

ご遺体の体表ホルマリン濃度とアルコール置換後の体表ホルマリン濃度について の考察

松尾 義久, 大庭 淳

生命科学課

1 はじめに

解剖学実習とは医学を志す者にとって初めて担当する患者と評されることもあるように、医学を特に医師を目指すものにとって重要な実習授業の一つである。しかしながらまさに医学の勉強が始まる初期の段階で行われることで、多くの医療従事者にとって大事なことでありながら、大きく脚光を浴びることはなかった。しかし近年、シックハウス症候群に代表されるように環境化学物質への配慮が注目されている中、医学部の解剖学実習室におけるホルマリン暴露は大きく取り沙汰されることになり、それに伴い実習環境の改善がなされることとなり、多くの大学で局所排気装置などの設備を設けることで実習中の術者への配慮はなされるようになってきた。

しかし、解剖学実習に使用させていただくご遺体の保管に関する検討はそれほどされていきていないのが現状である。山口大学においては従来多くの大学で行われてきたホルマリン固定→アルコールタンク保存→ロッカー保存→実習に使用という一連の工程を踏襲しているが、この工程について深く検討してはいない。さらにこの一般的な工程の検証はほとんどされていない。

そこで今回の実験では、このホルマリン固定→アルコールタンク保存→ロッカー保存→実習に使用という一連の工程のなかでご遺体の体表におけるホルマリン濃度を検証し、この工程の有用性を確認することを目的とした。

2 研究内容

【概要】

多くの医科大学の必須科目として行われる解剖学実習には 4%ホルムアルデヒド液で防腐処置されたご遺体を用いられる。山口大学では、このご遺体を防腐処置後に 55%アルコールタンクにてホルマリン-アルコール置換を行い、2~3ヶ月後に保存用ロッカーで保管する。その後状態を確認しながら半年~3年後に解剖学実習に使用させていただいている。

しかし、これらの一連の行程は経験則に基づいた決定であり、実際にホルマリンとアルコールがどの程度置換されているのかはわからなかった。そこでホルマリン固定直後と一定期間アルコールタンクにつけた後の胸上、頭上のホルマリン濃度をガス検知方式測定器で測定し、ホルマリン濃度の変化を観察した。

結果として、ホルマリン固定・脳だし直後の平均ホルマリン濃度 ppm は胸上 0.125, 頭上 0.19 であったのに対して、4週間アルコールタンクに保存した後の平均ホルマリン濃度 ppm は胸上 0.04, 頭上 0.08, 8週間アルコールタンクに保存した後の平均ホルマリン濃度 ppm は胸上 0.06, 頭上 0.04 であった。

以上のことから、作業環境評価基準管理濃度 0.1ppm 以下のホルマリン体表濃度に達するのは、平均4週間以上、アルコールタンクに入れることで達成できると言うことがわかった。

この結果から、これまで経験則に基づいていたホルマリン-アルコール置換期間が実測値として分かったことで、今後のご遺体の保管なのに一定の基準を与えることができたと思える。

【序論】

医学教育における解剖学は18世紀のヨーロッパ各地で講義として行われていた記録があり、当時より医療の礎としての学問として行われてきたと考えることができる[1][2]。さらに組織の腐敗を抑え、この偉大な教材を余すことなく学ぶために、19世紀末にはホルマリンの持つタンパク質の架橋構造による組織固定を応用して、ご遺体を医学教育のために長期間使用できるようにホルマリン固定に用いた固定法が行われるようになった[3]。

ホルマリン固定による動物の組織観察、特に顕微鏡下での通常染色や免疫科学法、蛍光染色法さらには電子顕微鏡などのミクロの観察には欠かせない組織固定法であるが、ホルマリンには人体に有害なことが確認されており、取り扱いには十分な配慮が必要である[4]。

しかし、医学生のみならず、近年では臨床医の研修などに使用させていただきご遺体は、長期間の保存と使用に耐えうる保存状態を保つ必要があり、やはりホルマリン固定法は欠かすことのできないものになっているのが現状である。

建物内でのホルマリン暴露に関しては1970年代にアメリカ国内においてビル内で働く人たちの体調不良が問題になり、当初はシックビルディングとして注目され始めた。国内では1997年に厚生労働省が「室内空气中化学物質の室内濃度指針値及び標準的測定方法について」を示し、翌1998年ホルムアルデヒドに関するガイドラインを策定した。その後2003年に建築基準法の改定がありシックハウス症候群としてマスコミ等で取り沙汰されるようになり、国内での認知度が高くなってきた。

しかし、ホルマリンは身体に有害であることから、術者の健康被害を低減するために、近年ではホルマリンのご遺体残濃度低下やホルマリン代替試薬の開発等様々な試みがなされている[5]。

