

胸腹部圧迫動物実験による群集事故時の各種バイタルサインの計測

望月 康廣^{*1}, 鈴木 基継^{*2}, 西本 哲也^{*3}, 本村 友一^{*4}, 宇治橋 貞幸^{*5}

Measurement of Vital Signs on Thoraco-abdominal Press on Animal Experiment Simulated Crowd Accident

Yasuhiro MOCHIZUKI^{*1}, Mototsugu SUZUKI^{*2}, Tetsuya NISHIMOTO^{*3},
Yuichi MOTOMURA^{*4}, Sadayuki UJIHASHI^{*5}

^{*1} Graduate School of Engineering, Nihon University
1 Nakagawawara, Tokusada, Tamuramachi, Koriyama, Fukushima

Press contusion in chest and abdomen is the most serious trauma for crowd accident. However, injury tolerance for this trauma has not been determined in the eyes of biomechanics research. In order to understand criteria for press injury, we conducted animal experiment in thoraco-abdominal stress. Change in animal state on static press obtains from blood gas analysis and vital signs. As a result, physiological situations on experimental animal are compounded by increase of load.

Key Words : Biomechanics, Crowd Accident, Asphyxia, Vital Signs, Blood Gas Analysis

1. はじめに

群集事故時に発生する胸腹部への長時間に渡る過度の荷重は事故被害者の生命を奪う危険性が高い。事実、2001年に発生した明石花火大会歩道橋事故では11名の事故犠牲者の内8名が胸部、あるいは胸腹部への圧迫荷重が原因となって死亡している⁽¹⁾。現在この事故に対する構造物や人工密度の安全性を評価する取り組みとして群集シミュレーションが盛んに実施されている。しかしながら現在のシミュレーションモデルでは群集の密集し易い場所を建築物の構造上から指摘することや群集の密度を予測することは可能であるが、胸腹部圧迫による群集の損傷リスクを予測するまでには至っていない。そのため、バイオメカニクスの検討に基づく胸腹部の圧迫耐性値が存在すれば、群集シミュレーションがより厳密な危険予測を実施可能となることが期待される。そこで本研究では群集事故における静的な胸腹部圧迫を想定した動物実験モデルを開発し、各種バイタルサインを計測することによって圧迫荷重下における損傷耐性値を検討した。

2. 動物実験モデル

現在の自動車安全領域では、胸部の損傷危険度を圧縮耐性と粘性耐性の観点から導出された耐性値を指標として予測を実施している。圧縮耐性では Kroell⁽²⁾⁽³⁾らによって提唱された解剖学的重症度の指標として用いられる Abbreviated Injury Scale(AIS)と胸部のたわみ量との相関を線形で表わした耐性値が用いられる。この傷害指標は特に圧縮速度が 3m/s 以下の領域で良く対応すると言われている。粘性耐性では Viano⁽⁴⁾らによって提唱された Viscous Criteria(VC)が用いられる。この指標は圧縮量に加え圧縮速度を考慮した指標であり、圧縮速度が 3m/s 以上、30m/s 以下の軟組織傷害で主に用いられる。以上現行の胸部損傷耐性値は群集事故の際に負荷される圧迫荷重と比して速度が高い領域が対象となっており、静的な荷重負荷が持続的に負荷された際の損傷を評価すること

^{*1} 学生員, 日本大学大学院 (〒963-1165 福島県郡山市田村町徳定字中河原1番地)

^{*2} 非会員, 日本大学工学部客員研究員

^{*3} 正員, 日本大学工学部

^{*4} 非会員, 日本医科大学千葉北総病院

^{*5} 正員, 日本文理大学

E-mail: ceys10001@g.nion-u.ac.jp

はできない。また、傷害の指標も解剖学的重症度との相関は取られているが、窒息傷害が対応する生理学的重症度との相関は評価対象外である。そのため、本研究では群集事故の傷害に即した傷害評価を取得するために Fig.1 に示す動物実験モデルを開発した。卓上に仰臥位に静置した動物に対して吸入麻酔によって深麻酔状態を維持する。深麻酔状態を維持した動物の胸腹部に荷重分散用の板を装着し、ラッシングベルトによってプロテクタ、動物、机を一体化する。この機構によってベルトの締め付け力が増加するとベルトの圧力がプロテクタに伝達し、動物に対して圧迫荷重を与える。また、荷重圧迫時の動物の生理学的状態変化を取得するため、バイタルモニタ（DYNASCOPE DS7141）によって心拍・SPO2を取得し、血液ガス分析装置（istat）によって血液ガス分析を実施した。また、本研究では合計3頭の動物を用いた実験を実施した。Table 1 に各供試体の実験条件を示す。体重50～90kgの動物を用いて実験を実施した。No.1の供試体には体重の約2.5倍、No.2の供試体には約2.1倍、No.3の供試体には約1.6倍の荷重を負荷した。荷重は約60分間持続し、供試体が心停止に至った場合には実験を中断した。なお、本研究は日本大学動物実験倫理委員会の倫理承認を得て実施した。

