

茨城県立医療大学大学院博士論文

背臥位および腹臥位における徒手の
呼吸介助手技の検証—MRI を用いた肺実質の変化—

田上未来

茨城県立医療大学大学院博士後期課程保健医療科学研究科

保健医療科学専攻

理学療法学領域

2013 年 9 月

第1章 序論

1.1 研究背景

1.1.1 呼吸理学療法の歴史

呼吸理学療法の歴史は，気道クリアランスを中心とした急性呼吸障害に関するものと，呼吸練習を中心とした安定した慢性呼吸障害に関するものとのわけることができる，両者で各々ルーツが異なる [1]。

気道クリアランスに関する記述は，古代ギリシア時代（紀元前 460～377 年）にすでにみられており，近代では 1901 年に Ewart らの気管支拡張症と慢性気管支炎患者を対象とした体位ドレナージに関する報告がある [2]。その後，1915 年に Macmahon らが呼吸練習としての強制呼出 (forced expiration) を報告し，1919 年には外傷や疾病後に合併した，重篤な肺の虚脱や胸郭の変形に対する呼吸練習や運動を推奨し，現在の呼吸理学療法に通じた報告をしている [3]。理学療法士が呼吸理学療法に携わったのは，1930 年代イギリスの呼吸器専門病院であったとされる [1]。1934 年には理学療法士が胸部手術患者に対する局所的な呼吸練習について報告している [4]。1953 年には腹部手術後の無気肺軽減に呼吸練習と吸入療法の併用が効果的だと報告されており [5]，現在の呼吸理学療法のパイオニア的業績といわれている [1]。以降，1960 年代に新たなテクニックが出現するまで，軽打を併用した体位ドレナージは気道クリアランスの gold standard として位置づけられ，その後，気道クリアランスは患者自身で行うことができる方法として，欧州を中心に独自開発され現在に至っている。一方，米国では incentive spirometry (IS) に代表される器具などが多く開発され，広く臨床で用いられてきた [1]。

呼吸理学療法では，50 年以上前には術後の合併症予防という特別な適応が存在し，1950 年代には陽圧人工呼吸が開始され，それによる人工呼吸中の肺合併症が問題となった。その中で気道クリアランスをはじめとした呼吸理学療法手技が好まれた本来の理由は，臨床的に貯留分泌物の排出に有効なためであったとされているが [6]，適切な適応基準が決められないまま，臨床応用の拡大が図られ不利な評価を増大する結果となった。この結果に対し，1960 年代から科学的効果を検証する試みがなされ，1974 年米国の National Heart and Lung Institute (NHLI) が呼吸療法の科学的基礎に関する会議を開催したが [7]，その後も解決する解答は得られていない。

一方，慢性呼吸障害に対する呼吸理学療法の歴史は，肺結核治療とともにあり，最初の記載は 1781 年フランスの Tissot であるとされる [1]。COPD 患者の呼吸困難軽減に対する主要な呼吸法の原型である口すぼめ

呼吸，横隔膜呼吸，前傾姿勢は米国の Barach [8]，Miller ら [9] より初めて報告され，1960 年代 Petty らにより作られた呼吸リハビリテーションの原型が現在に至っている。

本邦では，300 万～500 万人とも言われた結核患者に対するリハビリテーションとして，戦前の早くから歩行や農耕などの運動負荷が作業療法の名の下に行われている [10]。1950 年代，当時侵襲の大きかった肺結核の外科治療に伴う術後の呼吸機能温存を目的に，肺理学療法として初めて登場し [1]，1957 年頃米軍理学療法士による講習会が開催され，1965 年日本胸部臨床に肺理学療法の手技についての発表がされた。1977 年，現在の理学療法学（当時の臨床理学療法）に理学療法士による総説論文が発表され [11]，1980 年代に呼吸リハビリテーションの普及・定着にむけて臨床応用がなされ，本邦初と思われる専門的教科書が出版された [12]。また，この頃より在宅における酸素療法の重要性が示唆され，1985 年，在宅酸素療法が医療保健に適用されたことにより呼吸リハビリテーションの重要性と必要性が高まった。その後，診療報酬において 2002 年に開胸・開腹術後の早期加算が始まり，2004 年には肺機能訓練の個別療法加算算定が可能となり，呼吸理学療法の普及・定着は確実になっている。

本邦における呼吸理学療法の特徴の 1 つは，欧米諸国との大きな違いでもある。それは，胸郭に対して直接的かつ徒手的なアプローチを加えることにあり [13]，わが国の呼吸理学療法が肺結核手術後の肺機能訓練に始まり，徒手的な介入手段を中心に発展したことによる。1990 年代後半からの evidence-based medicine (EBM) の潮流により，呼吸理学療法の科学的側面からの検討は発展を続けているが，同時に問題点も浮き彫りになり，現在わが国における呼吸理学療法は過渡期にある。

1.1.2 呼吸介助の定義とその有効性

呼吸理学療法では、種々の徒手的技术が行われている。他動的に胸郭運動を介助する徒手的技术には、呼吸介助・呼気介助・スクイーピングがある[1]。その中で、呼吸介助は、わが国で行われている呼吸理学療法手技として最も一般的かつ特徴的なものである[1]。

呼吸介助(manual breathing assist)とは、患者の胸郭に手掌面を当て、呼気に合わせて胸郭を生理的な運動方向に圧迫し、次の吸気時には圧迫を解放することを繰り返すものと定義されている[1]。換気の改善を主たる目的とするこの手技は、他動的な呼気の促進や気道分泌物の移動を期待して行われる呼気介助と類似した手技である。しかし、気道内での分泌物の移動促進を目的とし、排痰手技として位置付けられるスクイーピングとは全く異なる手技でもある。呼吸介助は、離床、体動が困難な場合にも患者の協力を得ることなく、治療者の徒手により局所換気不全部位の換気を改善することが可能である。このことから、気道確保、酸素療法、人工呼吸療法などの呼吸管理と同様に重要な治療手技の一つとされている。その効果は、1回換気量の増加[14-17]、呼吸数の減少[15, 16]、酸素摂取量の減少[16]、ガス交換の改善[18]など、多岐にわたる。これらの効果機序は、安静呼気位の肺気量を超えた胸郭圧迫による予備呼気量の低下、それに続く胸郭の弾性復元力による吸気の促進による予備吸気量の減少、さらに1回換気量増大による換気パターンの変化による二酸化炭素排出・動脈血酸素化の促進によると考えられている[14-18]。

一方、これら呼吸介助の効果機序における報告は、スパイロメータ[14-17]、パルスオキシメトリー[18]などの測定機器を使用し行われている。スパイロメータは、肺への外気の流入(吸気)と、肺内気の排出(呼気)による肺全体の換気能力における評価を行う検査である。本検査では、呼吸介助により生じる肺気量位の変化を捉えることは可能であるが、肺の局所換気を評価することは困難である。また、パルスオキシメトリーは、酸化ヘモグロビンと還元ヘモグロビンの赤色光と赤外光に対する吸光度の違いを、経皮的に測定し酸素飽和度を算出する検査法である。本検査は、非侵襲的であり連続的に測定可能なことから臨床応用が盛んであるが、スパイロメータ同様、肺内で生じた局所換気変化を評価することはできない。この問題に対し、臨床では、局所換気変化を、聴診や打診などの理学所見や、治療前後のX線所見で評価をすることが多い。しかし、これらの方法もまた、実際に呼吸介助中に局所肺がどのような状態であるかを評価するには不十分である。このように現状の検査測定方法では、実際に呼吸介助が行われている局所肺が、どのような状態であるかを生理学的な側面を含めて証明することはかなり困難である。

呼吸介助の臨床効果における報告は多々みられるが、呼吸介助が肺に

与える影響，すなわち局所換気変化についての研究は未だ不十分なままである。そのため，呼吸介助が局所肺に与える影響を，呼吸生理学的な変化も含めて視覚的に観察することは極めて重要な課題であると考えられる。

1.1.3 Dynamic Magnetic resonance imaging を使用した呼吸機能評価とその問題点

これまでに行われてきた呼吸機能評価における測定機器は、胸郭を含め肺全体の評価として使用されてきた。しかし、呼吸介助など実際の治療手技中に局所肺がどのような状態であるかを評価することは困難であった。近年、Magnetic Resonance Imaging（以下、MRI）、Computed Tomography（以下、CT）などの画像診断機器を使用した呼吸動態解析が行われるようになってきた。以下に、画像診断機器を使用した呼吸機能評価について述べる。

MRI は、胸郭・脊柱・横隔膜などから構成される胸壁を非侵襲的に、かつ明瞭に描出可能な手法である。近年、MRI はめざましく発展し、高い時間・空間分解能を持ち、静的な画像のみでなく、呼吸運動中の動的な画像を取得できるようになった。このことから、Dynamic Magnetic Resonance Imaging（以下、dMRI）を使用した呼吸メカニクス解析における報告が、国内・外[19-24]で増加傾向にある。国内では、北村ら[19]が、MRI 画像から独自の方法で算出した胸腔内腔容積変動から、スパイログラムによる 1 回換気量、機能的残気量の計測が代替可能であると報告している。また、戸上ら[20]は、健常者および肺気腫患者において、種々の呼吸状態における横隔膜、胸壁の呼吸運動評価について検討している。その結果、スライスごとに肺を囲み算出した肺面積を加算し得た肺容積の測定値が、呼吸機能検査によるデータとよく相関したと報告している。国外では、Plathow ら[23]が、MRI データを基にした簡易な肺容積モデルを導出し、呼吸運動中の胸壁運動がスパイログラムと高い相関を示したと述べている。これらの研究では、呼吸様式の違いによる胸壁および横隔膜運動を、肺気量、胸郭拡張差などと比較検討し、胸壁の動きと肺容量に相関を認めるという報告がなされている。

一方、X 線、CT、超音波を使用した報告も多く見られる。MRI 同様、CT もスキャン時間の高速化ならびにコンピュータ技術の進歩により量的、機械的情報解析が可能な環境が整っている[25]。渡辺ら[26]は、様々な呼吸条件下における健常者の肺葉別肺容積を測定し、全肺気量、機能的残気量、残気量ともに肺機能検査で測定した値と良好な相関を示したと報告している。さらに田端ら[25]も、肺活量、残気率においても相関は良好であったと述べている。CT の利点は、三次元画像を同時に取得することができる点である。しかし、CT における肺機能評価では、息止めが必要で、呼吸しながらの撮像が困難である。さらに被曝が問題となり、検査回数は必要最小限でなければならず、経過観察などにも不向きである。

その他の評価方法には、肺内の三次元的な換気分布を知る

SPECT(Single photon emission computed tomography)や、放射線核種を吸入する PET(Positron emission tomography)などがある。また最近では酸素分子や過分極ヘリウムを吸入する MR 換気画像もある。しかし、これらの評価方法もまた、高額な薬剤や設備を要し解像度や再現性に問題があるため、日常検査としては使用しづらい欠点を有している [27]。X 線、CT が持つこれらの問題に対し、MRI は被曝がなく、繰り返し測定が可能で、容易に経過観察が可能である。また MRI 検査データは、CT を用いて求めた肺体積と良好な相関が認められることから [28]、X 線や CT に代わる評価方法として臨床的にも有用であると考えられる。

本研究に関する報告をまとめると、臨床における効果が期待されているにも関わらず、未だ治療手技の有用性を証明する研究が十分行われていないのが現状であり、MRI を利用した肺機能評価が有効的な一手段であると考えてよい。

1.1.4 Dynamic Magnetic resonance imaging を使用した画像解析 による呼吸介助中の局所肺換気

これまでに、dMRI を用いて、健常者に対し右上下部胸郭に呼吸介助を行った際に、呼吸介助が局所肺に与える影響を検証してきた[29]。まず、始めに背臥位で安静呼吸時、右側肺呼吸介助時(以下、右側介助時)の胸部 MRI 撮像を、二種類の方法で行った。一つは、呼吸流量計で肺気量を確認しながら、気管支分岐部レベルの冠状断 MRI 画像を取得した。呼吸流量計から得られたデータから、1 回換気量の安定した 3-5 呼吸分の MRI 画像を抽出し、画像解析ソフト Image J を用い、抽出した画像の肺野領域の肺断面積を算出した。次に、25 秒程度の息止めを行い 1cm の厚みで 15 枚の画像を撮像し、肺野全体の冠状断 MRI 画像を取得した。息止めで取得した各画像の肺断面積を加算し、肺容積を算出した。算出した最大吸気位肺断面積・肺容積から最大呼気位肺断面積・肺容積を減じた値を、1 回換気量に相当する肺断面積・肺容積差(以下、肺断面積・肺容積 In-Ex 差)として算出した。次に、安静呼吸時、右側介助時の吸気・呼気肺気量位における肺断面積と肺容積の相関係数を求め、0.42-0.77 の間で相関関係を認めた。呼吸数および 1 回換気量、肺断面積・肺容積 In-Ex 差を安静呼吸時・右側介助時で、対応のある t 検定を用い比較した結果、左肺容積 In-Ex 差以外で有意水準 5%の有意差を認めた。また、肺断面積・肺容積 In-Ex 差は、介助を加えた右側肺で顕著に増大を示した。本検証によって、肺断面積変化から実際には三次元である肺の容積変化を捉える事が可能であることが示唆された。また、呼吸介助が 1 回換気量の増大と、介助を加えた肺の肺断面積・肺容積 In-Ex 差を顕著に増大することから、我々が臨床で行う呼吸介助が、介助を加えた肺の局所換気増大を図ることが示唆され、呼吸介助の有用性が裏付けられた。しかし、本研究においては、いくつかの課題も残された。本研究では、呼吸介助を加えていない非介助側肺の In-Ex 肺断面積にも、呼吸介助による影響が生じた。非介助側肺への影響が胸郭の柔軟性によるものか、縦隔偏倚によるものか、その原因については不明なままである。また、測定は 20 歳代の健常者を対象に、背臥位の 1 肢位のみで行った。呼吸介助は、様々な呼吸不全患者に適用可能で、臨床では側臥位や腹臥位などの肢位でもよく用いられる。そのため、背臥位以外の肢位でもさらなる検証が必要である。さらに、呼吸介助手技は、慢性呼吸器疾患患者などにおける臨床効果の報告も多いが、MRI を使用した研究は多くなく今後解明すべく問題である。呼吸介助は一步間違えば大きな危険を生じる非常にリスクの高い手技でもある。斎藤ら[30]は、高齢者やステロイド大量投与患者においては粗雑な胸郭操作により容易に肋骨骨折を生じる危険性があると述べている。自らが行った呼吸介助が、実際に肺にどれくらいの強さ