山口大学においては解剖学実習に用いるご遺体は10%ホルマリン(4%ホルムアルデヒド)を用いて防腐処理を行っている。この防腐液注入固定後に臓器摘出(脳)を行い、その後、ホルマリン残濃度低減を目的に55%アルコールタンク槽に浸漬することでホルマリン-アルコール置換を行う。アルコールタンク保管したご遺体を2~3ヶ月後に更地布で包んでライヘパックに入れ、少量の55%アルコールと共に遺体安置ロッカーで保管している。遺体安置ロッカーに入れたご遺体は定期的に体表の状態を確認し、乾燥が進んでいるようであれば、再度アルコールタンクに入れて、体表状態の改善を試みる。その後、解剖学実習に使用させていただくのであるが、その間の保存期間は半年~3年ほどになる。また4機あるアルコールタンクは3機/年で精製アルコールを交換している。

しかし、これらの一連の行程は経験則に基づいた決定であり、実際にホルマリンとアルコールがどの程度置換されているのかはわからなかった。特に解剖学実習を行うにあたり、術者のホルマリン曝露が問題になっている昨今の事情を考えると、ご遺体の体表でのホルマリン濃度が最も術者に影響があるのではと考えることができる。したがって、ホルマリン-アルコール置換をするにあたり、浸漬経過時間によってホルマリン体表残濃度の変化を測定することで、適切な浸漬時間を割り出すことは今後の解剖学実習にとって重要なことである。

【計測方法】

大学で扱うご遺体は山口大学白蘭会会員の篤志献体を使用させていただいている。この会の会員様のご逝去されると、山口大学医学部学務課担当係に連絡があり、その後ご遺体を山口大学医学部に搬送し、70Lの10%ホルマリン液(4%ホルムアルデヒド含有)を2回に分けて大腿動脈より注入し、48時間後に必要臓器(脳)の摘出を行ったあとホルマリン-アルコール置換のために55%アルコールタンク内で保管する。

この一連の保存方法の中で、ホルマリン固定・脳だし直後と一定期間アルコールタンクにつけた後の胸上、頭上のホルマリン濃度をガス検知方式測定器で測定し、ホルマリン濃度の変化を観察した。

使用するガス検知方式測定器はホルムアルデヒド検知器 FP-31(理研計器株式会社)で Tab009 のタブレットを用いて腹部, 頭部それぞれの 10cm 上方で計測した。

計測するご遺体は三体のご遺体を用い, 注入固定直後, 2 週間, 4 週間, 8 週間, 以上の 4 回に渡って計測した。

計測する際は体表を水で洗い流し, その後換気のない小部屋(2m x 2m x 2.5m)に移動させて, 毎回同じ条件になる様に計測した(図 1)。

さらに参考データとして, ご遺体を浸潤させるタンクのホルマリン含有濃度変化を計測した。3 ヶ月後のタンクの想定体数である 15 体が入った時点から計測を始め, 3 ヶ月, 6 ヶ月, 9 ヶ月, 24 ヶ月のアルコール内のホルマリン濃度をホルマリン簡易濃度測定(ティッシュ・テック アキュ・フォーム ホルマリン)で測定した。

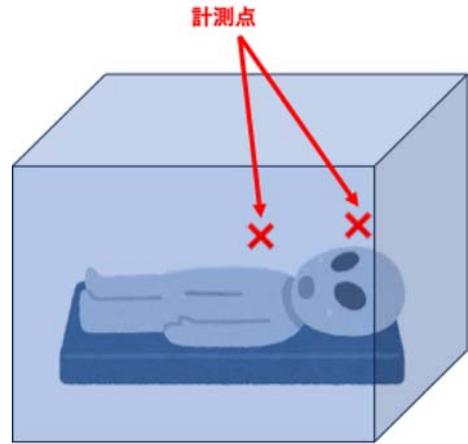


図1 ホルマリン計測位置: 2m x 2m x 2.5mの換気のない部屋での観測位置: 頭上(右のX)と胸上(左のX) 10cmでホルムアルデヒド検知器 FP-31を使って計測

【結果】

ホルマリン固定・脳だし直後の平均ホルマリン濃度 ppm は胸上 0.125, 頭上 0.19 であったのに対して, 4 週間アルコールタンクに保存した後の平均ホルマリン濃度 ppm は胸上 0.04, 頭上 0.08, 8 週間アルコールタンクに保存した後の平均ホルマリン濃度 ppm は胸上 0.06, 頭上 0.04 であった(表 1, 表 2)。

	3069	3068	3067	平均
注入直後	0.11	0.045	0.22	0.125
2week	0.1	0.05	0.13	0.093
4week	0.05	0.01	0.055	0.038
8week	0.09	0.04	0.07	0.067

	3069	3068	3067	平均
注入直後	0.15	0.1	0.3	0.183
2week	0.13	0.06	0.29	0.160
4week	0.07	0.035	0.15	0.085
8week	0.085	0.015	0.045	0.048

