

胸腔ドレーンの管理方法

～胸腔内環境とメラサキウムによる胸腔管理～

市立室蘭総合病院 呼吸器外科
高橋典之

要 旨

胸腔ドレナージの目的・方法・器具・原理について概説した。肺虚脱・肺切除による死腔形成は咳嗽による急激な胸郭運動によって過剰な呼吸性液面変動を引き起こし、大気解放された液面より胸腔内へ大気の逆流が起こる場合がある。胸腔ドレナージで water seal を形成する液面はある程度の高さが必要である事、メラサキウムによるドレナージでは 50 mL の蒸留水による water seal 形成が必要である事を実験的に示した。

キーワード

胸腔ドレナージ、水封状態 (water seal)、死腔 (dead space)、メラサキウム

緒 言

胸腔ドレナージは、呼吸器疾患の治療や術後において日常的にみられる手技である。しかし、胸腔ドレーンの管理が正しく行われていない場面が見受けられる。今回呼吸生理・物理学的予備知識を含め、胸腔ドレーンの意味を総説し、メラサキウムによる胸腔ドレーン管理法について実験を交えて考察した。この総説は呼吸器疾患を扱う医療従事者はもちろん、胸腔ドレーン管理を必要とするすべての医療者に分かりやすく、しかも基本原理を基にドレーン管理が行われるように切に希望して書かれたものである。

呼吸生理

呼吸運動の最大の目的は血液内のガス交換を有効に行う量的因子を担う事である。そのため肺呼吸を必要とする哺乳類は胸郭を肋骨で固定し、外圧による呼吸器官の変形を免れ、更に横隔膜の形成により腹部と遮断し、密閉する事で胸腔内圧を変動させる事を可能にした。この事により胸腔内を大気圧に対し安静時 +5~0 cmH₂O から -8 cmH₂O 程度の圧差を生み出し、肺胞の縮小から拡張の原動力としている¹⁾。

呼吸運動における横隔膜の働きは大きく、吸気時気体容量の約 75% を担い、残りの 25% を肋骨運動が担っている²⁾。

肺切除後の呼吸生理

肺葉切除・肺区域切除・肺部分切除と切除容積は一般的に縮小するが、いずれの場合も切除側の胸腔内に**死腔 (dead space)**を残すことになる。この死腔を埋める様

に生体は作用する。これが術後過膨張あるいは術側の横隔膜挙上である。

しかし、この作用は急激には起こらず、死腔はかなりの期間残存する事が多い。そのため術後ドレナージ・チューブ内排液の呼吸性液面変動 (fluctuation: フラクチュエーション: 俗名フルクテーション: フルク) は残存気体の密度の小ささ ($d=0.0013$) により逆に大きくなる (正常胸水の方が密度は大きく ($d=1.0$) 体積変化は小さい)。この点が今回メラサキウムを使用する際の重要な point となる。すなわち、死腔が大きいと呼吸性液面変動は大きくなり、特に咳嗽時急激に胸腔内圧の変動が起こり、液面がチェンバーを越えて変動し本来排気口となるチェンバーから外気を胸腔内に取り入れてしまうのである。

胸腔内持続ドレナージ

胸腔内持続ドレナージの目的は主に2つある。1) 胸腔内に貯留した液体を持続的に排出する事、2) 胸腔内に貯留した気体を排出する事である。1) の場合も2) の場合も胸腔内は大気圧より高い状態であることが多くチューブを挿入すると自然と排出されることが多い。

図1のようなドレナージ法を水封式ドレナージ ([Under] water seal drainage) と呼ぶ。図1aでは胸腔内と連結されている管が水面下 a cm で釣り合っているため胸腔内圧は1気圧 + a cmH₂O の圧が掛っていることになり a cmH₂O の陽圧である。図1bでは管内の水面とチェンバー内の液面が釣り合っているため胸腔内圧は1気圧である。図1cでは管内の液面がチェンバー内の液面より a cm 上昇しているため胸腔内圧は1気圧 - a cmH₂O の圧で a cmH₂O の陰圧ある。図1a~cにおい