で伝わっているかの検討も今後は検討が必要だと考えられた。

1.1.1.5 腹臥位の定義とその有効性

腹臥位は、体位呼吸療法に用いられる体位の一つである。肺理学療法での体位変換は、下側肺障害(dependent lung disease)の予防と治療が主要な目的である[30]。最も、理想的な体位変換は 180 度の方向転換であるとされている。その有効性[31]は、即時効果と遅発効果に分けられ、 PaO_2 の改善、肺内シャントの減少、換気血流比不均等の軽減、含気分布改善と多岐にわたる。神津らは[32]、徒手呼吸介助と腹臥位呼吸管理を併用し、腹臥位単独よりも肺酸素化能を良好に維持すると述べている。また、陽圧人工呼吸管理下でも、同様に下側肺領域の換気を促す可能性があるとして述べている。これら、腹臥位による呼吸機能の変化は、重力による腹部臓器の影響によるとされている。腹臥位時の横隔膜運動における研究はいくつか見られるが[33]、実際に肺そのものが、どのような状態であるかの検証は行われていない。また、諸家の報告にもあるように腹臥位と呼吸介助を併用した際に、肺がどのような状態であるかの検証も行われていない。この度の研究では、背臥位での呼吸介助が局所肺の換気を増大することが明らかであることをふまえ、臨床で行うことの多い腹臥位および呼吸介助の併用により、肺がどのような影響を受けるかを、dMRI を用いて検証することにした。

1. 1. 6 慢性閉塞性肺疾患に対する呼吸介助の適応とその有効性

慢性閉塞性肺疾患は、息切れを主症状とし気流制限を特徴とする呼吸器疾患である。呼吸リハビリテーションでは、慢性呼吸器疾患患者に対し、息切れ軽減、喘息発作の軽減や吸入療法時の介助・指導時等に、呼吸介助が用いられる[34]。その有効性について、有園ら[35]は、呼吸数減少、機能的残気量減少、吸気予備量の減少、1回換気量の増大、呼吸困難度の軽減等をあげている。呼吸介助手技は臨床上的有効性を支持する報告が多岐にわたり見られるが、慢性呼吸器疾患患者を対象にした報告は多くはない。また、報告の多くは呼吸機能や息切れに関するもので、実際に肺がどのような状態であるかの報告は少ない。

肺気腫では、ほとんどの症例に肺過膨張がみられ、胸郭の柔軟性低下が認められる。さらに、急激な呼出などでは、末梢気道の閉塞が認められ、十分な呼気が得られなくなるため、口すぼめ呼吸などで、呼気を延長する呼吸法を取り入れることが多い。このような患者に、呼吸介助を実施する際に、どの程度の介助であれば、気道閉塞や脆弱した肺胞に悪影響を及ぼさず、適切な介助が実施可能かは不明である。

そこで、本研究では、dMRI を使用し、慢性閉塞性肺疾患患者に対し呼吸介助を行った際に、肺がどのような状態であるかを観察するとともに、その有効性について検証することとした。

1.2 研究目的

本研究の目的は、背臥位および腹臥位における徒手呼吸介助手技の有効性を、dMRI を用いて解明することである。また、慢性閉塞性肺疾患患者における呼吸介助が肺実質におよぼす影響について症例を通して検証することである。

1.3 本論文の構成

第2章では、背臥位における呼吸介助が局所肺および肺気量に与える影響について提示する。

第3章では、腹臥位における呼吸介助が局所肺および肺気量に与える影響について提示する。また、背臥位および介助側・非介助側肺との比較も行う。

第4章では、慢性閉塞性肺疾患に対する呼吸介助が肺実質に及ぼす影響について症例を提示する。

第5章では、研究成果を検討し、総合考察を述べる。

第6章では、研究成果を統括し、論を結ぶ。

第2章 背臥位における呼吸介助が局所肺および肺気量に与える影響

2.1 研究目的

本章の目的は、健常者に対し背臥位で右上下部胸郭に呼吸介助を行った際に、呼吸介助が局所肺および肺気量に与える影響を検証することである。そのため、本研究では、右側肺に呼吸介助を与えた際の肺断面積の変化を、安静呼吸時および介助側肺・非介助側肺で比較し、その影響を解明する。また、右側肺に呼吸介助を与えた際の肺気量変化を、安静呼吸時と比較し、その影響を解明する。

2.2 研究方法

本研究は茨城県立医療大学倫理委員会によって承認を得た研究である(承認番号 322)。

2.2.1 研究協力者

肺に特別な疾患がなく、心肺機能障害や胸郭・体幹の筋骨格疾患既往のない健常な男女 12 名（男性 8 名，女性 4 名）を対象とする。平均年齢 23.0 ± 3.0 歳，身長 167.1 ± 5.8 cm，体重 59.7 ± 5.1 kg，肺活量 3.8 ± 0.7 L（背臥位）であった。研究協力者の背景は表 1 に示す。なお研究を行うにあたり，事前に研究協力者全員に本研究の目的と方法を書面にて十分に説明し，全例より同意を得た。

表 1. 研究協力者背景

Case	性別	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	FVC(L)
A	女	20	170.0	62.0	3.3
B	男	30	170.0	62.0	4.3
C	女	26	158.0	55.0	2.9
D	男	22	167.0	57.0	3.8
E	男	23	158.0	63.0	3.5
F	男	23	175.0	65.0	4.5
G	男	22	170.0	65.0	3.9
H	女	20	164.0	54.0	2.9
I	女	26	165.0	53.0	2.9
J	男	20	171.0	55.0	4.2
K	男	23	162.0	57.0	4.2
L	男	21	175.0	68.0	5.5
Mean $\pm$ SD		23.0 $\pm$ 3.0	167.1 $\pm$ 5.8	59.7 $\pm$ 5.1	3.8 $\pm$ 0.7

略語の説明

FVC(forced vital capacity) : 努力性肺活量

2.2.2 実験方法

2.2.2.1 MRI 撮像方法

各研究協力者には、本実験前に再度目的と手順について説明した。次いで MRI 室に入室し、1.5 テスラ(以下、1.5T)の MRI (東芝 EXCELART Vantage1.5T) を用いて背臥位で実施した。

MRI 室の実験方法は、呼吸流量計 (ミナト医科学社製 AE300-S) にてサンプリング周波数 100Hz で解析ソフト (ADI 社製 PowerLab16/SP Chart5.0) に取り込みながら、各肺気量位を確認した。撮像方向は、気管支分岐を通る冠状断・水平断、左右鎖骨中央部を通る矢状断の 4 方向とし、安静呼吸時、右側肺呼吸介助時(以下、右側肺介助時)の肺の 1 断面を撮像した。撮像条件は FASE (fast advanced spin echo) 法で、TR (repetition time) は 495msec, TE(echo time)は 32msec, FA は (Flip Angle) 90°により撮像し、加算回数(NSA: number of signal averaging) は 1 回、スライス厚は 6mm, 画像再構成する範囲である矩形撮像領域の一辺の長さ FOV (field of view) は任意とした。実際には 2 分 30 秒間で 255 枚の MR 画像を取得した。二次元画像の撮像順は、ランダムに実施した。

全ての撮像条件において、呼吸介助は、呼吸理学療法の実験が十分にある 1 名の理学療法士が、右上下部胸郭に安静呼気位を超えて胸郭の動きが自然に停止するところまで実施した。また、呼吸介助が加えられても、意識的に大きな呼吸をすることがないよう指示を加えた。

全ての撮像条件で信号雑音比の良好な画像を得るために、体幹部に Phased-array coil を使用した。Phased-array coil は、胸郭に触れ呼吸運動を阻害することがないように、装具作成時に使用する非磁性の材質を用い、体幹部を囲むように自作した台上に設置した。MRI 室での実験方法を図 1 に示す。上段は、実験装置全体を示したものになる。下段は、実際に MRI ドームの中に研究協力者が背臥位になっている状態を、頭側より撮影したものである。

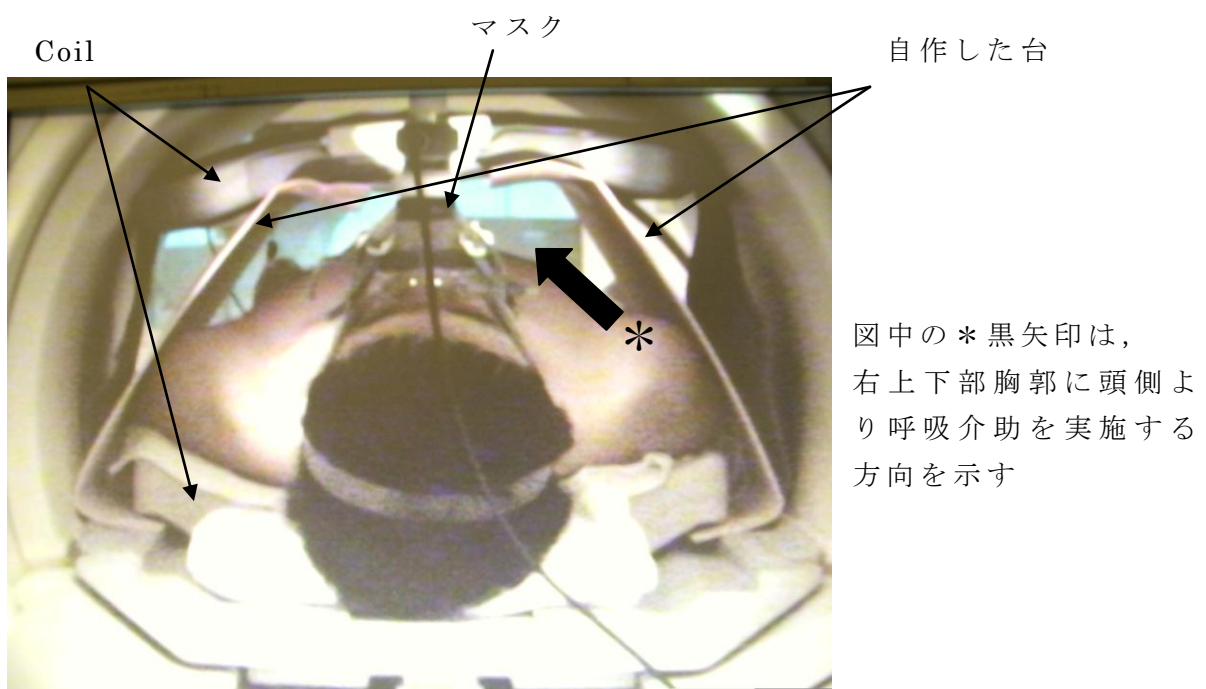
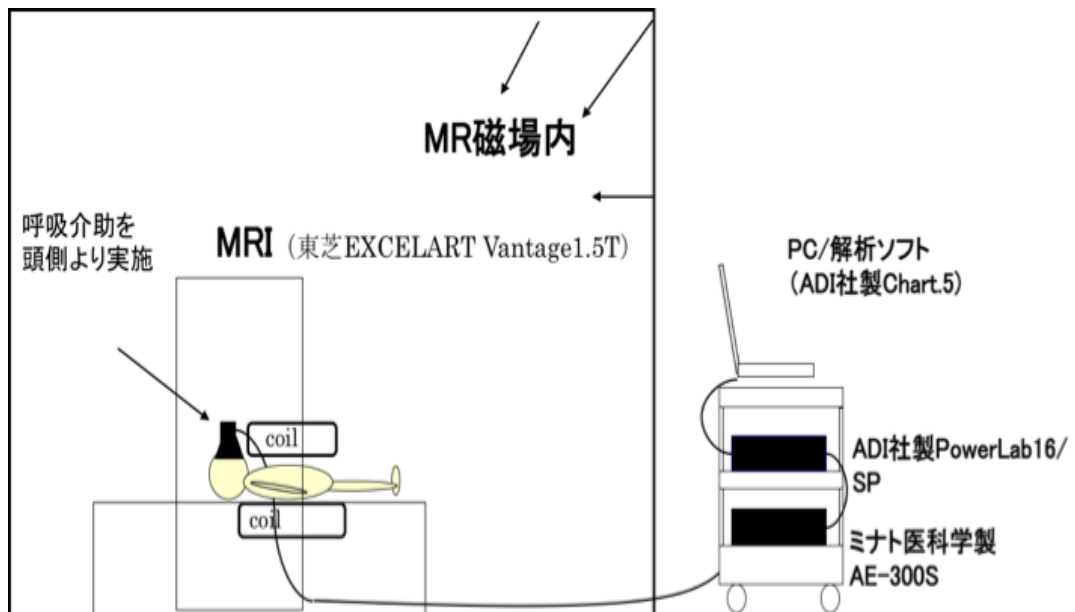


図 1. MRI 室での実験方法

2.2.2.2 肺気量波形の解析

肺気量データは、Excel データに変換し Personal computer に取り込み、野添ら[36]の方法を用いドリフト補正を行った。ドリフトの補正は、各撮像前後に最大吸気を行い、撮像前の最大吸気肺気量位と、撮像後の最大吸気肺気量位の差を、その間の時間で除し、一定時間にドリフトによって生じる肺気量位の変化量を求め、測定値からその変化量を引いた(図 2)。次に、補正した波形の陰性ピークを終末呼気肺気量位(以下、EELV: End Expiratory Lung Volume)、陽性ピークを終末吸気肺気量位(以下、EILV: End Inspiratory Lung Volume)とし、それぞれの値に関しては、各対象者の肺活量を 100%として正規化した。また、陰性ピークと次の陽性ピークの気量差を一回換気量として算出した。さらに、陰性ピークと次の陰性ピークまでの時間を全呼吸時間とし、60 秒を全呼吸時間で除すことにより呼吸数を求めた。

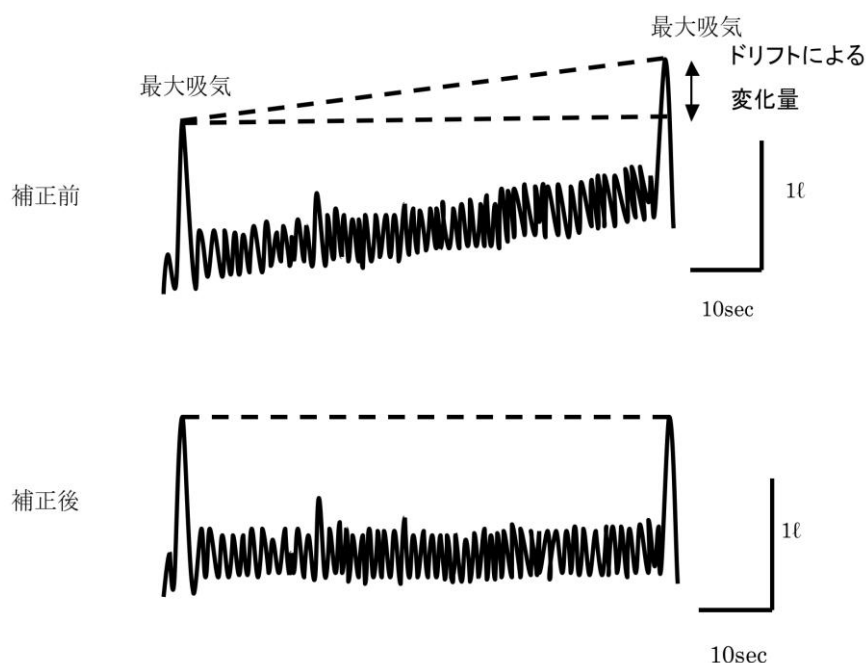


図 2 波形分析方法 (文献³⁶⁾より引用)