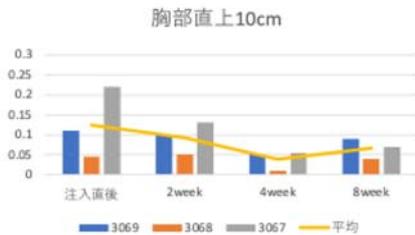


表1 胸部直上でのホルマリン濃度推移: 3個体での濃度比較。タンク浸漬期間0、2、4、8週間で計測。

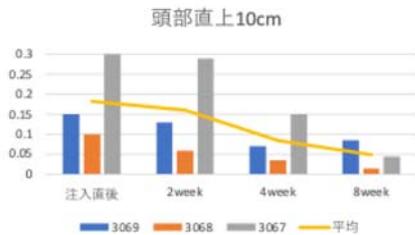


表2 頭部直上でのホルマリン濃度推移: 3個体での濃度比較。タンク浸漬期間0、2、4、8週間で計測。

	頭部直上	胸部直上
3か月	0.1	0.18
6か月	0.11	0.33
9か月	0.12	0.4
24か月	0.11	0.4

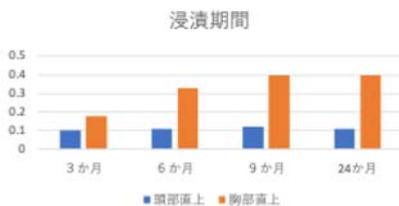


表3 タンク浸漬期間によるホルマリン濃度の推移: 同一個体での濃度比較。タンク浸漬期間3、6、9、24ヶ月で計測。

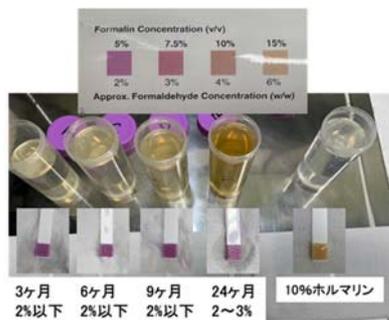


図2 アルコールタンクのホルマリン濃度推移: 3ヶ月、6ヶ月、9ヶ月、24ヶ月のタンク内アルコールにおけるホルマリン濃度比較

【結論】

今回の研究で, 作業環境評価基準管理濃度 0.1ppm 以下のホルマリン体表濃度に達するのは, 平均 4 週間以上, アルコールタンクに入れることで達成できると言うことがわかった(表 1, 2)。

この結果から, これまで経験則に基づいて 2 ヶ月~3 ヶ月間アルコールタンクに入れることでホルマリン-アルコール

ル置換が行えたとしていたが、1ヶ月以上アルコールタンクで保存することによって管理濃度 0.1ppm 以下[6]のホルマリン体表濃度に達するようなホルマリン-アルコール置換が行え、作業環境評価基準に則ることができると考えられる。しかし長期間のご遺体の保存に関しては、3ヶ月を超えたあたりから体表から揮発するホルマリン濃度が0.1ppmを超えることが確認できる(表3)ので、1~2ヶ月を目処にアルコールタンクから遺体安置ロッカーに移動させて保存することが望ましいと考えることができる。

アルコールタンクの使用期間の目安については今回の実験では3ヶ月、6ヶ月、9ヶ月、24ヶ月で計測したが、9ヶ月以上24ヶ月未満の計測ができていない。したがってこの間の追加実験が必要であるが、計測に使用する検知タブレットに費用がかかるため、それを捻出する必要があり、現在検討中である。

今回の実験はあくまで体表上のホルマリン濃度であるので、体内についてはその限りではないと思われる。しかし局所排気型の実習台上とはいえ、直上でのホルマリン濃度が0.07ppmであったことを考えると、やはりアルコール置換は効果があると考えられるが、こちらも予算の目処がつき次第、順次確認していきたい。

【考察】

現在の日本の医科系大学の授業の一環として解剖学実習が行われている。その際に解剖の術者として医学系の学生とそれを指導する講師、さらにはその解剖に使わせていただくご献体を準備する技術職員などが関わるが、そのような者たちがホルマリンの暴露に晒されながら、術を行っている[13]。

加えてホルマリン固定には組織を硬質固定することが知られており、生体を基準に解剖学を考えると、これは現実的に即していない状態である。

このような現状を少しでも緩和するために、多くの研究者によって、ご献体のホルマリン濃度の低減や代替固定液の開発が行われた。

このような中、現在ホルマリン以外の固定液としては thiel 固定液が日本国内ではよく使われている。この固定液はホルマリン固定で起こる過度の固定力による組織の硬化を解決するために開発された。確かにこの thiel 固定液は組織の柔軟性をある程度保ちつつ、組織の腐敗を遅らせる効果はあるが、液内には2%のホルマリンが含まれており、依然としてホルマリン暴露に関しては抜本的な解決には至っていない[7][8][9]。

