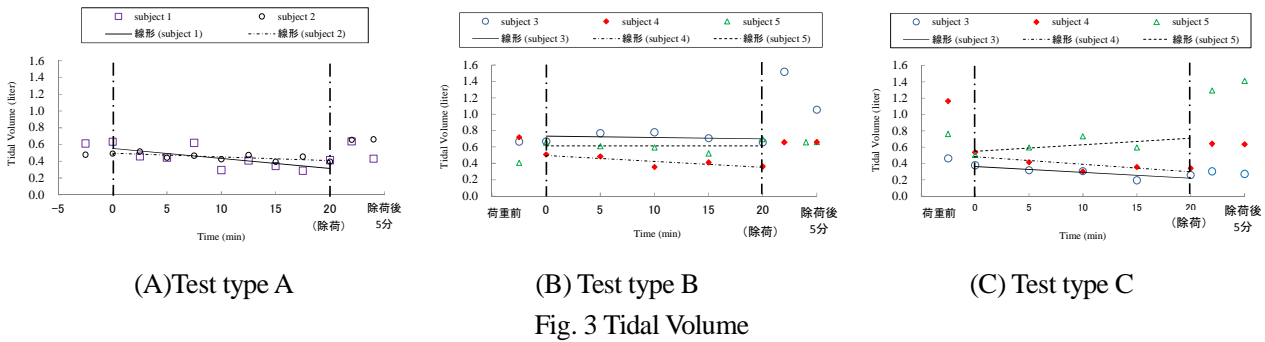


Fig. 2 Vital Capacity

各々の被験者の個体差はあるが、全ての荷重条件で全ての被験者が胸腹部圧迫時の持続時間の経過とともに肺活量が減少した。肺活量は呼吸筋の最大発揮筋力によって得られる努力呼吸量である。この値が減少するという事は呼吸筋力が低下していることを示唆する。また荷重除荷後の肺活量に着目すると、5分後には肺活量が負荷前の値にほとんど戻っていることがわかる。次に荷重条件の違いに着目すると Test type C において荷重直後の肺活量が 1L 付近に集中していることがわかる。これは Test type C の荷重条件が人体の呼吸に一定の影響を与え

る条件であることを示唆している。Test type A と B では、C に比べて腹部荷重が軽度であり、被験者それぞれの呼吸筋の最大発揮筋力が支配的であることが考えられる。

Fig.3 に 1 回換気量、Fig.4 に呼吸数、Fig.5 に分時換気量の計測結果を示す。1 回換気量は 2.5 分おきに 3~5 回の計測結果を平均し、算出した。呼吸数はレーザー変位計による胸部高さ変位の時刻歴から呼吸数を読み取った。分時換気量は 1 回換気量と 1 分間あたりの呼吸数の積で求めることができる。



1 回換気量とは 1 呼吸の呼気量である。Test type C の subject3 を除き、肺活量と同様に持続時間の経過とともに 1 回換気量が減少した。肺活量同様に呼吸筋力の低下が示唆されている。しかし、15 分で中断した Test type C の subject3 の場合のみ増加している。これは荷重に対して耐性限界に近い場合、無意識に努力呼吸をしていると考えられる。荷重条件の違いによる 1 回換気量への明確な影響は確認されなかった。

また分時換気量とは 1 分間に行った呼吸による肺の全換気量である。荷重持続時間の経過に伴う増減は個々によって異なるが、荷重条件に着目すると荷重条件が厳しいほど分時換気量が増えていることがわかる。Test type B と C に着目して比較すると、Test type B は 1 回換気量で分時換気量を確保しているのに対し、Test type C では 1 回換気量は少ないが呼吸数が多いことがわかる。これは、呼吸筋の疲労を補いながら分時換気量を確保するための無意識下の対策であると考えられる。Test type A と B は荷重負荷直後の呼吸数が 10 付近であるのに対して、Test type C では 20 付近に集中していることがわかる。肺活量と同様に呼吸数においても Test type C の荷重条件が人体の呼吸に一定の影響を与える条件であることを示唆していると考えられる。

### 3・2 胸腹部圧迫時の官能評価

Table3 に示す修正ボルグスケールに基づき、身体にかかる荷重の官能評価を行った。ボルグスケールとは負荷に対する感覚を数値化する指標である。Table3 に示すとおり感覚に相当する数値を 2.5 分毎に評価した結果を Table 4 に示す。Fig.6 には荷重条件ごとの官能評価の平均値を示す。

Type A の条件では、時間が経過しても評価値の上昇が少ない。また、評価値のばらつきが大きい。Type B の条件では、荷重初期は Type A と同等であるが 10 分を経過すると評価値が上昇する。Type C では荷重負荷直後から評価値が高い。経過時間とともに評価値が上昇し、遅くとも 20 分で非常に強いと感じる。また Type B , Type C においては荷重を除いた後でも、弱い負荷を感じ続けた。

前述の呼吸変動の荷重と官能評価をあわせて考えると、Test type C (胸部荷重 20kg, 腹部荷重 30kg) の負荷がかかったときに「とても強い」と感じ、努力呼吸においても 1L 程度の換気が限界であると言える。

Table 4 Result of Organoleptic Evaluation

Test type	A			B				C			
Thorax	20kg			20kg				20kg			
Abdomen	10kg			20kg				30kg			
Time [min]	subject 1	subject 2	AVERAGE	subject 3	subject 4	subject 5	AVERAGE	subject 3	subject 4	subject 5	AVERAGE
0	2.5	6	4.25	5	4	4	4.33	7	5	9	7.00
2.5	2.5	6.5	4.50	5	4	5	4.67	7	5	9	7.00
5	2.5	7	4.75	5	5	5	5.00	8	6	9	7.67
7.5	2.5	7	4.75	5	5	5	5.00	8	6	9	7.67
10	2.5	7.2	4.85	5.5	5	6	5.50	8	7	9	8.00
12.5	2.5	6.8	4.65	6	6	6	6.00	8	7	9	8.00
15	2.5	7.2	4.85	6	6	6	6.00	8	8	9	8.33
17.5	2.5	7.4	4.95	6	7	6	6.33	9	8		8.50
20	2.5	7.5	5.00	6	8	6	6.67	9	9		9.00
22.5	0	0	0.00	0	1	1	0.67	1	0	0.5	0.50
25	0	0	0.00	0	0.5	0	0.17	0.5	0	0	0.17

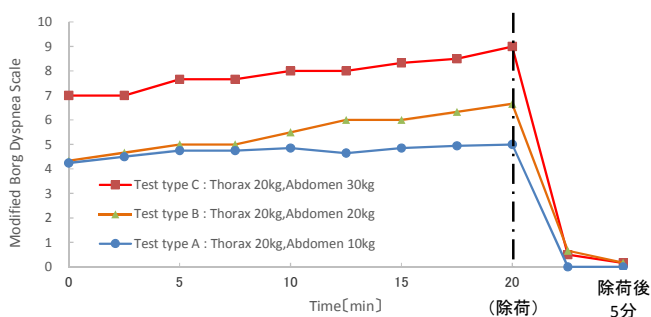


Fig.6 Average of Modified Borg Dyspnea Scale

## 4. 結言

本研究では実験的手法を用いて胸腹部圧迫時の窒息の危険性を定量的に評価する指標について検討した。その結果、胸部に 20kg、腹部に 30g の荷重条件が人体の呼吸に一定の影響を与えることが分かった。

## 文 献

- (1) 明石市民夏まつり事故調査委員会, “第 32 回明石市市民夏まつりにおける花火大会事故調査報告書”, (2002)
- (2) 群集安全工学, 鹿島出版会