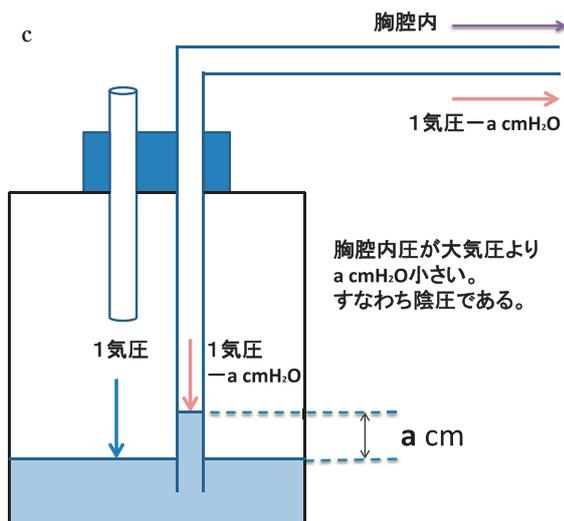
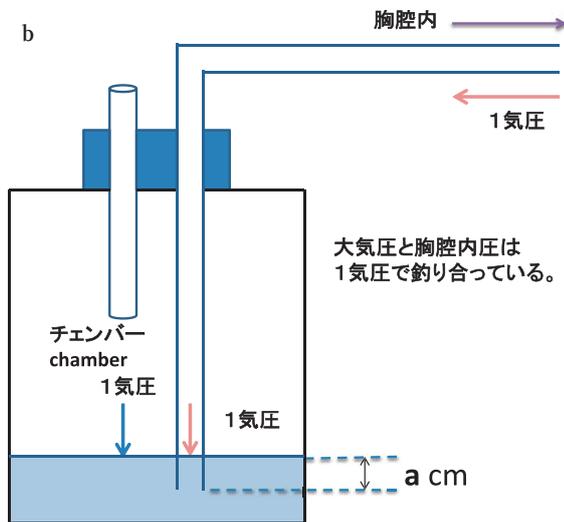
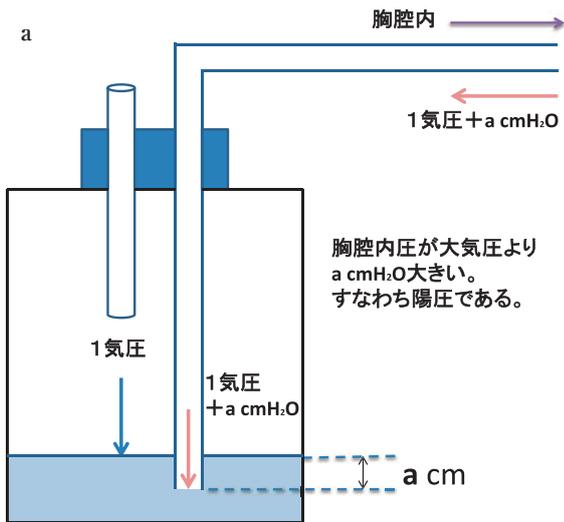


図1 水封式ドレナージ water seal drainage

て、もし排液が多い場合チェンバー内の液面が上昇する。図2の様にドレナージ・チューブが排液で満たされ、チェンバーの液面と1m=100cmの落差を与える状態になっていたならば大気圧より100cmH₂O高い陽圧で排