医学以外の分野においてはホルマリン固定の組織に対する過度の固定力を疑問視する研究はある[10]。しかし、それらの研究は組織の状態に着目して検証を行っているが、医学部の実習としての観点から考えると、術者の暴露に焦点を当てている必要がある[10]。

この問題に対して実際にご遺体を解剖する実習室や実習台に着目し、揮発するホルマリンなどを吸着、排気・吸気をすることで、術者のホルマリン暴露を低減させる試みがなされ、現在多くの医学系大学で解剖学実習室におけるホルマリン濃度低減措置が行われている。

しかし、ホルマリン固定されたご遺体を保管することが一般的であることに対して、これまで保管されたご遺体について論じられることは稀であった。それは実際にご遺体を保管・管理している技術職員にとって不安材料であり、実際に自分たちがホルマリン暴露に晒されている現状が理解できない状態であった。そのような中で、ホルマリン暴露低減に対しては、これまで体内残存ホルマリンをアルコール等に置換する方法がスタンダードになっていたが、近年では保管場所や費用の面からアルコールタンクの縮小やアルコール置換そのものを行わない大学もあるようである。[13][14]

このような現状において、今回我々が行った検証実験でホルマリン-アルコール置換の有用性と使用方法の指標が分かったことで、これまで行われてきたホルマリン-アルコール置換の再評価につながると考えている。

またアルコールタンクに使用するアルコールの使用期間についても今後の追加実験を考慮しなければならないが、おおよその使用態様年数が分かったことで、解剖学実習に必要な費用の算出についても、概算を出す際の目安になる。

このような研究を通して、ご遺体を使って解剖を行う医学系の学生、教員のみならず、ご遺体の防腐処理の最前線に立っている技術職員への助成と、安全に対する警鐘になれば幸いである。

【謝辞】

今回の実証研究に対して山口大学医学系研究科神経解剖学教室の小西教授、升本講師、同医学部保健学科の柳井准教授には研究に対するアドバイスをいただいた。さらに山口大学医学部の田邊医学部長には多くのご理解とアドバイスをいただいたこと感謝を申し上げる。

【利益相反】

本論文に関して、開示すべき利益相反関連事項はない。

【参照】

- [1] 「医学の歴史」pp164-165 梶田昭 講談社 2003年9月10日第1刷
- [2] 土屋江里子, 坂井 建雄 :ハンター兄弟による 18 世紀ロンドンの解剖学私塾. 日本医史学雑誌 第 68 巻第 2 号(2022)
- [3] 日本医史学雑誌 第 16 巻第 4 号(1970)
- [4] 谷山清己, 清水秀樹, 根本則道:ホルムアルデヒドの健康障害防止について ;に本病理学会;2008
- [5] "JOY Y. BALTA:Human Preservation Techniques in Anatomy;Clinical Anatomy 28:725-734 (2015)A 21st Century Medical Education Perspective"
- [6] 労働安全衛生法施行令の一部を改正する政令及び特定化学物質障害予防規則等の一部を改正する省令の施行に係る留意点について:基安発第 1119002 号
- [7] Thiel W : An arterial substance for subsequent injection during the preservation of the whole corpse. Ann Anat 1992 ; 174 : 197-200.
- [8] Thiel W : The preservation of the whole corpse with natural color. Ann Anat 1992 ; 174 : 185-195.
- [9] Thiel W : Supplement to the conservation of an entire cadaver according to W. Thiel. Ann Anat 2002 ; 184 : 267-269.
- [10] "Muhammad I. Ghazwan : Replacing Formalin with Alcohol and its Effect on Preserved. Earth and Environmental Science 1259 (2023) 012085Fish Specimens;"
- [11] Benkhadra M, Bouchot A, Gérard J, et al : Flexibility of Thiel's embalmed cadavers : the explanation is probably in the muscle. Surg Radiol Anat 2011 ; 33 : 365-368.
- [12] Jaung R, Cook P, Blyth P : A Comparison of Embalming Fluids for Use in Surgical Workshops. Clin Anat 2011 ; 24 : 155-161.
- [13] 佐々木昭彦, 田中かつ子, 前田享史, 他 : 解剖学実習に おけるホルムアルデヒド曝露について. J Natl Inst Public Health 2003 ; 52 : 64-69.
- [14] 町田 有慶:解剖実習室, 処置室の労働環境・解剖系技術職員の業務について. 平成 28 年度 第 12 回名古屋大学技術研修会報告

3 おわりに

今回の実験報告は追加実験が必須のデータを掲載している. この追加実験については, 今後データを収集して再度報告する.

簡易査読済み