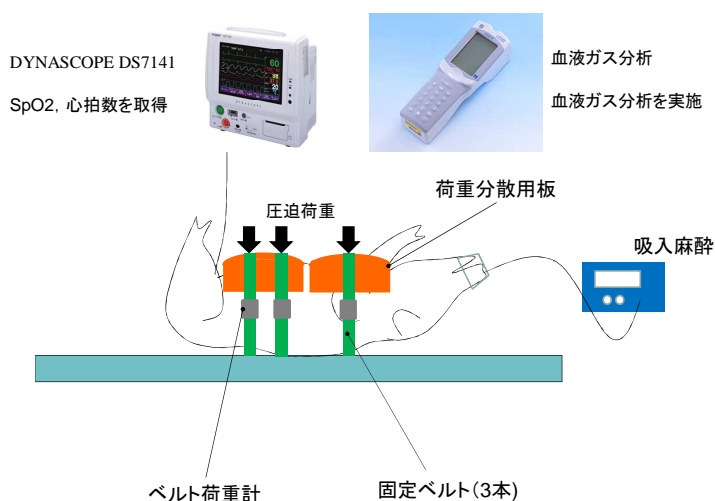


Table 1 Load condition

供試体No.	体重(kg)	負荷荷重(N)	負荷荷重/体重
No.1	73.4	2000	2.5
No.2	58.9	1800	2.1
No.3	91.9	1200	1.6

Fig. 1 Animal experiment model

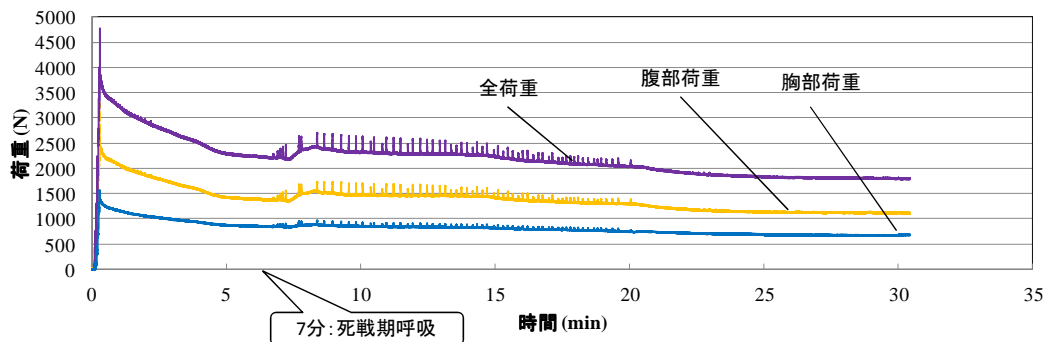
3. 実験条件

本研究では合計3頭の動物を用いた実験を実施した。Table 1 に各供試体の実験条件を示す。体重50～90kgの動物を用いて実験を実施した。No.1の供試体には体重の約2.5倍、No.2の供試体には約2.1倍、No.3の供試体には約1.6倍の荷重を負荷した。荷重は約60分間持続し、供試体が心停止に至った場合には実験を中断した。