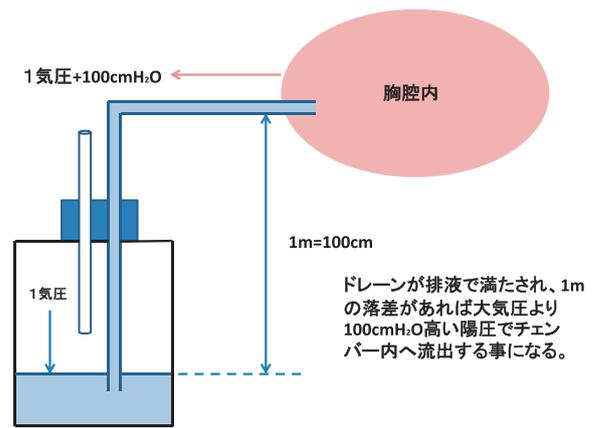


図2 胸腔内排液流出

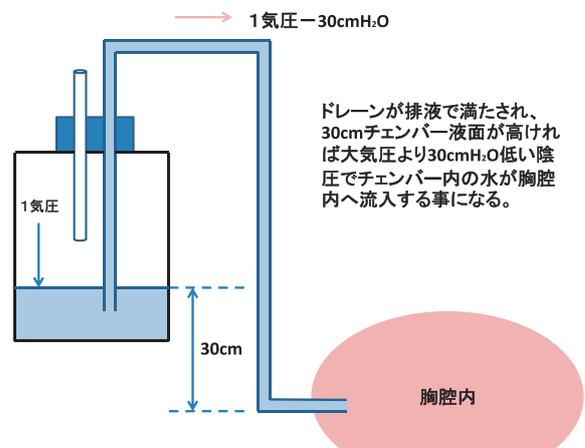
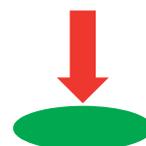


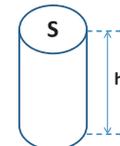
図3 胸腔内排液(チェンバー内液)逆流

圧(pressure): 力(force)/面積(surface)



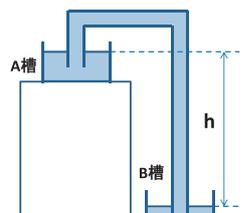
圧

圧とは単位面積(1)当たりの力に相当



体積V=hs

密度dの物質の場合の質量m=dV=dhs



サイフォンの原理

図4 物理学的予備知識

液チェンバー内へ排液が流出する事になる。逆に図3のごとく排液チェンバー液面が胸腔内ドレーン挿入部より30cm高く掲げられると大気圧より30cmH₂O低い陰圧が胸腔内に掛り、チェンバー内の水が胸腔内へ逆流する事になる。

物理学的予備知識: その1 力と圧力(図4)

人間とは具体的な現象を抽象化した法則に従い理解し、更に新たな現象をその法則によって解釈する事

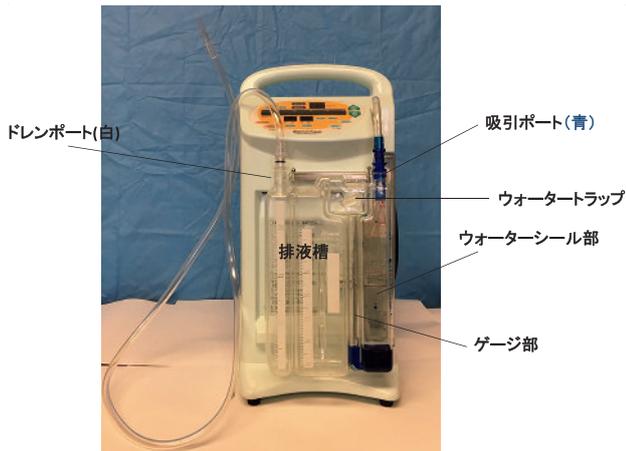


図5 メラサキュームの構造

を無意識のうちに行っています。物理学法則は今回の場合重要な役割を果たしています、しかし中学校で学習した程度で決して難しいものではありません。

まず圧(圧力:P:pressure)です。圧とは単位面積当たりの力に相当します。力(F:force)はニュートンの第二法則「物体に力が働くと物体はその力に比例した加速度をもつ」から、物体の質量(m:mass)、その時の加速度(a:acceleration)より $F=ma$ と表示されます。ある面積S(S:surface)の物体にFの力が作用した時の圧力は $P=F/S$ となります。従っても $S=1$ と仮定すれば $P=F$ となりこれが“圧とは単位面積当たりの力に相当”を表現しています。

さて地球上では巨大な地球の質量による重力加速度g(Gまたはg:gravitational acceleration)が地球表面に存在するすべての物体に作用しています。患者さんを持ち上げた時、重たいと感じるのは患者さんの質量mに重力加速度gが作用した力 $F=mg$ がわれわれの腕に感じるためです。もし宇宙ステーションで患者さんを持ち上げても全く重さを感じません。なぜなら宇宙ステーションは落下しないために非常に高速度で地球上空を回転しその遠心力による加速度が重力加速度と反対方向に同じ大きさで作用して力を打ち消しているからです。