2.2.2.3 二次元画像(肺断面積)の解析

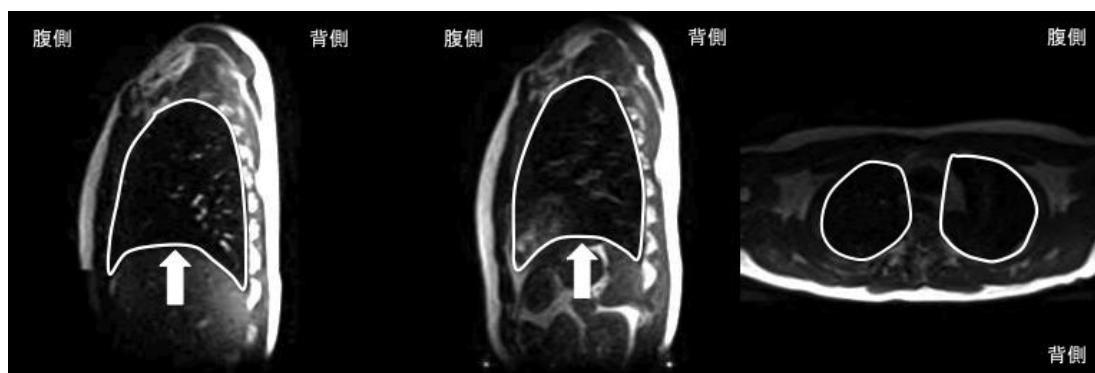
取得した MRI 画像は、画像解析ソフト ImageJ を用いて、横隔膜の最も下降した画像を最大呼気位画像、最も挙上した画像を最大吸気位画像とし、各条件におけるすべての最大吸気位・呼気位画像を抽出した。次に、各撮像条件において安定した 3-5 呼吸を選択し、その時の最大吸気・呼気位の MRI 画像の左右肺面積を求めた。

肺面積の描出並びに算出は、医用画像解析アプリ OsiriX (Ver.3.7)を用いて視覚的に肺を捉えながら、以下に述べる肺領域で行った。冠状断の肺領域では、肺尖部から第 2 胸椎上、第 2 胸椎から心臓横隔膜角を結ぶ直線、心臓横隔膜角から肋横隔膜角までの横隔膜ドーム上、肋横隔膜角から肺尖部までの胸壁上を囲んだ面積とした。水平断の肺領域では、縦隔を除く胸壁を囲んだ面積、左右矢状断の肺領域では胸壁と横隔膜ドーム上を囲んだ面積を算出した。図 3 に肺面積描出領域を示す。

各撮像条件で最大吸気位画像の肺面積から最大呼気位肺面積を減じた肺面積差（以下、肺断面積 In-Ex 差）を算出した。



冠状断



矢状断：右

矢状断：左

水平断

図3 肺断面積描出領域

図は、気管支分岐を通る冠状断・水平断および左右鎖骨中央部を通る矢状断 MRI 画像である。MRI 画像上で、腹部内臓器と肺野の境界線を横隔膜の位置と定め、最大吸気・呼気画像を抽出し、図の白線で記したように徒手で肺野を囲み描出した。矢印は横隔膜の位置を示す。

2.2.2.4 統計処理

統計学的検定として，1回換気量，呼吸数，EILV, EELV は安静呼吸時と右側肺介助時の比較を行うために，対応のある t 検定を行った。また，肺断面積，肺断面積 In-Ex 面積差に関しては，左右肺および介助の有無の二要因分散分析を実施し，交互作用の認められるものに関しては t 検定を行った。一連のデータ解析は，統計パッケージ SPSS2.0 ver.19(IBM 社製)を用い，有意水準は 5%未満とした。

2.3 研究結果

2.3.1 背臥位における安静呼吸時と右側肺呼吸介助時の換気量・呼吸数・肺気量位の変化

1 回換気量は，全撮像方向の平均値では，安静呼吸時 $559.4 \pm 15.4 \text{ ml}$ ，右側肺介助時 $1075.6 \pm 67.3 \text{ ml}$ であった。全ての撮像方向で，右側肺介助時に，顕著な増大を示し，有意な差を認めた ($p < 0.05$)。全撮像方向の呼吸数平均値では，安静呼吸時 $14.1 \pm 0.6 \text{ 回/min}$ ，右側肺介助時 $8.5 \pm 0.5 \text{ 回/min}$ で，全ての撮像方向で右側肺介助時に有意な減少を認めた ($p < 0.01$)。

EILV は，安静呼吸時 0.34 ± 0.01 ，呼吸介助時 0.38 ± 0.03 で全ての撮像方向に有意な差を認めなかった ($p < 0.05$)。EELV は，安静呼吸時 0.20 ± 0.01 ，右側肺介助時 0.15 ± 0.04 で，水平断をのぞくすべての撮像方向に有意な差を認めた ($p < 0.05$)。1 回換気量の結果を表 2 に，呼吸数の結果を表 3 に，EILV と EELV の結果を表 4 に示す。

表 2. 全撮像方向における 1 回換気量

		背臥位		
		安静呼吸時(ml)	呼吸介助時(ml)	p値
冠状断		568.1±101.4	1029.5±345.3	<0.01
矢状断	右	559.8±122.6	1135.9±418.5	<0.01
	左	572.1±96.0	1006.4±308.6	<0.05
水平断		537.7±137.9	1130.5±344.0	<0.01

値は平均値±標準偏差を示す。P値:安静呼吸 vs 呼吸介助

表 3. 全撮像方向における呼吸数

		背臥位		
		安静呼吸時(回/min)	呼吸介助時(回/min)	p値
冠状断		14.5±4.3	8.0±4.3	<0.01
矢状断	右	13.5±4.4	9.1±1.7	<0.01
	左	13.7±4.5	8.7±1.8	<0.01
水平断		14.7±3.7	8.3±1.5	<0.01

値は平均値±標準偏差を示す。P値:安静呼吸 vs 呼吸介助

表 4. 全撮像方向における肺気量位

		背臥位							
		安静呼吸時			安静呼吸時			呼吸介助時	
		EILV(%)		p値	EELV(%)			p値	
冠状断		0.35±0.09	0.35±0.09	n.s	0.21±0.08	0.21±0.04		<0.01	
矢状断	右	0.33±0.08	0.40±0.07	n.s	0.19±0.05	0.12±0.04		<0.05	
	左	0.34±0.07	0.37±0.06	n.s	0.21±0.04	0.12±0.05		<0.01	
水平断		0.33±0.08	0.41±0.05	n.s	0.20±0.06	0.14±0.05		n.s	

値は平均値±標準偏差を示す。P値:安静呼吸 vs 呼吸介助

2.3.2 背臥位における介助側肺および非介助側肺の肺断面積の比較

安静呼吸時吸気位肺断面積は，冠状断では介助側 $173 \pm 47.6 \text{ cm}^2$ ，非介助側 $156.6 \pm 46.7 \text{ cm}^2$ ，介助側右矢状断では $196.9 \pm 61.4 \text{ cm}^2$ ，非介助側左矢状断では $185.1 \pm 94.8 \text{ cm}^2$ ，水平断では介助側 $76.3 \pm 32.7 \text{ cm}^2$ ，非介助側 $78.9 \pm 33.2 \text{ cm}^2$ であった。右側肺介助時吸気位肺断面積は，冠状断では介助側 $161.2 \pm 77.1 \text{ cm}^2$ ，非介助側 $145.7 \pm 68.5 \text{ cm}^2$ ，介助側右矢状断では $191.4 \pm 80.3 \text{ cm}^2$ ，非介助側左矢状断では $205.9 \pm 83.7 \text{ cm}^2$ ，水平断では介助側 $71.6 \pm 39.9 \text{ cm}^2$ ，非介助側 $74.1 \pm 40.6 \text{ cm}^2$ であった。統計解析は，介助の有無および左右肺の二要因で分散分析を行った。その結果，吸気位肺断面積は，冠状断にのみ介助の有無で有意な差を認めた ($p < 0.01$)。次に，安静呼吸時呼気位肺断面積は，冠状断では介助側 $149.0 \pm 35.9 \text{ cm}^2$ ，非介助側 $136.5 \pm 37.7 \text{ cm}^2$ ，介助側右矢状断では $177.1 \pm 51.7 \text{ cm}^2$ ，非介助側左矢状断では $169.1 \pm 83.1 \text{ cm}^2$ ，水平断では介助側 $77.4 \pm 31.7 \text{ cm}^2$ ，非介助側 $78.3 \pm 31.8 \text{ cm}^2$ であった。右側肺介助時呼気位肺断面積は，冠状断では介助側 $120.6 \pm 53.3 \text{ cm}^2$ ，非介助側 $118.6 \pm 54.2 \text{ cm}^2$ ，介助側右矢状断では $147.1 \pm 63.1 \text{ cm}^2$ ，非介助側左矢状断では $173.9 \pm 66.3 \text{ cm}^2$ ，水平断では介助側 $64.1 \pm 34.6 \text{ cm}^2$ ，非介助側 $69.6 \pm 36.4 \text{ cm}^2$ であった。統計解析は，吸気位肺断面積と同様に二要因分散分析を行い，交互作用を認めたため，t 検定を実施した。結果，呼気位肺断面積は，冠状断呼吸介助時，水平断の安静呼吸時および呼吸介助時に，左右肺および介助の有無に有意な差を認めた ($p < 0.01$)。また左矢状断の呼吸介助時，左右肺にも有意な差を認めたが，右矢状断では有意な差を認めなかった。

1 回換気量に相当する In-Ex 肺断面積については，冠状断で介助の有無に有意な差を認めた ($p < 0.01$)。矢状断では，安静呼吸時および呼吸介助時ともに左右肺に有意な差を認めた ($p < 0.05$)。水平断では，有意な差は認めなかった。これらの結果を，表 5～7 に示す。また実際の MRI 画像を図 4～7 に示す。

表 5. 吸気位肺断面積

	安静呼吸時			呼吸介助時		
	介助側肺	非介助側肺	p値	介助側肺	非介助側肺	p値
冠状断	173.4±47.6	156.6±46.7	<0.01	161.2±77.1	145.7±68.5	<0.01
矢状断	196.9±61.4	185.1±94.8	n.s	191.4±80.3	205.9±83.7	n.s
水平断	76.3±32.7	78.9±33.2	n.s	71.6±39.9	74.1±40.6	n.s

値は平均値±標準偏差を示す。P値:安静呼吸 vs 呼吸介助。単位(cm²)

表 6. 呼気位肺断面積

	安静呼吸時			呼吸介助時		
	介助側肺	非介助側肺	p値	介助側肺	非介助側肺	p値
冠状断	149.0±35.9	136.5±37.7	n.s	120.6±53.3	118.6±54.2	<0.01
矢状断	177.1±51.7	169.1±83.1	n.s	147.1±63.1	173.9±66.3	<0.01
水平断	77.4±31.7	78.3±31.8	<0.01	64.1±34.6	69.6±36.4	<0.01

値は平均値±標準偏差を示す。P値:安静呼吸 vs 呼吸介助。単位(cm²)

表 7. In-Ex 肺断面積差

	安静呼吸時			呼吸介助時		
	介助側肺	非介助側肺	p値	介助側肺	非介助側肺	p値
冠状断	36.8±31.8	19.9±27.0	<0.01	40.6±39.3	27.0±34.8	<0.01
矢状断	22.6±42.3	19.0±39.2	<0.01	43.8±36.8	34.6±45.9	<0.01
水平断	0±25.3	3.2±27.9	n.s	8.5±21.7	5.7±18.7	n.s

値は平均値±標準偏差を示す。P値:安静呼吸 vs 呼吸介助。単位(cm²)

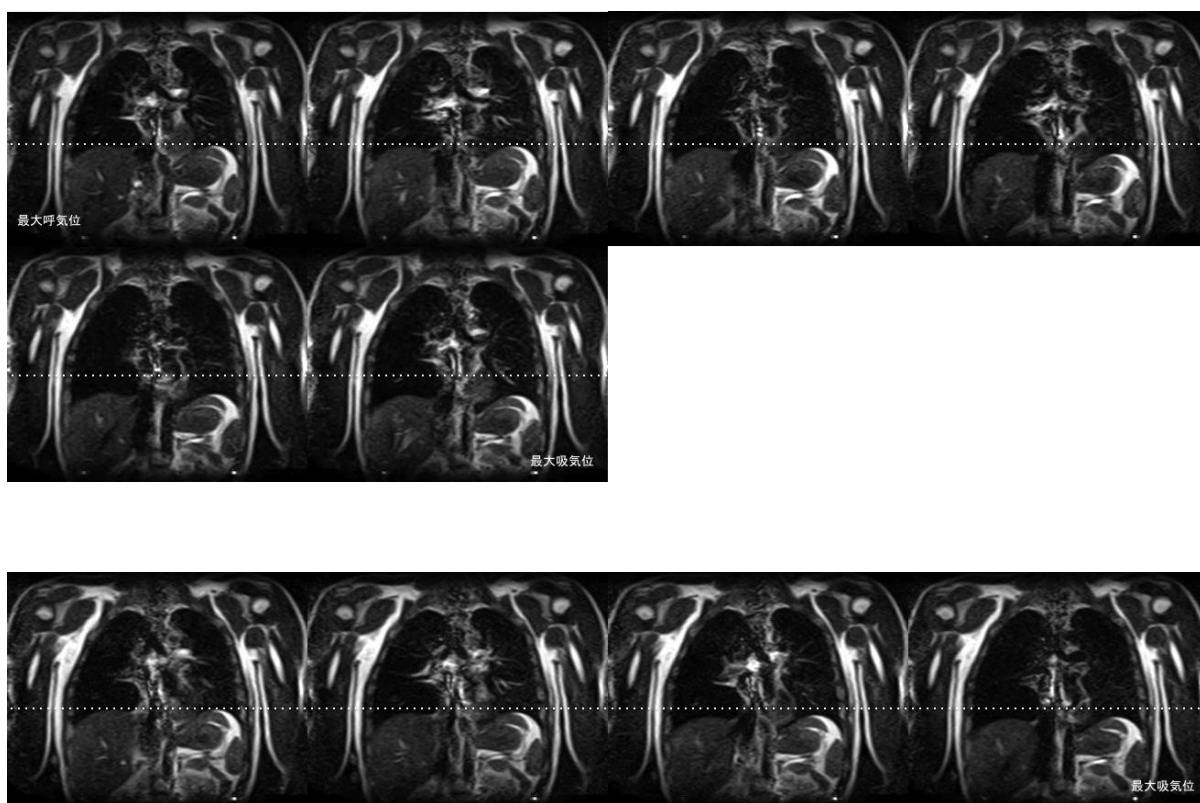


図 4 冠状断 MRI 画像

上段：安静呼吸時 下段：呼吸介助時(右側肺介助時)
 左端から右端に向かい, 495msec 毎に撮像した最大呼気位 MRI 画像から
 最大吸気位 MRI 画像を示す。また, 白破線は安静呼吸時における最大呼
 気位横隔膜の位置を示す。

