

論文内容の要旨

Mechanism of respiratory failure in fatal crowd accidents  
using a thoracoabdominal compression model of traumatic asphyxia

外傷性窒息の胸腹部圧迫モデルを使用した  
致命的な群集事故における呼吸不全のメカニズム

日本医科大学大学院医学研究科 外科系救急医学

研究生 本村友一

Journal of Nippon Medical School 第86巻 第6号 (2019) 掲載予定

## 【背景】

世界的にイスラム教巡礼、スポーツイベントおよび花火大会（日本では 2001 年明石市）などにおいて群集が連動して倒れる群集事故がしばしば発生し数百人規模の死亡者が発生している。この際の主な死因は、「外傷性窒息」と考えられている。外傷性窒息とは、胸部を強く圧迫されることで呼吸が障害され、呼吸不全による低酸素脳症から死亡に至り得る外傷形態とされている。しかしながら、その圧迫条件（圧迫部位、負荷の大きさ、負荷時間）と医学的事象（呼吸不全、低酸素脳症、死亡など）の関係は明らかになっていない。本研究では、成人女性の「呼吸不全」を引き起こす胸腹部圧迫状態（負荷の大きさ、負荷時間）を推定することを主目的とした。また、胸部圧迫と腹部圧迫が呼吸機能に及ぼす影響の大きさを明らかにすることを目的とした。

## 【方法】

14 人の健康な成人女性被験者（仰臥位）に、合計 8 つの負荷パターン（A（胸部負荷：0 kg、腹部負荷：10 kg）、B（0、20）、C（10、0）、D（10、10）、E（10、20）、F（20、0）、G（20、10）、H（20、20））（表 1）（錘による重力負荷）を負荷した（最大 20 分間）。血圧、心拍数、呼吸数、SpO<sub>2</sub>、1 回換気量、肺活量、呼吸相、および修正 Borg 呼吸困難スコア（表 2）が経時的に測定された。各パターンにおける測定値の中央値を使用し、経時変化を Friedman test を使用し解析した。有意確立を 5% とし SPSS16.0 を使用した。

また、これらのデータをもとに呼吸筋の総体の疲労を表す、呼吸不耐性指数（BITI；breathing intolerance index）が算出された。吸気時間  $T_i$ 、1 呼吸サイクル時間  $T_{tot}$ 、1 回換気量  $V_t$ 、肺活量  $VC$  とするとき、 $BITI = (T_i/T_{tot}) \cdot (V_t/VC)$  で算出される。

## 【結果】

肺活量はパターン C、D、E、F、G、および H で経時的に減少した。BITI は、負荷パターン G（20、10）および H（20、20）で、0.15 以上の臨界範囲に達した（図 1）。BITI が臨界範囲に到達して約 45 分後に被験者は呼吸不全に陥るとされている。つまり、負荷パターン G および H では負荷開始から 1 時間以内に呼吸不全に陥ると考えられた。また、肺活量  $\leq 1.85$  L および修正 Borg 呼吸困難スコア 8.3 以上は、BITI 0.15 以上に対応し、臨界範囲への到達と同等と見なされた（図 2、3）。さらに、腹部負荷が一定に保たれた場合、胸部負荷量は BITI と正の相関があったが、胸部負荷が一定に保たれた場合、腹部負荷を変化させても BITI には有意な変化を認めなかった（図 4）。つまり、胸部負荷の増加が BITI の増加および呼吸不全の病態により強く関与すると考えられた。

## 【考察】

過去の実際の群集事故の犠牲者は子供や体格の小さな高齢者が大半を占めていた。子供や高齢者で本実験を行うことは倫理的にも安全面からも不可能であり、今回は成人男性に

比べ体格の小さな成人女性を被験者とした。

成人女性の場合、胸腹部の総負荷が体重の約 60%に過ぎない場合でも、呼吸筋の疲労により 1 時間以内に呼吸不全が発生する可能性がある。肺活量 $\leq$ 1.85L および修正 Borg 呼吸困難スコア 8.3 以上は、BITI 0.15 以上の臨界範囲とみなすことが可能で、呼吸不全を予測するための指標と考えられた。本研究は、これまで明らかではなかった外傷性窒息の発生条件と呼吸筋疲労の経時的な進行を明らかにした。外傷性窒息に関する臨床的基礎研究と考えることができ、マスギャザリング環境における空間への入場人数制限、群集事故予防を念頭に置いた建物や空間の設計など多方面に活用することで死傷の軽減に寄与できる可能性がある。

表 1 胸腹部の圧迫負荷パターン

		胸部 (kg)		
		0	10	20
腹部 (kg)	0		C(10, 0)	F(20, 0)
	10	A( 0,10)	D(10,10)	G(20,10)
	20	B( 0,20)	E(10,20)	H(20,20)

表 2 修正 Borg 呼吸困難スコア

スコア	呼吸困難の程度
0	感じない
0.5	非常に弱い
1	とても弱い
2	弱い
3	中等度
4	多少強い
5	強い
6	
7	とても強い
8	
9	非常に強い
10	最大限に苦しい