すると圧力は $P=F/S=mg/S$ となり地球上ではほぼgは一定ですから圧力Pは質量mに比例する事が分かります。すなわち $P \propto m$ です。ここで質量について考えます。均一な物質の質量は密度d(d:density)に体積V(V:volume)を掛けたものです。すなわち $m=dV$ です。ここで底面の面積Sで金太郎飴の様にどこを切っても同じ面積の物質を考えます。この真直ぐに伸びた物質の高さをh(h:height)



図6 実験装置

とすると $V=hS$ です。従ってこの物質が底面に掛る圧力Pは $P=F/S=mg/S=dVg/S=dhSg/S=dhg$ となります。ここで密度dは物質によって決まっていますので定数、重力加速度gも一定で定数なので $P=dhg$ はhすなわち物質の高さに比例します。すなわち $P \propto h$ です。この関係が今回非常に重要な関係式(あるいは比例式)です。なぜ圧力を高さで考えるかを説明してくれます。

サイフォンの原理:図4右に液面の高さがhである容器内の液体を同じ液体で満たした管でつなぐとhだけ高いA槽から下のB槽へ持続的に流出します。これが上記で示した図2と図3の状態です。つまりhの高さの分だけA槽の圧が高いためです。この場合管内に液体を満たし静水圧状態にしなければなりません。パスカルの原理を作るためです。

物理学的予備知識:その2 圧力換算

圧力の単位としてはトリチェリーの実験で1気圧=760mmHgであることが判明していますがこれを水柱mmH₂Oに換算すると、水銀の密度 $d_{Hg}=13.6$ 、水の密度 $d_{H_2O}=1$ なので $760 \times 13.6/1=10336$ mmH₂Oつまり1033.6cm=10.336mとなります³⁾。すなわち10m以深の井戸水を汲み上げ式ポンプでは汲み上げられない訳です⁴⁾。

また1気圧=1033.6cmH₂Oです。現在1気圧を101.325kPa(キロ・パスカル)と定めPa(パスカル)表示に統一されています。気象学では1気圧=1013.25hPa(ヘクト・パスカル)(=1013.25mbar)を使用しています。つまり1cmH₂Oと1hPaはほぼ等しいと言えます(cmH₂O \approx hPa)。

メラサキュームの構造(図5)

メラサキュームは図1aの水封式ドレナージに胸腔内

表1 被験者の努力性吸引

	24mL 蒸留水	50mL 蒸留水
水封状態 water seal	吸引圧-21cmH ₂ O程度で液面が敷居を越え、 空気の逆流が続いた。	吸引圧-20~30cmH ₂ Oでも空気の逆流は認めなかった。
閉鎖状態	瞬間的-60~70cmH ₂ Oの吸引圧で空気の逆流を認めた。	吸引限界の-80cmH ₂ Oでも空気の逆流を認めなかった。
逆流防止弁 使用状態	-60~70cmH ₂ Oの吸引圧でも液面は敷居を越えず空気の逆流を認めなかった。	吸引限界の-80cmH ₂ Oでも空気の逆流を認めなかった。

表2 メラサキウムによる-50 cmH₂Oの持続吸引

	24mL 蒸留水	50mL 蒸留水
水封状態 water seal	空気の逆流が続いた。	空気の逆流が続いた。
閉鎖状態	吸引開始30秒で逆流を認めた。	吸引開始2分10秒で空気の逆流を認めた。
逆流防止弁 使用状態	吸引開始8秒で空気の逆流を認めた。	吸引開始17秒で空気の逆流を認めた。

との間に排液槽を置き、大気解放孔を持続吸引装置につなぎ一種の閉鎖回路を形成している。説明書によれば24 mLの蒸留水をウォーターシール部に注入する事で、表示される吸引圧+ウォーターシール部の液面差の陰圧が胸腔内に掛る設定となっている。