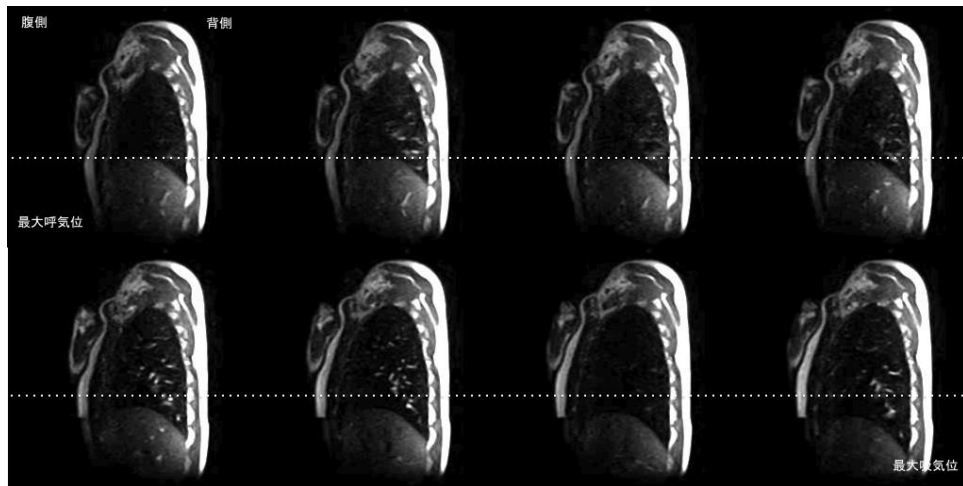
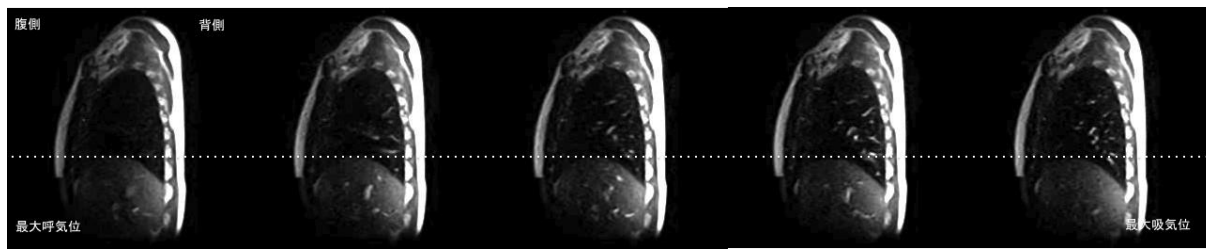


図 5 右矢状断

上段：安静呼吸時 下段：呼吸介助時(右側肺介助時)
左端から右端に向かい, 495msec 毎に撮像した最大呼気位 MRI 画像から最大吸気位 MRI 画像を示す。また, 白波線は安静呼吸時における最大呼気位横隔膜の位置を示す。

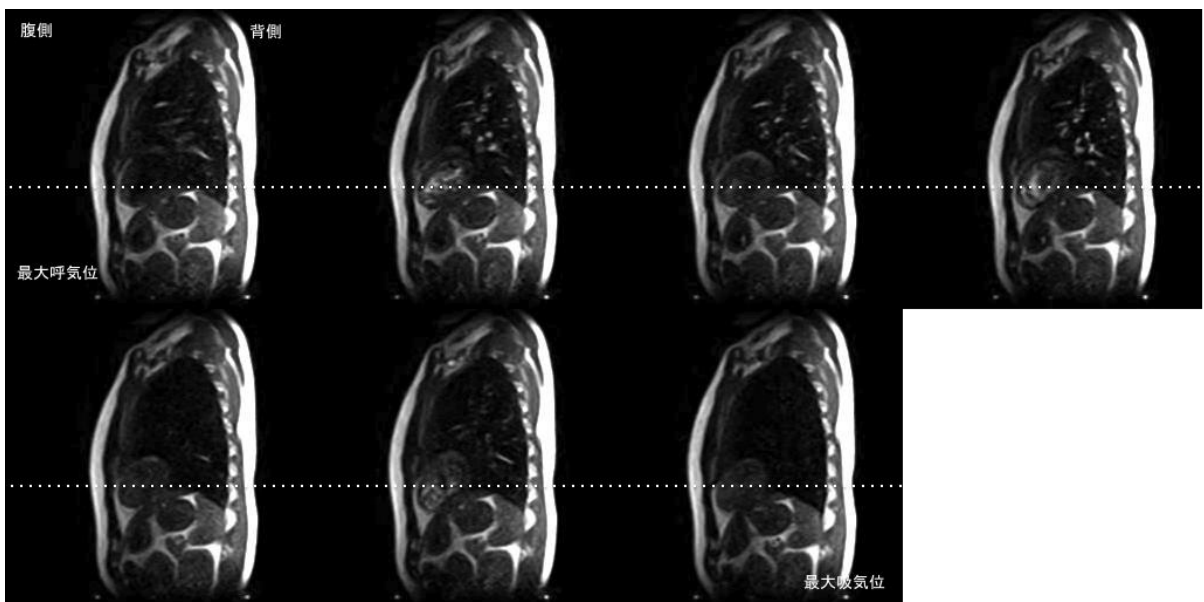
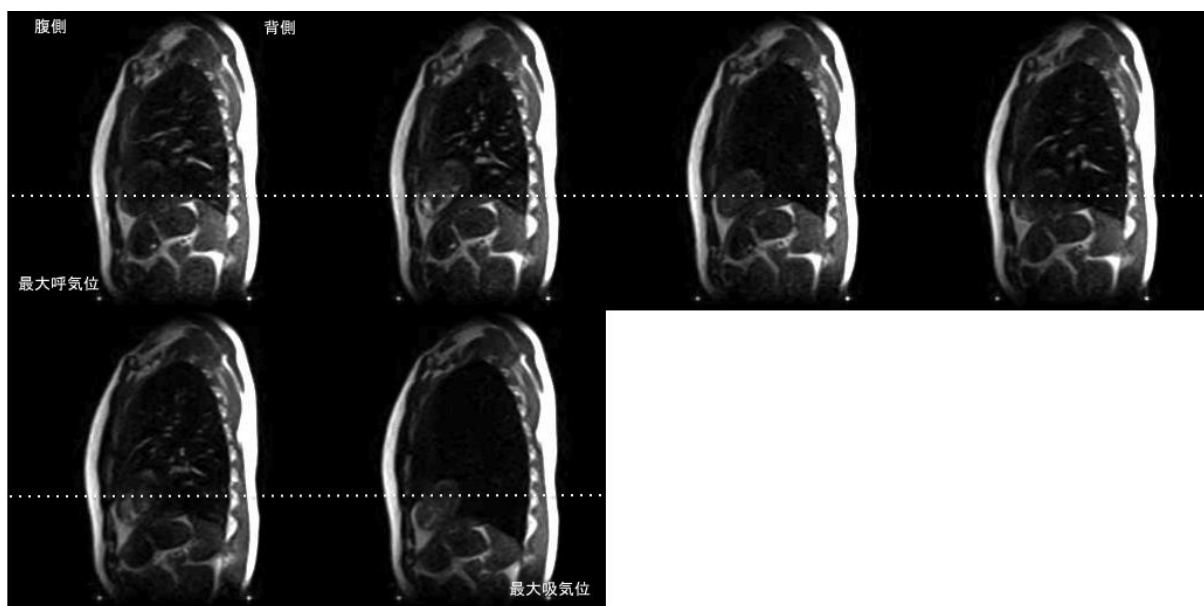


図 6 左矢状断

上段：安静呼吸時 下段：呼吸介助時(右側肺介助時)
左端から右端に向かい, 495msec 毎に撮像した最大呼気位 MRI 画像から
最大吸気位 MRI 画像を示す。また, 白波線は安静呼吸時における最大呼
気位横隔膜の位置を示す。

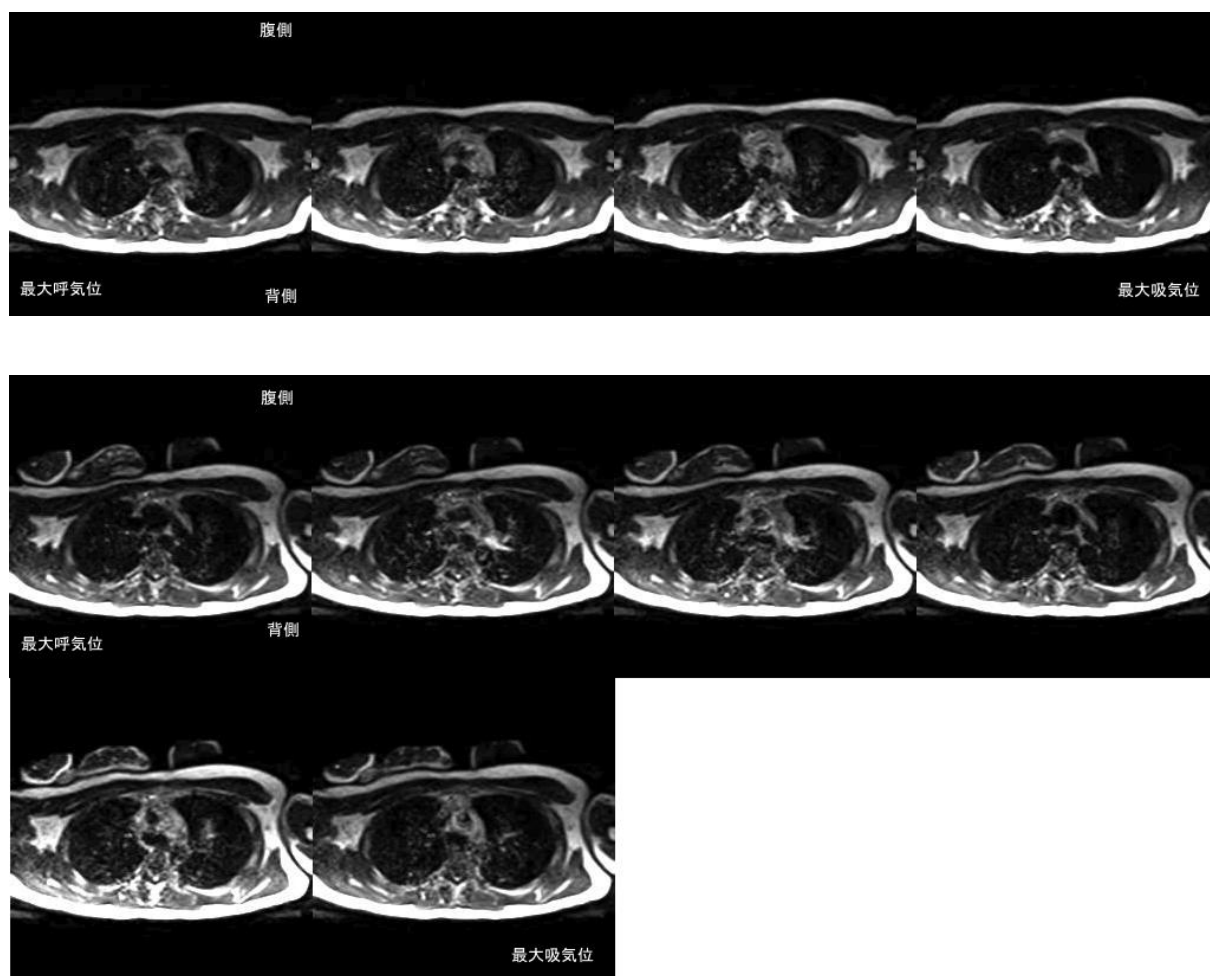


図 7 水平断

上段：安静呼吸時 下段：呼吸介助時(右側肺介助時)
左端から右端に向かい, 495msec 毎に撮像した最大呼気位 MRI 画像から
最大吸気位 MRI 画像を示す。

2. 4 考察

1 回換気量は、全ての撮像方向で右側肺呼吸介助時に有意に増大し、我々の先行研究同様、呼吸介助が 1 回換気量を増大させることが再確認できた。諸家の報告では[27-29]、呼吸介助による 1 回換気量増大の効果機序は、安静呼気位を超えた呼気時の胸郭圧迫による予備呼気量の低下、呼気介助により胸郭弾性復元力が高まり予備吸気量の減少が生じることによると考えられている。本研究では、先行研究では行わなかった肺気量の測定を新たに追加し、EILV および EELV を算出した。EILV は、すべての撮像方向で有意な差を認めなかった。EELV は、水平断をのぞく全ての撮像方向で有意な差を認めた。これは、諸家の報告と同様に、本研究における呼吸介助が予備呼気量を低下させ、1 回換気量が増大したと考えられる。

次に、吸気位肺断面積は、冠状断にのみ介助の有無で有意な差を認めた。呼気位肺断面積は、冠状断では呼吸介助時に、水平断の安静呼吸時および呼吸介助時に、左右肺および介助の有無に有意な差を認めた。また左矢状断の呼吸介助時、左右肺にも有意な差を認めた。これらの結果、先行研究同様、呼吸介助が介助を加えた局所肺の呼気位肺断面積を減少させることが再確認できた。また、1 回換気量に相当する In-Ex 肺断面積については、冠状断で介助の有無に有意な差を認め、矢状断では、安静呼吸時および呼吸介助時ともに左右肺に有意な差を認めた。以上より、呼吸介助による 1 回換気量の増大は、呼吸介助が介助を加えた局所肺の呼気位肺断面積を減少し、EELV を減少させたことにより生じる事が示唆された。

また、右側肺介助時の介助側肺断面積は安静呼吸時に比し、すべての撮像方向で優位な減少を認めた。これは、右側肺介助により主に、呼気時に介助を加えた局所肺が収縮し予備呼気量が減少したことを示唆する。また、吸気時には肺の弾性収縮力により肺は拡張するが、右側肺介助時に吸気位肺断面積は介助側肺および非介助側肺ともに安静呼吸時に比し、有意な差を認めなかった。1 回換気量に相当する In-Ex 肺断面積差は、冠状断において左右肺ともに安静呼吸時に比し有意な増大を示した。

これは、右側肺介助により縦郭が非介助側肺に偏倚した可能性が考えられる。冠状断および水平断での MRI 画像は、縦郭の偏倚をより明確に捉えやすい撮像方向である。実際に、右側肺介助時に取得した MRI 画像では、上部胸郭の凹みが観察されるとともに、縦郭の偏倚が見られる画像もあった。また、左右矢状断 In-Ex 肺断面積差においても、有意な差は認めなかったが、安静呼吸時に比し右側肺介助時に顕著な増大を認めた。これは、矢状断からの撮像方向は、呼吸運動に伴う胸郭の前後運動とともに横隔膜の動きを同時に観察することができ、右側肺介助により

非介助側肺へ縦郭とともに押された肺実質が，さらに非介助側肺の横隔膜方向へ向かい押された可能性が考えられた。

次に，呼吸数は先行研究同様，全ての撮像方向で右側肺呼吸介助時に有意に減少し，右側肺介助により呼吸パターンが換気量優位なパターンへ変換されたと考えられる[28]。

本章における結果をまとめると，我々の先行研究の結果同様，呼吸介助が介助を加えた肺の局所の換気増大を図ることが再確認された。さらに，今回の研究では肺気量位を測定したことから，1回換気量の増大が主に呼気時の胸郭圧迫による介助側肺の収縮と，それに伴う EELV の減少，呼気予備量の減少によることが示唆された。