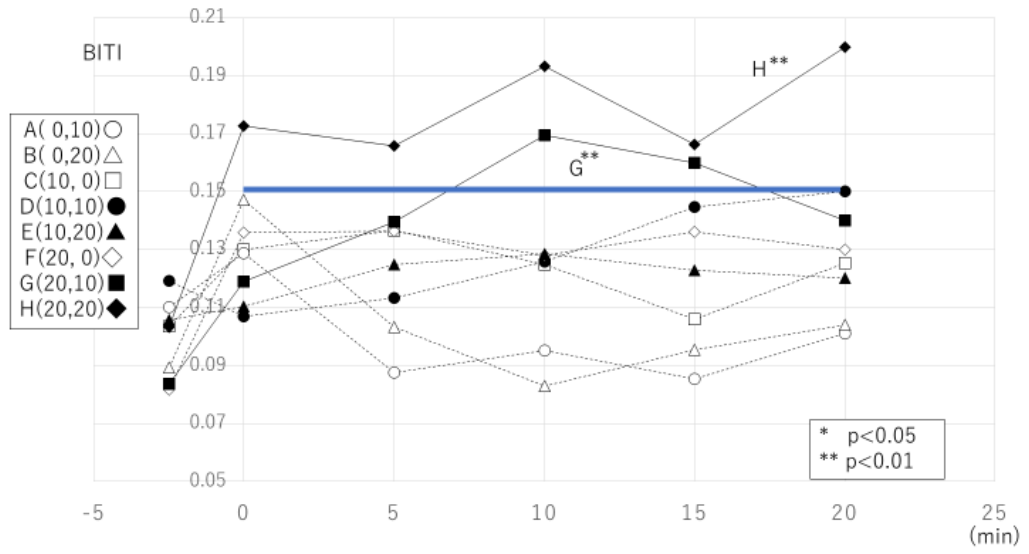


図1. BITI（呼吸不耐性指数）の経時的変化

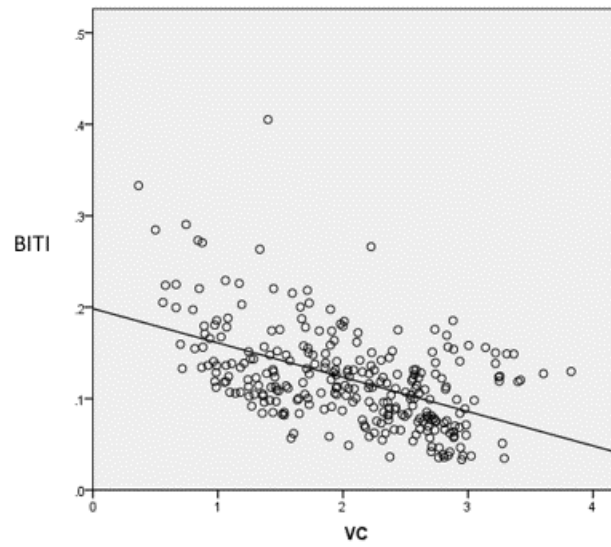


図2 肺活量（VC）とBITIの相関

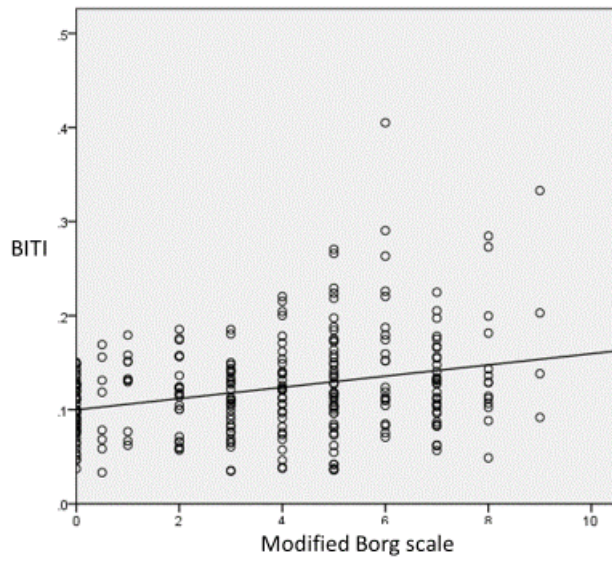


図3 修正 Borg スケールと BITI の相関

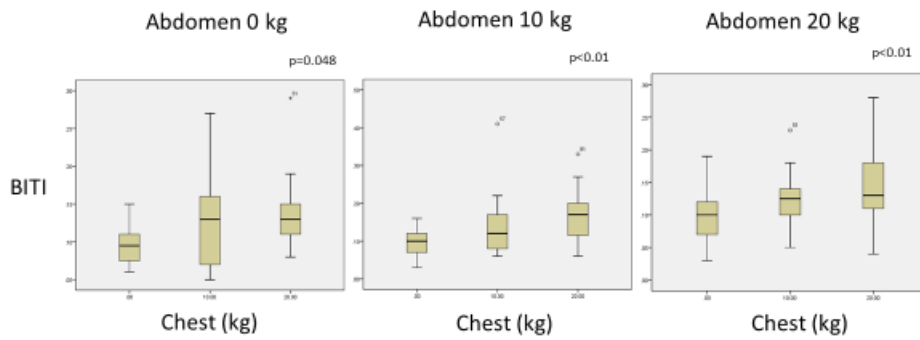


図4 腹部負荷一定 (0kg,10kg,20kg) で、胸部負荷を増加させたときの BITI の変化。