経験的問題点

著者は肺葉切除後、説明書通りの24 mL蒸留水を注入した閉鎖回路で、激しい咳嗽によりウォーターシール部からゲージ部の敷居を越えて外気が逆流する症例を経験して以来、50 mLの蒸留水を注入するように指示している。また当院他科で気胸のドレナージ治療で、active air leakage（持続的な気漏）が無いにも関わらず、CT上改善しない症例の相談を受け、メラサキウムの使用方法に問題があると指摘した経験より、なぜ問題が起こったのかという理論的裏付けのため実験を行った。

実験方法

図6のごとくドレンポート側より被験者が吸引する事でどのくらいの圧で逆流が起こるかを、24 mL、50 mL各々の蒸留水注入による水封状態（water seal）、閉鎖状態、逆流防止弁使用について調べた（表1）。更にもう1台のメラサキウムによる-50 cmH₂Oによる持続吸引でも同様に調べた（表2）。



図7 24 mL water seal での努力性吸引



図8 50 mL water seal での努力性吸引



図9 逆流防止弁

結果 (表1、2)

被験者の努力性吸引に対し24 mL蒸留水では水封状態・閉鎖状態いずれも-21 cmH₂O、-60 cmH₂O程度で容易にすべての蒸留水が敷居を越えてウォータートラップに達し、外気の逆流を認めた（図7）。それに対し、50 mL蒸留水では全ての蒸留水が敷居を越える事は無く、外気の逆流は認めなかった（図8）。逆流防止弁（図9）を使用した場合外気の逆流は蒸留水が24 mL、50 mLどちらも認めなかった（表1）。

メラサキュームによる $-50\text{ cmH}_2\text{O}$ 持続吸引では、時間の差はあるもののどの状態でも逆流が起こった(表2)。

考 察

メラサキュームの逆流防止機構は内蔵されたボール弁が気体の逆流に対しボールの落下によって通気口を閉鎖する事である。従って急速な気体の流入に対する time lag (時間のずれ) を生じ、容易に外気がウォーターシール部へ侵入する。この時 24 mL の蒸留水では一気にウォータートラップに達し、それが繰り返され胸腔内に外気の逆流が起こるのである。もちろん water seal 状態にしていれば、逆流外気は止めどもなく胸腔内へ流入する。

もう一つの機構的弱点はゆっくりと高い陰圧を掛けた場合逆流防止弁でも防ぎきれないと言う点である。しかし、生体においてその様な状況は現況では考えられ得ない。

また図3の様な状況にする事の注意は water seal 状態で体幹に対し大きな落差を作った場合、サイフォン効果による逆流を起こすと言う事である。ドレーンが完全に排液で満たされなくても少量の気泡ならば排液瓶を持ち上げた運動エネルギーで容易に圧差が生じる事になる。これに対しメラサキュームは閉鎖系にして持続吸引

を掛けている以上その様な心配は殆ど無い。

結 語

メラサキュームは閉鎖系にしても呼吸性変動は観察が可能であり、無理に water seal にする必要は無いと考える。もし呼吸性変動が消失したとすれば、死腔の消失・ドレーンの閉塞・延長チューブの人為的閉塞などが考えられ、最後の問題を確認して尚消失していれば抜去時期を考慮するのが妥当と思われる。

更にメラサキュームに注入する蒸留水は 50 mL を必要とすることを提唱したい。

文 献

- 1) John B. West : 呼吸の生理. 笹木隆三, 富岡眞一訳. 第7章呼吸のメカニクス. 第3版 (原著第5版) p. 91-120, 医学書院, 東京, 1997.
- 2) Cotes JE, Chinn DJ, Miller MR: Chapter 9. Thoracic Cage and Respiratory Muscles: Lung Function 6th ed. p.99-110, Blackwell Publishing, UK, 2006.
- 3) 清水忠雄, 田隅三生 : 理科年表. 物理/化学部. p. 438-442, 丸善株式会社, 東京, 1992.
- 4) ガリレオ・ガリレイ : 新科学対話 (上), 岩波文庫, p.40~41, 今野武雄, 日田節次訳. 岩波書店, 東京, 1937.