また，呼吸介助により介助側肺から非介助側肺へ押された左肺実質は，縦郭の偏倚を伴うだけでなく，横隔膜方向へも圧迫される可能性が示唆された。

第 3 章 腹臥位における呼吸介助が局所肺および肺気量に及ぼす影響

3.1. 研究目的

本章の目的は、健常者に対し、腹臥位で右上下部胸郭に呼吸介助を行った際に、呼吸介助が局所肺および肺気量に与える影響を検証することである。そのため、本実験では、腹臥位で右側肺に呼吸介助を与えた際の肺断面積の変化を、安静呼吸時および介助側肺・非介助側肺で比較し、その影響を解明する。また、右側肺に呼吸介助を与えた際の肺気量変化を安静呼吸時と比較し、その影響を解明する。さらに、背臥位と腹臥位での比較も行い、姿勢の変化による影響についても検証する。

3.2 研究方法

本研究は茨城県立医療大学倫理委員会によって承認を得た研究である(承認番号 322)。

3.2.1 研究協力者

肺に特別な疾患がなく、心肺機能障害や胸郭・体幹の筋骨格疾患既往のない健常な男女 9 名(男性 6 名, 女性 3 名)とした。平均年齢 23.4 ± 3.3 歳, 身長 167.7 ± 6.4 cm, 体重 60.0 ± 5.2 kg, 肺活量 3.8 ± 0.8 L(背臥位)であった。研究協力者の背景は表 8 に示す。なお研究を行うにあたり, 研究協力者全員に事前に書面にて本研究の目的と方法を十分に説明し, 全例より同意を得た。

表 8. 研究協力者背景

Case	性別	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	FVC(L)
A	女	20	170.0	62.0	3.3
B	男	30	170.0	62.0	4.3
C	女	26	158.0	55.0	2.9
D	男	22	167.0	57.0	3.8
E	男	23	158.0	63.0	3.5
F	男	23	175.0	65.0	4.5
I	女	26	165.0	53.0	2.9
J	男	20	171.0	55.0	4.2
L	男	21	175.0	68.0	5.2
Mean± SD		23.4±3.3	167.7±6.4	60.0±5.2	3.8±0.8

略語の説明

FVC(forced vital capacity)：努力性肺活量

Case 番号は表 1.に対応する

3.2.2 実験方法

3.2.2.1 MRI 撮像方法

各研究協力者には，本実験前に再度目的と手順について説明した。次いで MRI 室に入室し，1.5T の MRI（東芝 EXCELART Vantage1.5T）を用いて腹臥位で実施した。MRI 実験方法は，本章第 2.2.2.1 と同様である。

3.2.2.2 統計処理

統計学的検定として，1 回換気量，呼吸数，EILV, EELV は，介助の有無および姿勢の変化の二要因分散分析を実施した。また，肺断面積，肺断面積 In-Ex 面積差に関しては，介助側肺に対し，左右肺および姿勢の変化の二要因分散分析を実施した。すべての統計処理において，交互作用の認められるものに関しては，t 検定を行った。一連のデータ解析は，統計パッケージ SPSS2.0 ver.19(IBM 社製)を用い，有意水準は 5%未満とした。

3.3 研究結果

3.3.1 腹臥位における安静呼吸時と右側肺呼吸介助時の換気量・呼吸数・肺気量位の変化

腹臥位における 1 回換気量は，安静呼吸時 $497.7 \pm 20.0 \text{ ml}$ ，右側肺介助時 $1131.3 \pm 30.1 \text{ ml}$ で，右側肺呼吸介助時に顕著な増大を認めた。また，姿勢の変化および介助の有無の二要因分散分析結果では，冠状断で介助の有無に有意な差を認めた ($p < 0.05$)。その他の全ての撮像方向では，交互作用を認めたため， t 検定を行った。その結果，すべての撮像方向で，介助の有無および姿勢の変化に有意な差を認めた ($p < 0.05$)。

腹臥位における呼吸数は，安静呼吸時 $14.9 \pm 0.8 \text{ 回/min}$ ，右側肺介助時 $9.7 \pm 0.6 \text{ 回/min}$ で，全ての撮像方向で右側肺介助時に有意な減少を認めた。また，姿勢の変化および介助の有無の二要因分散分析結果では，水平断をのぞく全ての撮像方向で，介助の有無により有意な差を認めた ($p < 0.01$)。水平断では，二要因分散分析の結果，交互作用を認めたため t 検定を実施した。その結果，姿勢の変化および介助の有無に有意な差を認めた ($p < 0.05$)。

腹臥位における EILV は，安静呼吸時 0.34 ± 0.04 ，右側肺介助時 0.50 ± 0.02 で，介助により顕著な増大を認めた。姿勢の変化および介助の有無の二要因分散分析結果では，冠状断をのぞく全ての撮像方向で介助により有意な差を認めた ($p < 0.05$)。また冠状断では，二要因分散分析で交互作用を認めたため t 検定を実施した。その結果，姿勢の変化には有意な差を認めず，介助の安静呼吸時および右側肺呼吸介助時ともに介助により有意な差を認めた ($p < 0.05$)。

腹臥位における EELV は，安静呼吸時 0.22 ± 0.02 ，右側肺介助時 0.22 ± 0.02 で，安静呼吸時は減少したが，右側肺介助時には増大を認めた。姿勢の変化および介助の有無の二要因分散分析結果では，冠状断と右矢状断で交互作用を認めたため， t 検定を行った。その結果，冠状断では介助の有無 ($p < 0.05$) と右側肺介助時の姿勢変化 ($p < 0.01$) に有意な差を認めた。また，右矢状断では，右側肺介助時の姿勢変化に有意な差を認めた ($p < 0.01$)。左矢状断および水平断では，姿勢の変化および介助の有無の二要因分散分析結果で，安静呼吸時および右側肺介助時ともに姿勢の変化に有意な差を認めた ($p < 0.01$)。

結果を，表 9～12 に示す。

表 9. 全撮像方向における 1 回換気量

		安静呼吸時	呼吸介助時		安静呼吸時	呼吸介助時	
		Supine		p値	Prone		p値
冠状断		568.1±101.4	1029.5±345.3	<0.01	476.7±152.7	1141.7±440.2	<0.01
矢状断	右	531.2±153.3	1135.9±418.5	<0.01	524.9±165.3	1166.7±165.3	<0.01
	左	649.9±421.1	1006.4±308.6	<0.01	494.4±125.4	1095.7±455.4	<0.01
水平断		530.9±142.5	1130.5±344.0	<0.05	494.9±113.3	1121.1±424.3	<0.05

値は平均値±標準偏差を示す。単位(ml)。

P値:姿勢の変化, 介助の有無による二要因分散分析結果および交互作用を認めたものに関しては, t検定の値を示す

表 10. 全撮像方向における呼吸数

		安静呼吸時	呼吸介助時		安静呼吸時	呼吸介助時	
		Supine		p値	Prone		p値
冠状断		14.5±4.3	8.0±4.3	<0.01	15.3±4.3	9.0±2.3	<0.01
矢状断	右	13.5±4.4	9.1±1.7	<0.01	15.4±5.2	9.5±1.8	<0.01
	左	13.7±4.5	8.7±1.8	<0.01	15.0±4.1	9.8±0.8	<0.01
水平断		14.7±3.7	8.3±1.5	<0.05	13.7±4.4	10.4±2.9	<0.05

値は平均値±標準偏差を示す。単位(回/min)。

P値:姿勢の変化, 介助の有無による二要因分散分析結果および交互作用を認めたものに関しては, t検定の値を示す

表 11. 全撮像方向における終末吸気肺気量位

		安静呼吸時	呼吸介助時		安静呼吸時	呼吸介助時	
		EILV					
		Supine		p値	Prone		p値
冠状断		0.35±0.09	0.33±0.08	<0.05	0.34±0.11	0.50±0.11	<0.05
矢状断	右	0.36±0.10	0.36±0.05	<0.05	0.31±0.14	0.52±0.16	<0.05
	左	0.32±0.08	0.31±0.07	<0.05	0.40±0.06	0.48±0.12	<0.05
水平断		0.39±0.07	0.40±0.05	<0.05	0.32±0.17	0.49±0.12	<0.05

値は平均値±標準偏差を示す。単位(%)。

P値:姿勢の変化, 介助の有無による二要因分散分析結果および交互作用を認めたものに関しては, t検定の値を示す

表 12. 全撮像方向における終末呼気肺気量位

		安静呼吸時	呼吸介助時		安静呼吸時	呼吸介助時	
		EELV					
		Supine		p値	Prone		p値
冠状断		0.21±0.08	0.21±0.04	<0.01	0.21±0.09	0.23±0.09	<0.05
矢状断	右	0.14±0.03	0.16±0.05	<0.05	0.20±0.11	0.20±0.08	n.s
	左	0.29±0.05	0.20±0.06	<0.01	0.25±0.03	0.24±0.08	<0.01
水平断		0.14±0.05	0.15±0.04	<0.01	0.21±0.10	0.21±0.04	<0.01

値は平均値±標準偏差を示す。単位(%)。

P値:姿勢の変化, 介助の有無による二要因分散分析結果および交互作用を認めたものに関しては, t検定の値を示す

3.3.2 腹臥位における背臥位との介助側肺および非介助側肺の肺断面積の比較

腹臥位における右側肺介助時の吸気位肺断面積は、左右肺および姿勢の変化の二要因分散分析の結果、左右矢状断で左右肺に有意な差を認めた($p<0.05$)。また冠状断では二要因分散分析の結果、交互作用を認めたため、t検定を実施した。その結果、左右肺に有意な差を認めた($p<0.05$)。

腹臥位における右側肺介助時の呼気位肺断面積は、左右肺および姿勢の変化の二要因分散分析の結果、冠状断では姿勢変化に有意な差を認め($p<0.05$)、左右矢状断では左右肺に有意な差を認めた($p<0.05$)。水平断では、姿勢変化及び左右肺に有意な差を認めず、全ての撮像方向で交互作用は認めなかった。

腹臥位における In-Ex 肺断面積差は、左右肺および姿勢の変化の二要因分散分析の結果、冠状断および水平断で左右肺に有意な差を認めた($p<0.05$)。左右矢状断には、二要因分散分析の結果、有意な差を認めず、また、すべての撮像方向で交互作用は認めなかった。

結果を、表 13～15 に示す。また、実際の MRI 画像を図 8～11 に示す。

表 13. 全撮像方向における吸気位肺断面積変化

	介助側	非介助側		介助側	非介助側	
	Supine		p値	Prone		p値
冠状断	161.2±77.1	145.7±68.6	<0.05	203.4±35.0	204.4±36.0	<0.05
矢状断	191.4±80.3	205.9±83.7	<0.05	226.5±29.6	242.1±33.9	<0.05
水平断	71.6±39.9	74.1±40.6	n.s	87.9±10.6	90.1±11.5	n.s

値は平均値±標準偏差を示す。単位(cm²)。

P値:姿勢の変化, 左右肺による二要因分散分析結果および交互作用を認めたものに関しては, t検定の値を示す

表 14. 全撮像方向における呼気位肺断面積変化

	介助側	非介助側		介助側	非介助側	
	Supine		p値	Prone		p値
冠状断	120.6±53.3	118.6±54.2	<0.05	153.3±16.4	156.7±19.5	<0.05
矢状断	147.1±63.1	173.9±66.3	<0.05	164.6±31.8	194.1±30.1	<0.05
水平断	64.1±34.6	69.6±36.4	n.s	79.3±13.9	81.3±13.5	n.s

値は平均値±標準偏差を示す。単位(cm²)。

P値:姿勢の変化, 左右肺による二要因分散分析結果および交互作用を認めたものに関しては, t検定の値を示す

表 15. 全撮像方向における In-Ex 肺断面積変化

	介助側	非介助側		介助側	非介助側	
	Supine		p値	Prone		p値
冠状断	60.7±16.2	35.7±14.0	<0.05	54.3±29.5	56.8±36.7	<0.05
矢状断	71.0±20.8	42.4±15.5	n.s	44.4±22.9	54.1±27.8	n.s
水平断	11.5±12.4	6.4±8.2	<0.05	17.0±16.8	17.5±18.3	<0.05

値は平均値±標準偏差を示す。単位(cm²)。

P値:姿勢の変化, 左右肺による二要因分散分析結果および交互作用を認めたものに関しては, t検定の値を示す

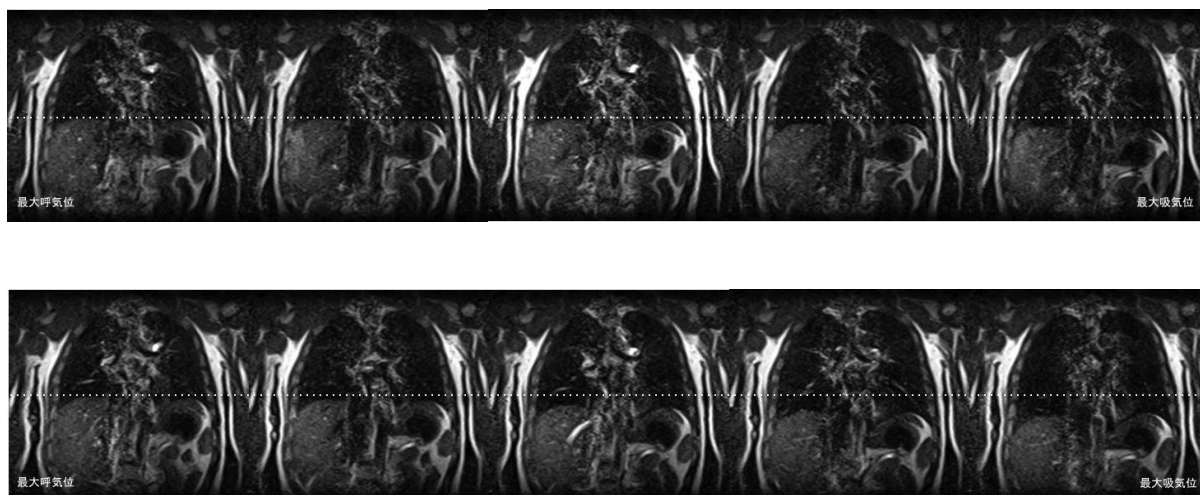


図 8 冠状断 MRI 画像

上段：背臥位 下段：腹臥位

左端から右端に向かい, 495msec 毎に撮像した最大呼気位 MRI 画像から最大吸気位 MRI 画像を示す。白破線は呼吸介助時における最大呼気位横隔膜の位置を示す。