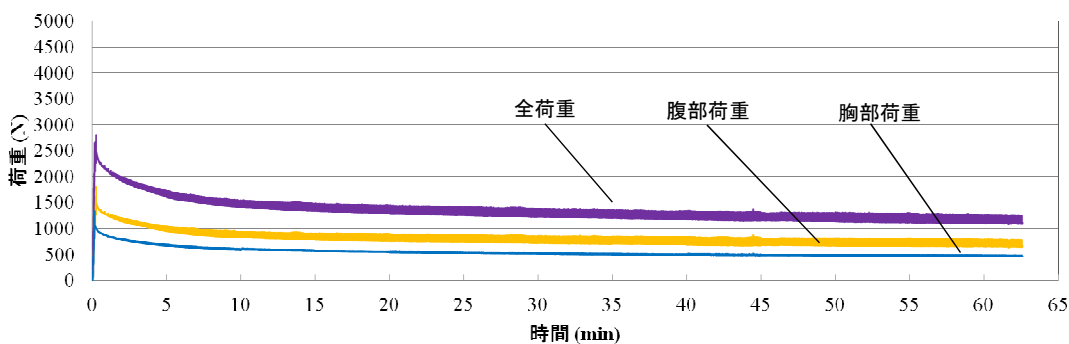
4. 実験結果

4・1 荷重負荷と状態異常

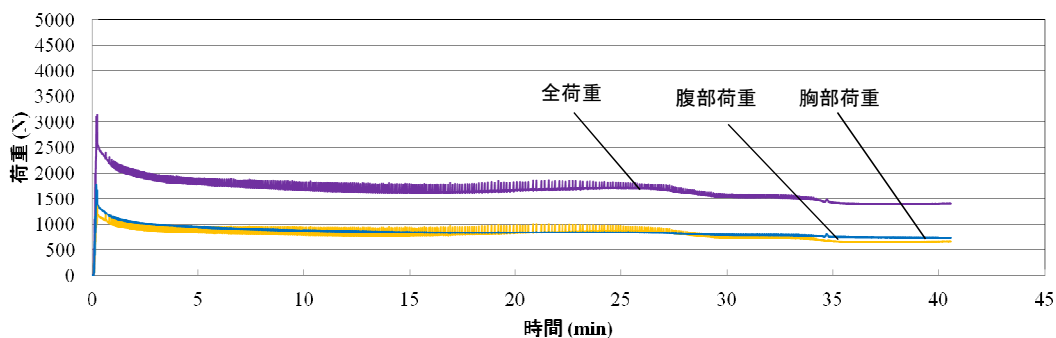
Fig.2 に No.1～No.3 供試体の荷重データを示す。生体動物の胸腹部は粘弾性特性を有するため、一時荷重がピークに達した後に次第に緩和し、一定の値に収束する応力緩和現象がどの供試体にもみられた。No.1 と No.3 の試験体は荷重開始約30分後と40分後にそれぞれ心停止に至ったため、荷重負荷を中断した。No.2の試験体では心停止に至ることは無かったため、60分間荷重を持続後、麻酔薬の過剰投与による安楽死を施した。また、本研究では動物の体重に対する割合で荷重条件を決定した。そのため体格差のあるNo.2、No.3 (No.2の供試体に比してNo.3の供試体の体重が大きくその差は33kgである。) 絶対的な負荷荷重がNo.2の供試体はNo.3の供試体を下回っている。また、No.1の試験体では荷重負荷開始後7分で死戦期呼吸が発生しており、早期から状態異常を呈した。



(a) No.1 (体重×2.5 倍の荷重)



(b) No.2 (体重×2.1 倍の荷重)



(c) No.3 (体重×1.6 倍の荷重)

Fig. 2 Load-Time curve on press experiment

4・2 バイタルサイン・血液ガス

Fig.3 に各供試体における心拍・酸素飽和度, Fig.4 に血液ガス分析(酸素分圧, 二酸化炭素分圧)の結果をそれぞれ示す. 心拍は心停止に至った No.1 と No.3 の供試体ではほぼ荷重中断の時刻と同期して 0 になった. 一方, 60 分間生存した No.2 の供試体では一定の区間を持続した. 酸素飽和度(SpO₂)とは赤血球のうち, 酸素と結合しているヘモグロビンの割合であるが, 心停止に至った No.1 の供試体では荷重開始と共に急激に下降し, その後上昇した後再び下降したのに対して同様に心停止に至った No.3 の供試体では緩やかに下降した. 一方 60 分間生存した No.2 では荷重開始 5 分間下降した後, 一定を保った.

pCO₂ と pO₂ は血中の二酸化炭素と酸素の分圧を表わす指標である. 二酸化炭素分圧は荷重負荷開始と共に緩やかに減少していくが, 二酸化炭素分圧は荷重開始数分で急激に下降し, その後一定あるいは減少していく傾向があった.

