

令和 2 年 5 月 29 日現在

機関番号：32666

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K09222

研究課題名(和文)心肺蘇生時の胸部圧迫に伴う心嚢破裂発生機序の解明

研究課題名(英文)The mechanism of pericardial rupture associated with cardiopulmonary resuscitation involving chest compression

研究代表者

奥田 貴久 (OKUDA, Takahisa)

日本医科大学・医学部・准教授

研究者番号：20620305

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：心肺蘇生術を施行された事例の剖検や死亡時画像診断では、心嚢破裂の所見を認めることがある。本研究は、コンピューターシミュレーションによって急性心タンポナーデ下で胸部圧迫時に心嚢に加わる力学動態を解析し、心嚢破裂発生機序を明らかにすることを目的としている。カニクイザルを用いて心臓カテーテル法にて人工的に心タンポナーデモデルを作成した後、得られた画像データを元に2次元FEM解析モデルを作成し、コンピューターシミュレーションプログラムADINAを用いて心嚢にかかる最大応力の部位・向き・大きさを解析した。その結果、軟部組織と心嚢の接合部境界領域及び、神経と心嚢接合部に最も応力が加わることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで、救急領域の来院時心肺停止患者のうち、左胸腔に大量血胸を認める患者では急性大動脈解離や大動脈瘤破裂によるものと推定されることが多かったが、上記のメカニズムによるものも含まれている可能性があり、正確な死因究明のための死亡時画像診断読影に資すると期待される。

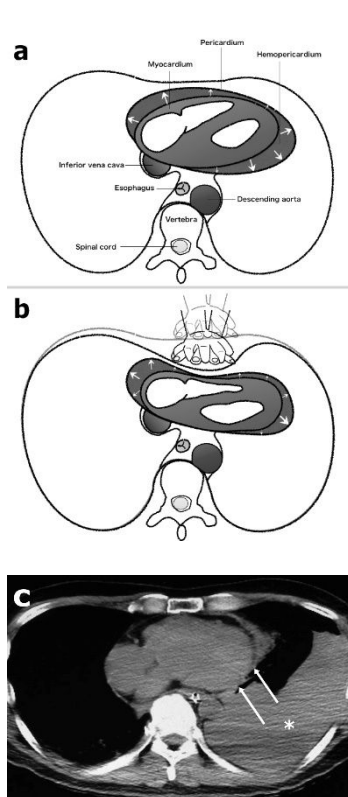
研究成果の概要(英文)：Pericardial rupture may be found in autopsy imaging cases undergoing cardiopulmonary resuscitation. The purpose of this study is to clarify the mechanism of pericardial rupture during chest compressions under acute cardiac tamponade using computer simulation. After artificially creating a cardiac tamponade model by cardiac catheterization using a cynomolgus monkey, a two-dimensional FEM analysis model is created based on the obtained image data, and the maximum stress applied to the pericardium using the computer simulation program ADINA (ADINA R & D, Inc.). The site, orientation, and size were analyzed. The results suggested that the most stress is applied to the boundary region between the soft tissue and the pericardium or the nerve-pericardium junction, which is the consistent with the clinical cases.

研究分野：法医学

キーワード：心嚢破裂 コンピューターシミュレーション

1. 研究開始当初の背景

平成 24 年 6 月 15 日、死因究明二法案が国会で可決された。このうちの「死因究明等の推進に関する法律(平成 24 年法律第 33 号)」に基づき、内閣府に「死因究明等推進会議」が設置され、「死因究明等推進計画」が検討された。死因究明には従来から施行される解剖に加え死亡時画像診断が有用であるが、推進会議が策定した最終報告書において死亡時画像診断の活用が重点施策として確認された。死亡時画像診断の所見には死因に関連する病変に加え心肺蘇生術や死体現象によるアーチファクトを伴っており、読影及び撮影に関する知識の向上が不可欠である。



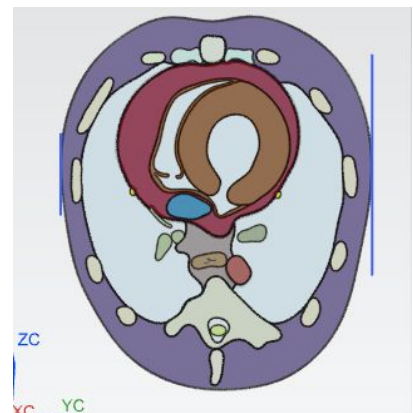
胸腔内に大量の液体貯留を認め急死した非外傷事例では、液体貯留の原因は胸部大動脈瘤の破裂や胸水の合併だけでなく、心筋梗塞後心破裂や A 型大動脈解離に続発する急性心タンポナーデ下に胸部圧迫が施行され心嚢破裂を起こし、心嚢内血液が胸腔に流出したのもあったことが報告されている(Okuda et.al. *Leg.Med.* 2015)(図 a, b, c)。心肺蘇生時の胸部圧迫に伴う心嚢破裂の発生は通常は起こりにくく、これまでは胸部圧迫に伴う胸骨・肋骨骨折の断端が心嚢に刺さった間接的な損傷とされていたが、むしろ胸骨・肋骨骨折を伴わない心嚢破裂のほうが多くみられる印象がある。本現象の発生機序の詳細は不明であるが、急性心タンポナーデ下で特徴的に発生すると考えられている。これまで、救急領域の来院時心肺停止患者のうち、左胸腔に大量血胸を認める患者では急性大動脈解離や大動脈瘤破裂によるものと推定されることが多かったが、上記のメカニズムによるものも含まれている可能性があり、正確な死因究明のために発生機序の解明が必要である。