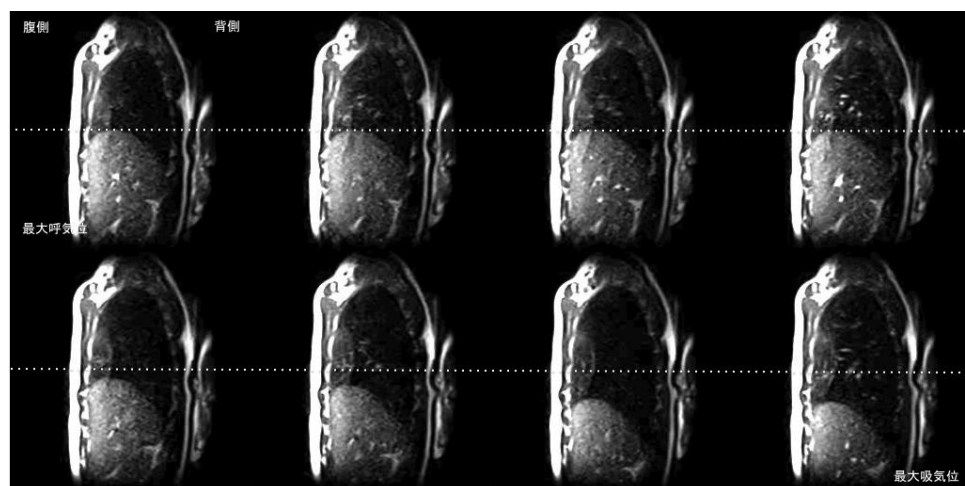
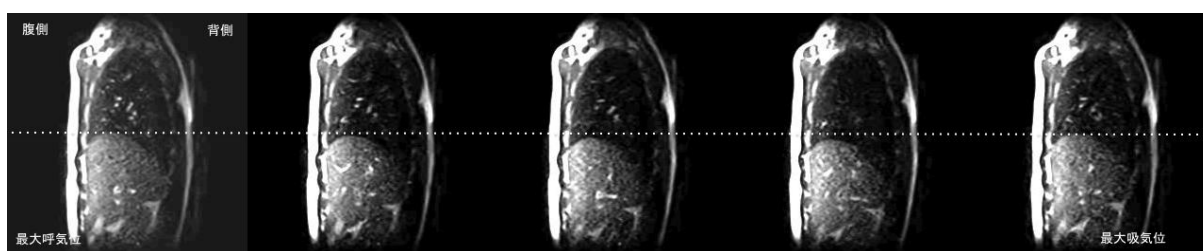


図 9 右矢状断 MRI 画像

上段：背臥位 下段：腹臥位

左端から右端に向かい、495msec 毎に撮像した最大呼気位 MRI 画像から最大吸気位 MRI 画像を示す。白破線は呼吸介助時における最大呼気位横隔膜の位置を示す。

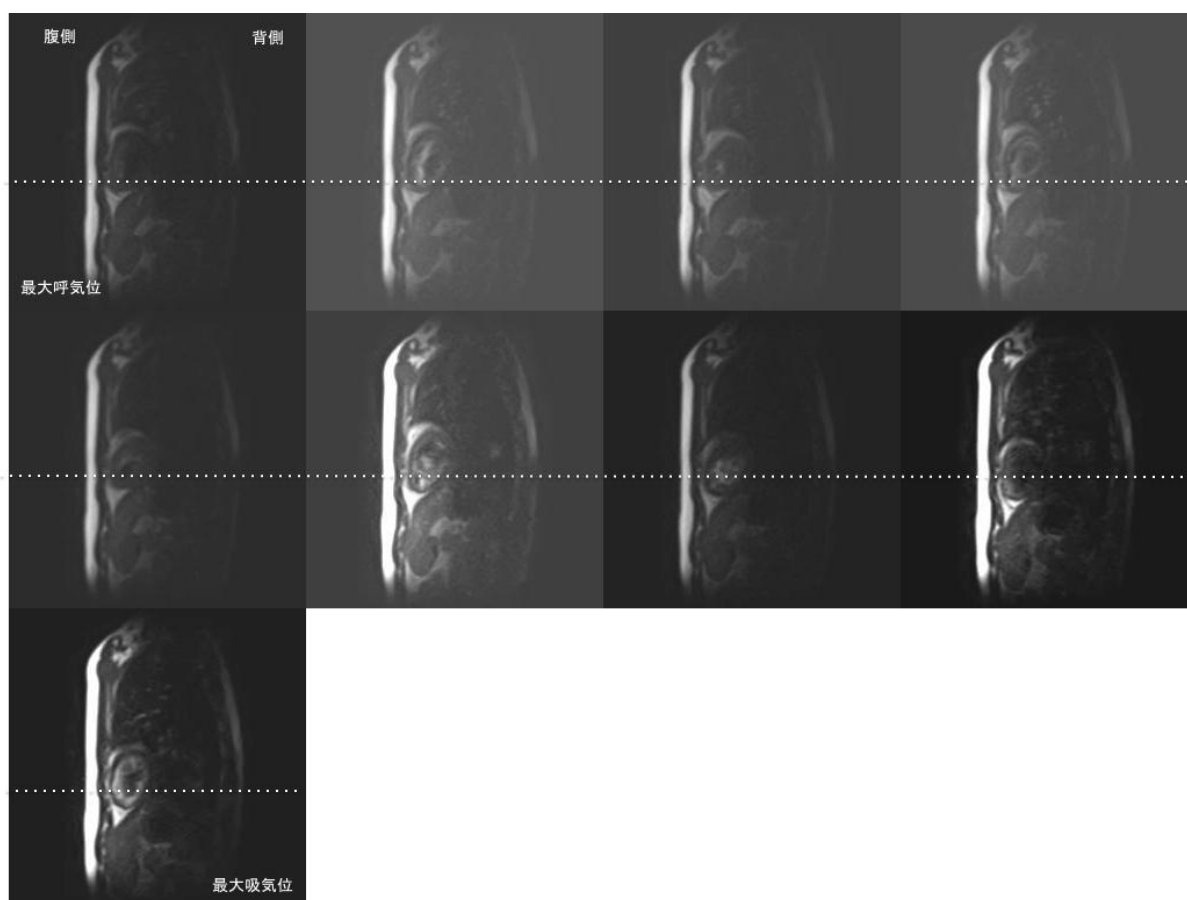
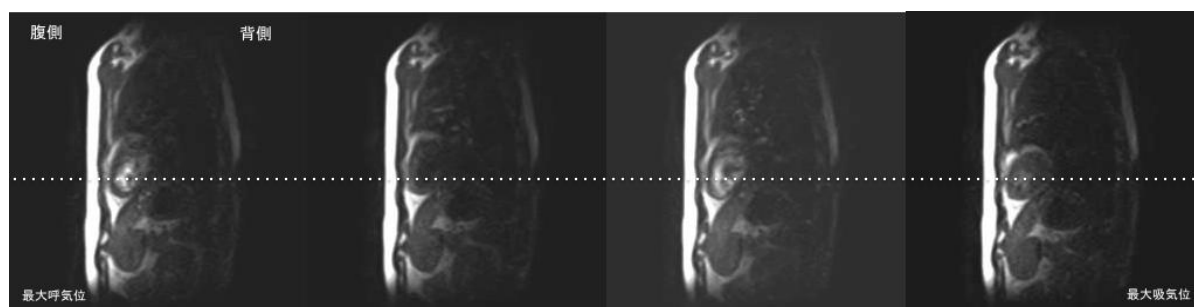


図 10 左矢状断 MRI 画像

上段：背臥位 下段：腹臥位

左端から右端に向かい, 495msec 毎に撮像した最大呼気位 MRI 画像から最大吸気位 MRI 画像を示す。白破線は呼吸介助時における最大呼気位横隔膜の位置を示す。

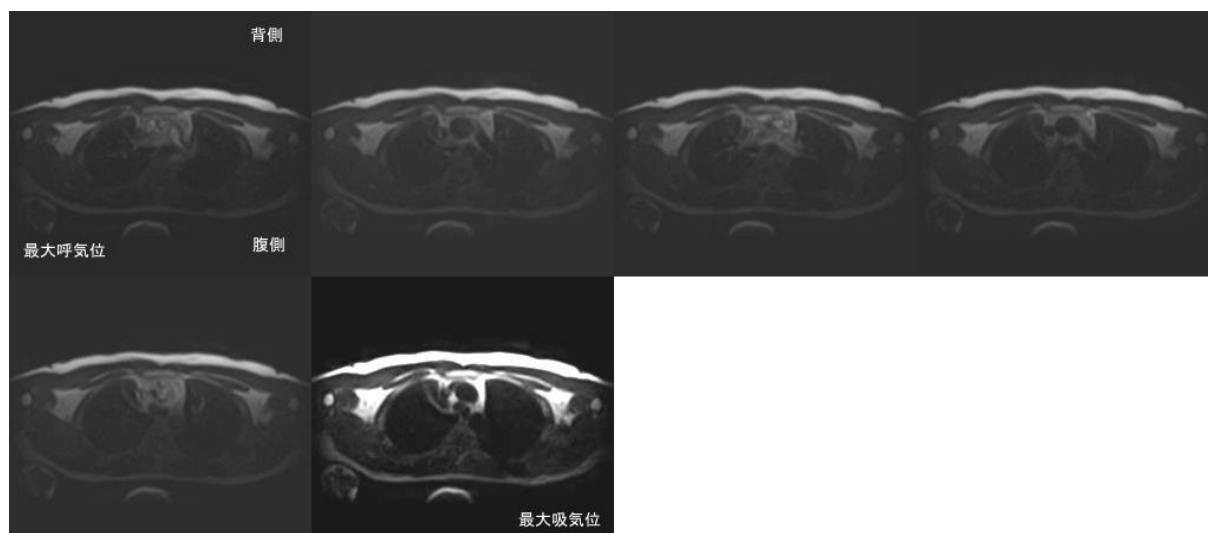
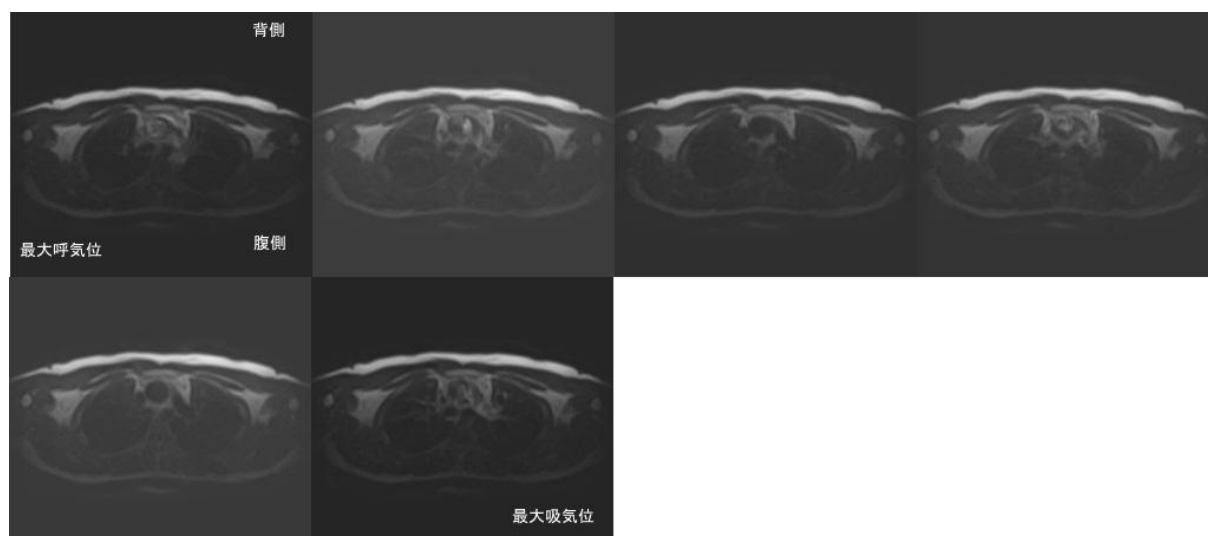


図 11 冠状断 MRI 画像

上段：背臥位 下段：腹臥位

左端から右端に向かい、495msec 毎に撮像した最大呼気位 MRI 画像から最大吸気位 MRI 画像を示す。

3.4 考察

腹臥位における 1 回換気量は、安静呼吸時 $476.7 \pm 20.0 \text{ ml}$ 、右側肺介助時 $1131.3 \pm 30.2 \text{ ml}$ で、全ての撮像方向で右側肺介助時により顕著な増大を示し、安静呼吸時に比べ有意な差を認めた。これにより、腹臥位においても呼吸介助が 1 回換気量を増大させることが確認できた。また、冠状断以外の撮像方向では、姿勢の変化により有意な差を認めた。

腹臥位における呼吸数は、安静呼吸時 $14.9 \pm 0.8 \text{ 回/min}$ 、右側肺介助時 $9.7 \pm 0.6 \text{ 回/min}$ で、全ての撮像方向で右側肺介助時に有意な減少を認めた。水平断では姿勢の変化により有意な差を認めたが、腹臥位においても、呼吸介助が呼吸数を有意に減少させ、換気量有意な呼吸パターンに変更すると考えられた。

腹臥位における EILV は、安静呼吸時 0.34 ± 0.04 、右側肺介助時 0.50 ± 0.02 で、介助により有意な増大を認め、EELV は、安静呼吸時 0.22 ± 0.02 、右側肺介助時 0.22 ± 0.02 で、安静呼吸時は減少したが、右側肺介助時には増大を認めた。腹臥位では、前胸部と骨盤部が支持され、機能的残気量は $1000\text{-}1500 \text{ ml}$ 増大するとされている。また、背臥位から腹臥位に変換することで、全肺気量、残気量に影響はないが、予備吸気量も低下するとされており、本研究においても同様の現象により、EELV が上昇を示したと考えられる。

また、腹臥位における右側肺介助時の吸気位・呼気位肺断面積は、背臥位に比べ大きく、特に呼吸介助により 1 回換気量に相当する In-Ex 肺断面積差は顕著な増大を示した。これは、腹臥位では腹臥位により、前胸部と骨盤部が支持され、機能的残気量の増大および予備吸気量の低下が生じたためと考えられる。また、腹臥位では背部の横隔膜が呼吸介助により顕著に下降したことも要因の一つと考えられる。また、腹臥位においても、呼吸介助が介助を加えた局所肺の換気を増大することが示唆された。

第4章 慢性閉塞性肺疾患に対する呼吸介助および腹臥位が呼吸運動および肺気量に及ぼす影響

4.1. 研究目的

本章の目的は、慢性閉塞性肺疾患に対し、背臥位で、両側上部胸部に呼吸介助を行った際に、呼吸介助が局所肺および肺気量に与える影響を検証することである。そのため、本実験では、両側上部に呼吸介助を与えた際の肺断面積の変化を、安静呼吸時および呼吸介助時で比較し、その影響を解明する。また、呼吸介助を与えた際の肺気量変化を、安静呼吸時と比較し、その影響を解明する。また、腹臥位そのものが呼吸運動および肺気量に与える影響を検証する。そのため、背臥位と腹臥位での安静呼吸時での比較も行った。

4.2 研究方法

本研究は茨城県立医療大学倫理委員会によって承認を得た研究である(承認番号 322)。

4.2.1 研究協力者

慢性閉塞性肺疾患（肺気腫）を患う男性 5 名である。年齢は、 72.4 ± 9.8 歳，身長 165.6 ± 2.5 ，体重 53.0 ± 4.5 である。また，CaseA, B, C は在宅酸素を 1.5l/min で導入していた。

表 16. 研究協力者背景

Case	性別	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	FVC(L)
A	男	61.0	162.0	50.0	2.3
B	男	63.0	165.0	54.0	2.8
C	男	83.0	168.0	47.0	2.1
D	男	77.0	168.0	58.0	2.0
E	男	78.0	165.0	56.0	1.9
Mean $\pm$ SD		72.4 ± 9.8	165.6 ± 2.5	53.0 ± 4.5	2.2 ± 0.8