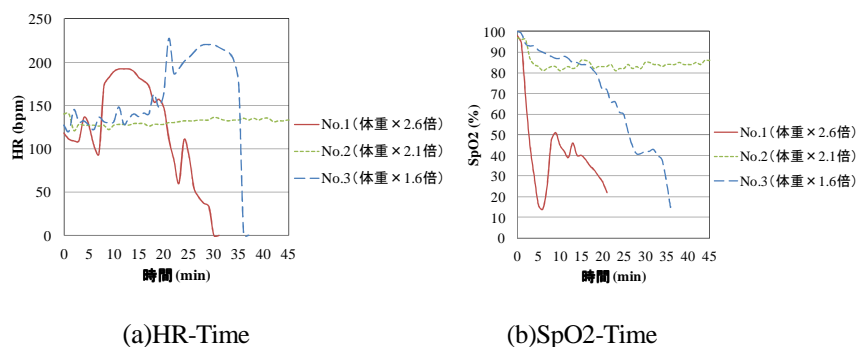


Fig.3 Results of Vital signs

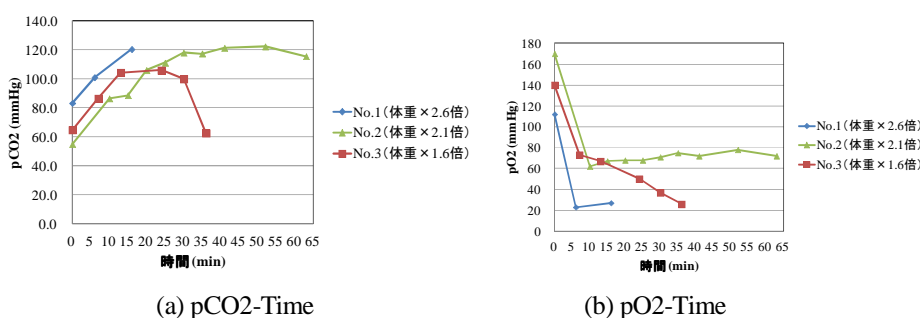


Fig.4 Results of blood gas analysis

5. 荷重による生理学的変化について

No.1 の供試体では開始 7 分後に死戦期呼吸を呈している。それとほぼ同時刻に SpO₂ が異常な低下を示している。SpO₂ は動脈血の中にどの程度酸素が含まれているかを表す指標であり、本研究で用いた動物（ブタ）の場合正常値は 95% 以上で 90 を下回ると肺機能の異常を呈していると判断される。つまり、開始荷重が供試体に対して肺機能が著しく低下する効果を与え、結果死戦期呼吸を誘発したことが示唆される。血液ガスのデータからも No.1 供試体の肺機能の低下が伺える。pCO₂ と pO₂ は肺に内在する肺胞の機能を示しており、pCO₂ の値が上昇、pO₂ の値が下降すると肺胞機能が低下していると判断される。No.1 供試体では pCO₂ の増加と pO₂ が共に低下している。加えて No.1 以外の供試体でも SpO₂ 値は 90% 以下を示しており、心停止に至らなかった No.2 の供試体も慢性的な呼吸困難を呈している可能性がある。

荷重に対する体重の比率から考察すると、体重の 2.5 倍を負荷した No.1 の供試体と 1.6 倍の荷重を負荷した No.3 の供試体では心停止に至ったのに対して、2.1 倍を負荷した No.2 の供試体では心停止に至らなかった。つまり、圧迫荷重に対する重症度は必ずしも体重に対する荷重の倍率に依存せず、絶対的な負荷荷重も考慮する必要があるものと考えられる。

6. 結言

本研究では群集事故における胸腹部の圧迫荷重を想定した動物実験モデルにより、静的な高荷重を負荷された窒息を再現した。以下に結論を示す。

- (1) 体重の 2.5 倍の荷重を負荷すると、荷重開始 7 分で死戦期呼吸を呈し、バイタルサインが著しく低下した。
- (2) 荷重圧迫に対する生理学的重症度は必ずしも体重の比率に対する荷重に依存せず、絶対的な負荷荷重を考慮する必要がある。

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) Kroell, C.K., Schneider, D., Nahum, A., “Impact tolerance and response of the human thorax”, *SAE Paper 710851*, (1971)
- (3) Kroell, C.K., Schneider, D., Nahum, A., “Impact tolerance and response of the human thorax II”, *SAE Paper 741187*, (1974)
- (4) Viano, D.C., “Biomechanics of Nonpenetrating Aortic Trauma: A Review”, *SAE Paper 83168*, pp.109-114