2. 研究の目的

本研究は、コンピューターシミュレーションによって急性心タンポナーデ下で胸部圧迫時に心嚢に加わる力学動態を解析し、心嚢破裂発生機序を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

13 歳のカニクイザルの雄に全身麻酔をかけ、経胸壁心エコー下で左頸動脈を介して左心室にシースを挿入した。シースを左心室から引き出し、先端を左冠動脈の開口部に挿入して、左前下行枝の近位部を穿孔した。穿孔直後に血圧低下、酸素飽和度の低下、心拍の上昇を認め、急性心タンポナーデの構築に成功した。心停止後、カテーテルを介して心膜腔内に生理食塩水で希釈した造影剤(オムニパーク[®])を注入し、数回の胸骨圧迫を加え、死後 CT を撮影したところ、心筋と心嚢血腫のコントラストが明瞭となり心タンポナーデを確認することができた。

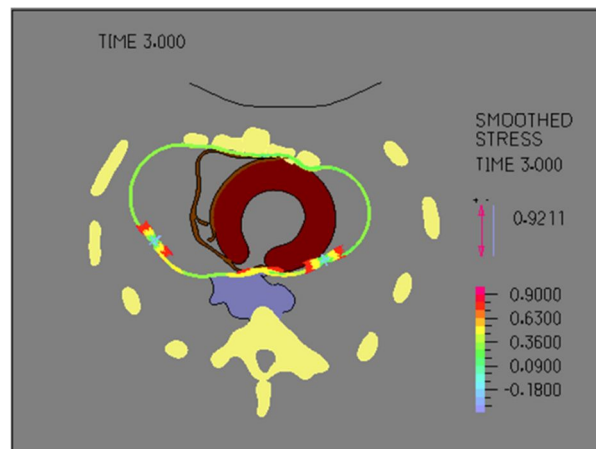


画像を CAD(NX)に読み込み

胸部 CT スキャンデータの axial view からコンピューターシミュレーションを行うための 2 次元 FEM モデルの作成を行った。解析を行うにあたり平面ひずみ状態であることを仮定し、4 角形 1 次平面ひずみ要素を使用し、メッシュを獲得した。胸骨・肋骨・背骨を除く臓器は、非圧縮性材料なのでゴム材料として表現した。(低ひずみ領域で、ポアソン比 0.499 相当)とした。心嚢 Ogden モデル、心筋と縦隔は Neo-Hookean モデルとした。心嚢は、内部の血圧により膨張するため、形状をコントロールする目的で高ひずみ領域で剛性が高くなる必要があり Ogden モデル で合わせ込んだ。血流を表現すると流体構造連成解析となるがその影響は考えず心筋の内部及び外部や心嚢の内部の血圧を圧力荷重として構造解析で計算した。圧力を加えた後、心臓マッサージを模擬した胸部の圧縮を再現した。拘束条件については、縦隔と石柱は完全拘束(完全合体結合)、縦隔と心嚢は固定、横隔神経が心嚢を貫通する箇所については心筋に 2 か所剛性の低いバネ要素を設定した。本モデルを用いて、コンピューターシミュレーションモデル ADINA にて心嚢にかかる最大応力の部位・向き・大きさなどを解析した。

4 . 研究成果

圧迫を加えたところ、軟部組織と心嚢の接合部境界領域及び、神経と心嚢接合部に最も応力が加わることが示唆された。応力は最大で 0.90-0.92Mpa に達した。従って、臨床における心タンポナーデ下の胸骨圧迫においても、これらの部位が最も損傷を受けやすいことが示唆された。



最大主応力 (単位 MPa)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 奥田貴久、高成広起、黒木浩二、奥山みなみ、三浦真弘 |
| 2. 発表標題 経胸壁心エコーガイド下カテーテル法による急性心タンポナーデ動物実験モデルの開発 |
| 3. 学会等名 第104次日本法医学会学術全国集会 |
| 4. 発表年 2020年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|--|------------------------------------|----|
| 研究分担者 | 赤石 諭史 (AKAISHI Satoshi) (10373010) | 日本医科大学・医学部・講師 (32666) | |
| 研究分担者 | 早川 秀幸 (HAYAKAWA Hideyuki) (10373052) | 日本医科大学・大学院医学研究科・研究生 (32666) | |
| 研究分担者 | 高成 広起 (TAKANARI Hiroki) (70723253) | 徳島大学・医学部・助教 (16101) | |
| 研究分担者 | 秋元 正宇 (AKIMOTO Masataka) (90287673) | 日本医科大学・医学部・教授 (32666) | |