略語の説明

FVC(forced vital capacity)：努力性肺活量

4.2.2 実験方法

4.2.2.1 MRI 撮像方法

各研究協力者には，本実験前に書面にて再度目的と手順について説明するとともに，主治医にも目的と手順について説明し，同意を得た。次いで MRI 室に入室し，1.5T の MRI (東芝 EXCELART Vantage1.5T) を用いて背臥位で実施した。MRI 入室，退室時には，息切れ等の聴取を行い適宜対処し，日常在宅酸素を導入している CaseA～C に関しては，MRI 撮影時は，酸素投与なしで行った。また，全ての研究協力者に対し，MRI 室に設置されている機器を用い，経皮的酸素飽和度を測定しながら撮像を行った。呼吸介助は，研究協力者の胸郭が大きく，MRI のドーム内で理学療法士が呼吸介助を行うには，十分なスペースの確保が行えず，下部胸郭に介助を行うことが困難であったため，上部胸郭に実施した。また健常な研究協力者に実施したような一側胸郭に対し局所的な呼吸介助を実施すると呼吸苦を訴える研究協力者が見られたため，臨床上よく行われる両上部胸郭への呼吸介助を適用した。その他の実験方法は，本章第 2.2.2 節と同様である。

4.3 研究結果

測定には健常協力者に比し，休憩時間等を多く要したこと，また退院に伴い測定の継続が困難となった症例を認めたため，統計処理を実施するだけのデータの取得が不可能であった。そのため，各症例についての結果を示す。

4.3.1 背臥位における安静呼吸時と呼吸介助時の換気量・呼吸数・肺気量位の変化

4.3.1.1 Case A

1 回換気量は、安静呼吸時 $628.5 \pm 92.3 \text{ ml}$ 、呼吸介助時 $814.7 \pm 178.6 \text{ ml}$ で、左矢状断以外のすべての撮像方向で増大を認めた。また、呼吸数は、安静呼吸時 $20.0 \pm 3.0 \text{ 回/min}$ 、呼吸介助時 $14.2 \pm 1.0 \text{ 回/min}$ で、呼吸介助時により、すべての撮像方向で顕著な減少を認めた。EILV は、安静呼吸時 0.73 ± 0.06 、呼吸介助時 0.83 ± 0.15 で、右矢状断、水平断では上昇を示したが、その他の撮像方向では顕著な変化をみとめなかった。EELV は、安静時 0.31 ± 0.07 、呼吸介助時 0.27 ± 0.14 で、呼吸介助により水平断以外の撮像方向で低下を示した。肺断面積は、呼吸介助時に冠状断、右矢状断において吸気位肺断面積および呼気位肺断面積が共に増大を認めた。また、1 回換気量に相当する In-Ex 肺断面積は全ての撮像方向において顕著な減少を認めた。結果を表 17 に示す。また、実際に得られた MRI 画像を図 12～15 に示す。冠状断 MRI 画像では、呼吸介助により呼気位に健常協力者に見られるような上部胸郭の凹みは認めなかった。また、MRI 画像を一呼吸分連続して観察すると、健常協力者に比し、呼気は若干短く、呼気位から吸気位に画像上では横隔膜が一気に跳ね返るような現象が観察された。また、右矢状断 MRI 画像では、安静時に吸気時背側横隔膜が下方へ引き込まれるのと同時期に、上部胸郭が上前方へ牽引されるような動きが見られ、健常協力者の動きとは大きく逸脱した動きが観察された。呼吸介助時では、上部胸郭の前後径の動きが大きくなり、横隔膜の動きも胸郭の動きに追従するようになり安静時に見られたような急激な運動を認めなくなった。また肺野は健常協力者に比べ、相対的に大きく慢性肺気腫による肺の過膨張を認めた。左矢状断 MRI 画像では、安静吸気時に横隔膜の引き下げとともに腹部の凹みが認められ、奇異呼吸様の現象を認めたが、呼吸介助を継続することにより、吸気時横隔膜の引き下げとともに、腹部の膨大が認められるようになり、呼吸介助により呼吸運動がより正常に近い形に近づくのが観察された。また、水平断 MRI 画像では、呼吸介助により前後胸郭の動きに増大が認められた。

表 17. Case A における安静呼吸時, 呼吸介助時の 1 回換気量, 呼吸数, 肺気量位, 吸気・呼気肺面積, In-Ex 肺面積差

安静呼吸時							
		冠状断		矢状断		水平断	
1回換気量	(ml)	551.2		606.7	762.4	593.7	
RR	(回/min)	21.5		21.5	21.5	15.5	
肺気量位In		0.70		0.78	0.66	0.78	
肺気量位Ex		0.33		0.35	0.20	0.35	
		右	左	右	左	右	左
肺面積In	(cm ²)	263.9	249.9	344.3	384.9	136.6	135.6
肺面積Ex	(cm ²)	228.3	224.4	331.8	339.2	135.1	135.0
In-Ex差	(cm ²)	35.6	25.5	12.6	45.7	28.2	27.4

呼吸介助時							
		冠状断		矢状断		水平断	
1回換気量	(ml)	763.9		1076.6	742.3	676.0	
RR	(回/min)	14.8		14.8	14.8	12.7	
肺気量位In		0.78		0.82	0.68	1.04	
肺気量位Ex		0.31		0.15	0.17	0.45	
		右	左	右	左	右	左
肺面積In	(cm ²)	276.4	250.5	379.5	339.8	128.4	130.3
肺面積Ex	(cm ²)	245.1	234.6	337.6	328.6	120.0	124.2
In-Ex差	(cm ²)	31.3	15.9	41.8	11.1	6.3	6.0

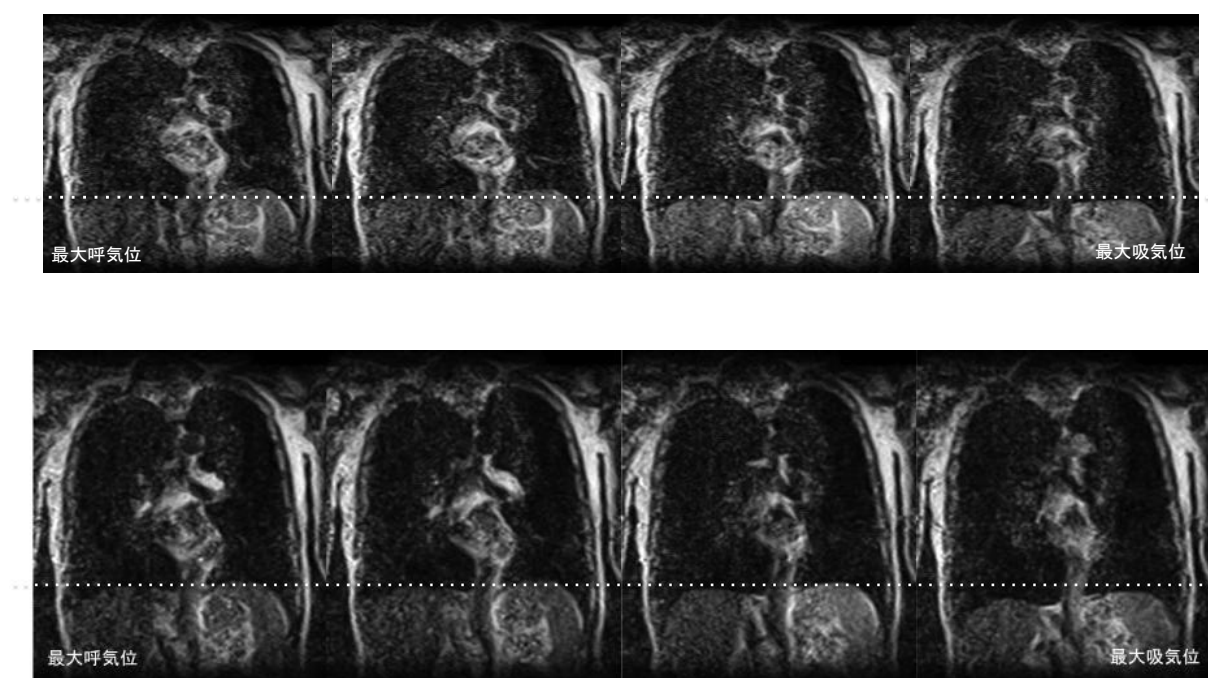


図 12 冠状断 MRI 画像

上段：安静呼吸時 下段：呼吸介助時(両上部胸郭介助)
 左端から右端に向かい, 495msec 毎に撮像した最大呼気位 MRI 画像から
 最大吸気位 MRI 画像を示す。また, 白破線は安静呼吸時における最大呼
 気位横隔膜の位置を示す。



図 13 右矢状断 MRI 画像

上段：安静呼吸時 下段：呼吸介助時(両上部胸郭介助)
 左端から右端に向かい, 495msec 毎に撮像した最大呼気位 MRI 画像から
 最大吸気位 MRI 画像を示す。白破線は安静呼吸時における最大呼気位横
 隔膜の位置を示す。

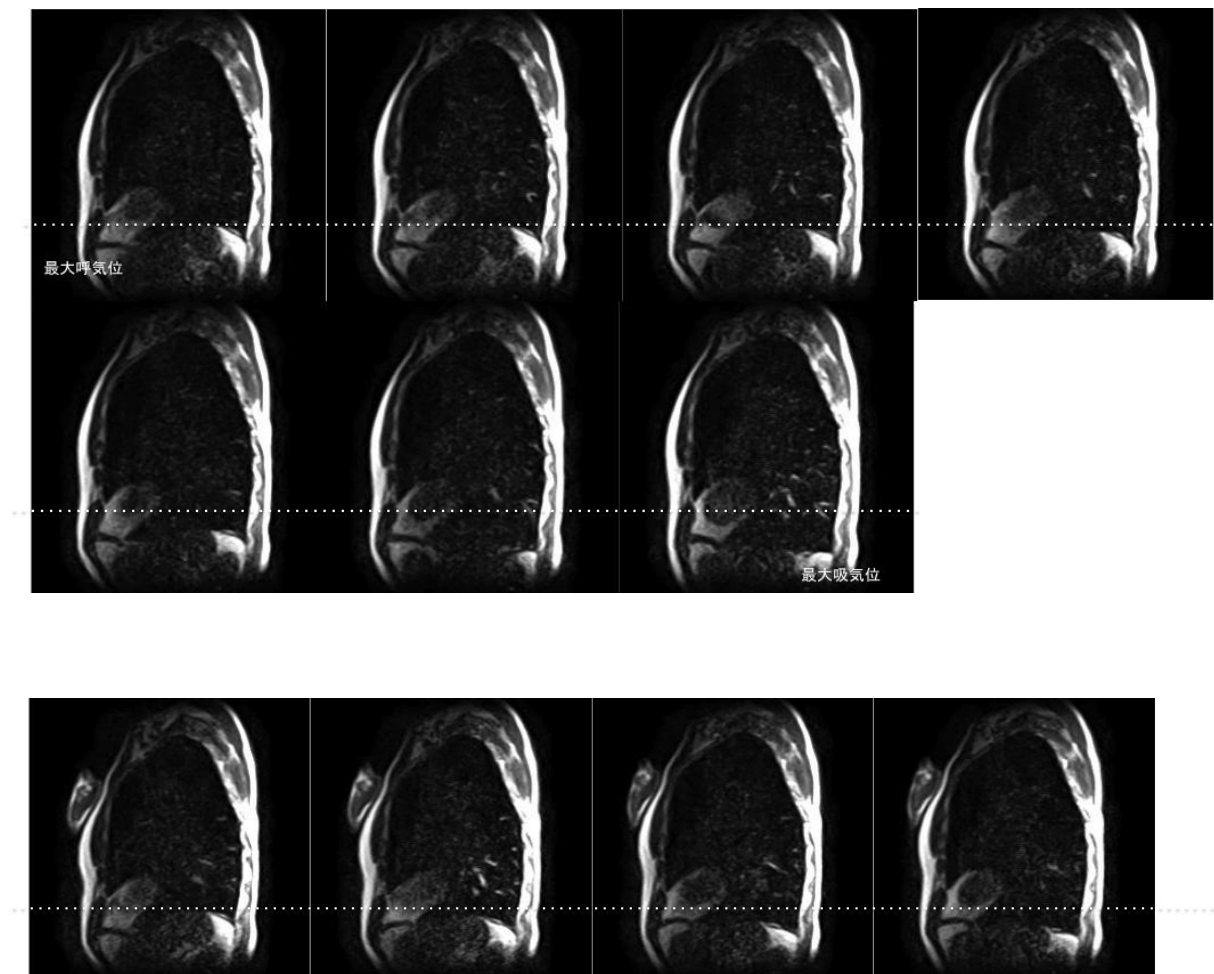


図 14 左矢状断 MRI 画像

上段：安静呼吸時 下段：呼吸介助時(両上部胸郭介助)
 左端から右端に向かい, 495msec 毎に撮像した最大呼気位 MRI 画像から
 最大吸気位 MRI 画像を示す。白破線は安静呼吸時における最大呼気位横
 隔膜の位置を示す。

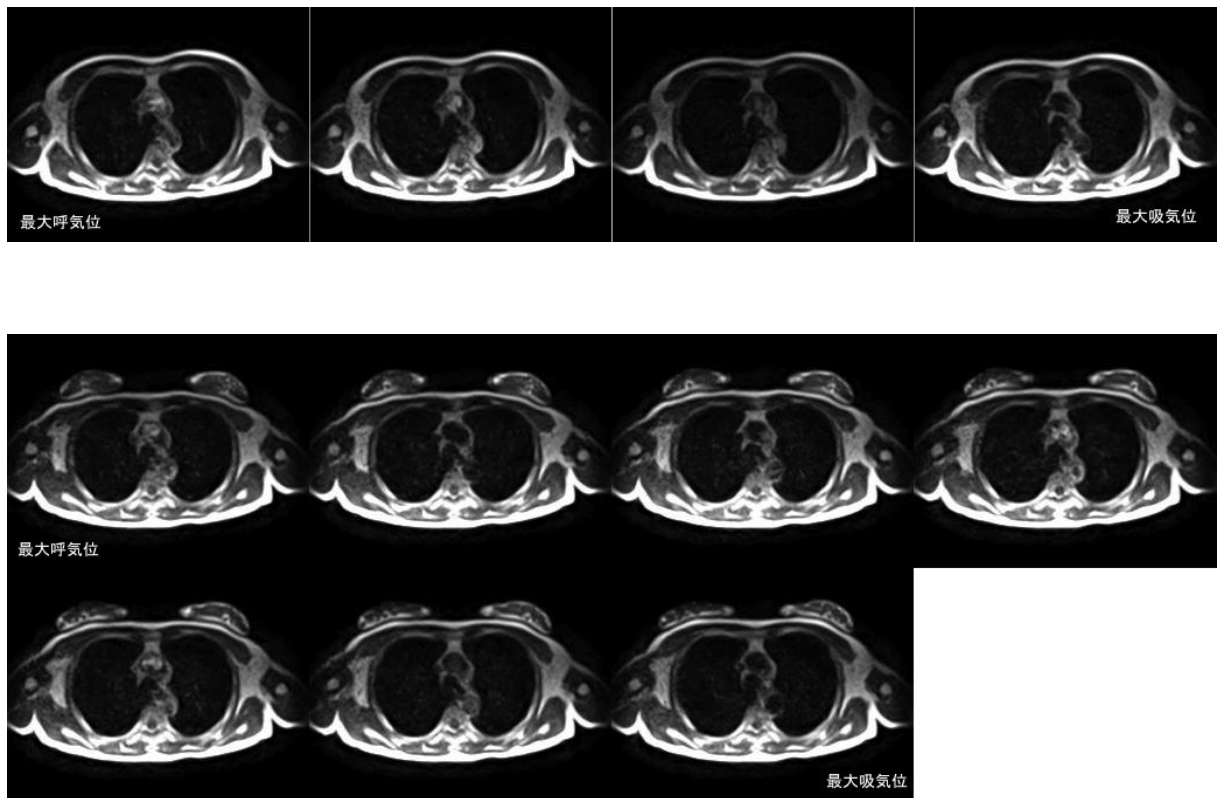


図 15 水平断 MRI 画像

上段：安静呼吸時 下段：呼吸介助時(両上部胸郭介助)
 左端から右端に向かい, 495msec 毎に撮像した最大呼気位 MRI 画像から
 最大吸気位 MRI 画像を示す。

4.3.1.2 Case B

1 回換気量は、安静呼吸時 $865.2 \pm 64.4 \text{ ml}$ 、呼吸介助時 $1303.2 \pm 69.7 \text{ ml}$ で、呼吸介助により増大を認めた。また、呼吸数は、安静呼吸時 9.0 ± 0.2 回/min、呼吸介助時 6.9 ± 1.3 回/min で、呼吸介助時により減少を認めた。EILV は、安静呼吸時 0.62 ± 0.19 、呼吸介助時 0.89 ± 0.13 で、呼吸介助により上昇を示した。EELV は、安静時 0.23 ± 0.16 、呼吸介助時 0.31 ± 0.01 で、呼吸介助により上昇傾向を示した。肺断面積は、呼吸介助時に冠状断、右矢状断において吸気位肺断面積および呼気位肺断面積が共に増大を認めた。また、1 回換気量に相当する In-Ex 肺断面積は冠状断で減少を示し、矢状断では増加を示した。結果を表 18 に示す。また実際に得られた MRI 画像を図 16, 17 に示す。冠状断では、安静呼吸時に比し、呼吸介助時に呼気終末から吸気開始に伴い横隔膜が急激に跳ね上がるような動きが見られた。また、吸気終末において胸郭の動きを伴わない異常な横隔膜の上下運動を認めた。矢状断では、安静呼吸時は健常協力者と同様の呼吸運動を認めたが、呼吸介助時は、吸気終末から次の呼気を開始する前に、横隔膜が挙上し小さな吸気活動を認めた。呼吸流量計の波形では、明らかな吸気は認めないものの、呼吸介助のタイミングが症例の呼吸パターンとあわない可能性が考えられる。また、呼気に伴う呼吸運動は比較的正常に行われており、通常は高肺気量位での呼吸パターンが症例にとって適当な呼吸である可能性が考えられる。水平断では、安静呼吸時、呼吸介助時ともに健常協力者に比し、胸郭の前後径の動きは少なく、また呼吸介助により縦郭、胸郭の偏倚を認めることはなかった。呼吸介助時は、右側肺の方が左側肺に比しわずかながら胸郭前後径の動きが大きく、左右の上部胸郭の動きが均一でないのが観察された。

表 18. Case B における安静呼吸時,呼吸介助時の 1 回換気量,呼吸数,
肺気量位, 吸気・呼気肺面積, In-Ex 肺面積差

安静呼吸時				
		冠状断		矢状断
1回換気量	(ml)	910.7		819.6
RR	(回/min)	7.2		10.7
肺気量位In		0.48		0.75
肺気量位Ex		0.11		0.34
		右	左	右
肺面積In	(cm ²)	188.8	196.3	226.3
肺面積Ex	(cm ²)	98.4	120.2	206.1
In-Ex差	(cm ²)	90.4	76.0	20.2

呼吸介助時				
		冠状断		矢状断
1回換気量	(ml)	1253.9		1352.5
RR	(回/min)	7.80		6.00
肺気量位In		0.80		0.98
肺気量位Ex		0.31		0.30
		右	左	右
肺面積In	(cm ²)	254.1	250.2	338.8
肺面積Ex	(cm ²)	182.8	213.0	264.4
In-Ex差	(cm ²)	71.3	37.2	74.4

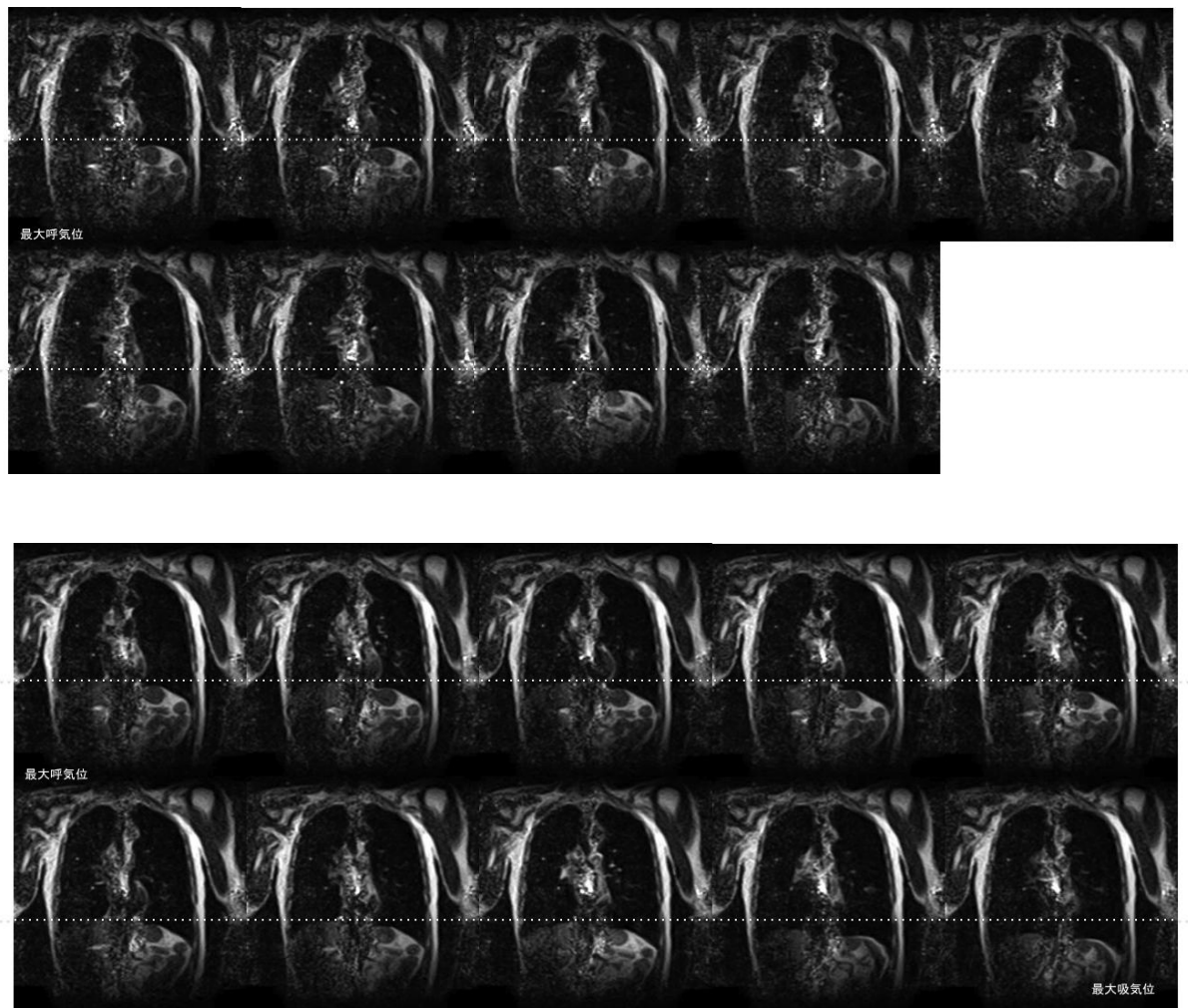


図 16 冠状断 MRI 画像

上段：安静呼吸時 下段：呼吸介助時(両上部胸郭介助)
 左端から右端に向かい, 495msec 毎に撮像した最大呼気位 MRI 画像から
 最大吸気位 MRI 画像を示す。白破線は安静呼吸時における最大呼気位横
 隔膜の位置を示す。

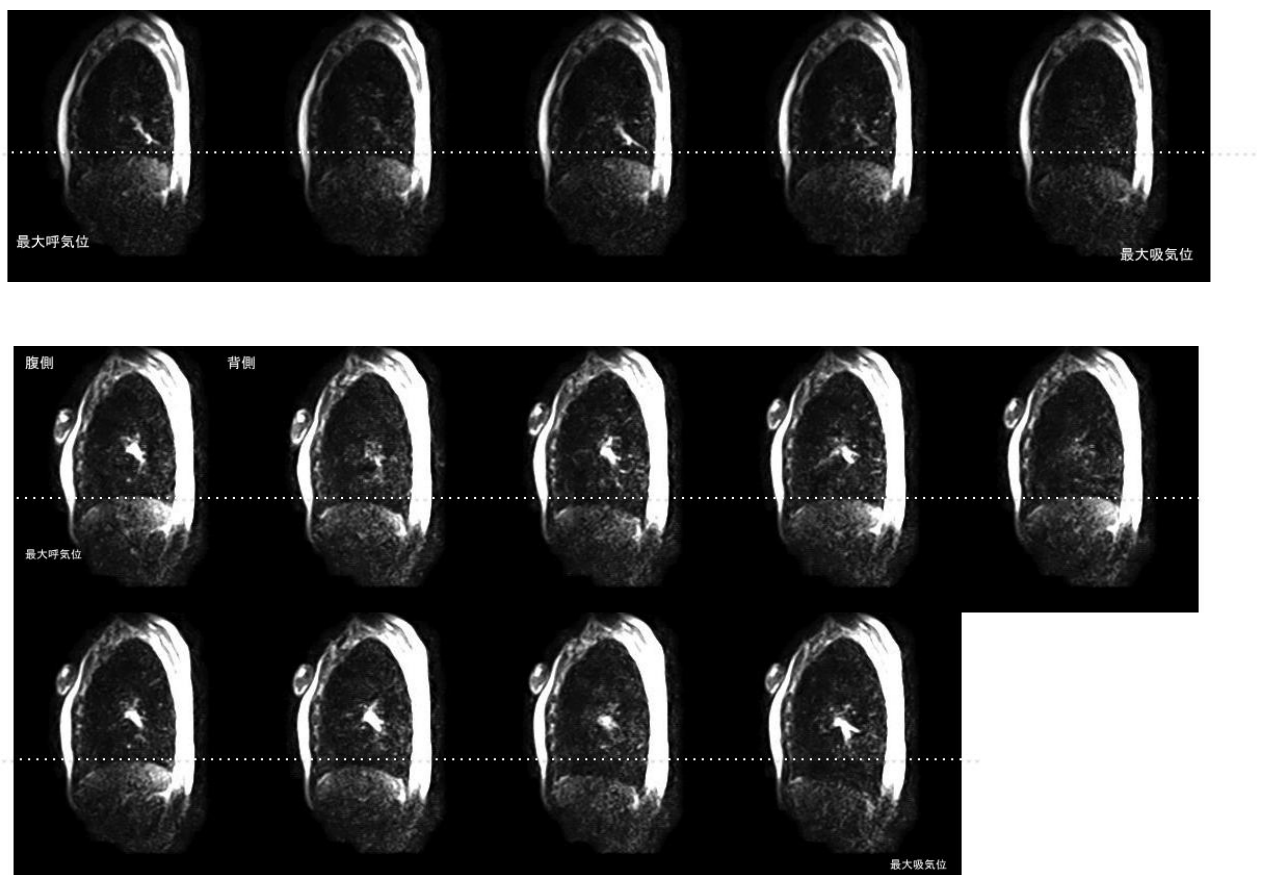


図 17 右矢状断 MRI 画像

上段：安静呼吸時 下段：呼吸介助時(両上部胸郭介助)
 左端から右端に向かい, 495msec 毎に撮像した最大呼気位 MRI 画像から
 最大吸気位 MRI 画像を示す。白破線は安静呼吸時における最大呼気位横
 隔膜の位置を示す。

4.3.1.3 Case C

1 回換気量は，安静呼吸時 $752.6 \pm 166.2\text{ml}$ ，呼吸介助時 $1172.6 \pm 176.3\text{ml}$ で，全ての撮像方向で呼吸介助により顕著な増大を認めた。また，呼吸数は，安静呼吸時 11.9 ± 2.1 回/min，呼吸介助時 7.4 ± 0.7 回/min で，呼吸介助時により顕著な減少を認めた。EILV は，安静呼吸時 0.59 ± 0.07 ，呼吸介助時 0.67 ± 0.08 で，呼吸介助により上昇を示した。EELV は，安静時 0.25 ± 0.08 ，呼吸介助時 0.14 ± 0.05 で，呼吸介助により減少を示した。肺断面積は，呼吸介助時に冠状断，右矢状断において吸気位肺断面積が増大し，呼気位肺断面積が減少を示した。また，1 回換気量に相当する In-Ex 肺断面積は冠状断および右矢状断において増大を認めた。水平断では，呼吸介助により吸気位呼気位肺断面積が減少し，In-Ex 肺断面積も減少傾向を示した。結果を表 19 に示す。図 18～21 に実際の MRI 画像を示す。

表 19. Case C における安静呼吸時，呼吸介助時の 1 回換気量，呼吸数，肺気量位，吸気・呼気肺面積，In-Ex 肺面積差

安静呼吸時							
		冠状断		矢状断		水平断	
1回換気量	(ml)	704		616.1		937.7	
RR	(回/min)	10.80		14.30		10.5	
肺気量位In		0.53		0.56		0.67	
肺気量位Ex		0.16		0.30		0.28	
		右	左	右	左	右	左
肺面積In	(cm^2)	210.6	235.1	310.6		101.7	130.1
肺面積Ex	(cm^2)	182.2	220.5	257.1		93.2	120.7
In-Ex差	(cm^2)	28.4	14.6	53.6		8.5	9.4

呼吸介助時							
		冠状断		矢状断		水平断	
1回換気量	(ml)	1088.9		1134.7		1430.0	
RR	(回/min)	7.9		8.0		6.6	
肺気量位In		0.57		0.66		0.76	
肺気量位Ex		0.07		0.12		0.18	
		右	左	右	左	右	左
肺面積In	(cm^2)	237.6	251.4	331.5	351.3	102.7	124.8
肺面積Ex	(cm^2)	193.5	218.6	245.8	311.6	88.4	118.2
In-Ex差	(cm^2)	44.1	32.8	85.7	39.7	14.3	6.6

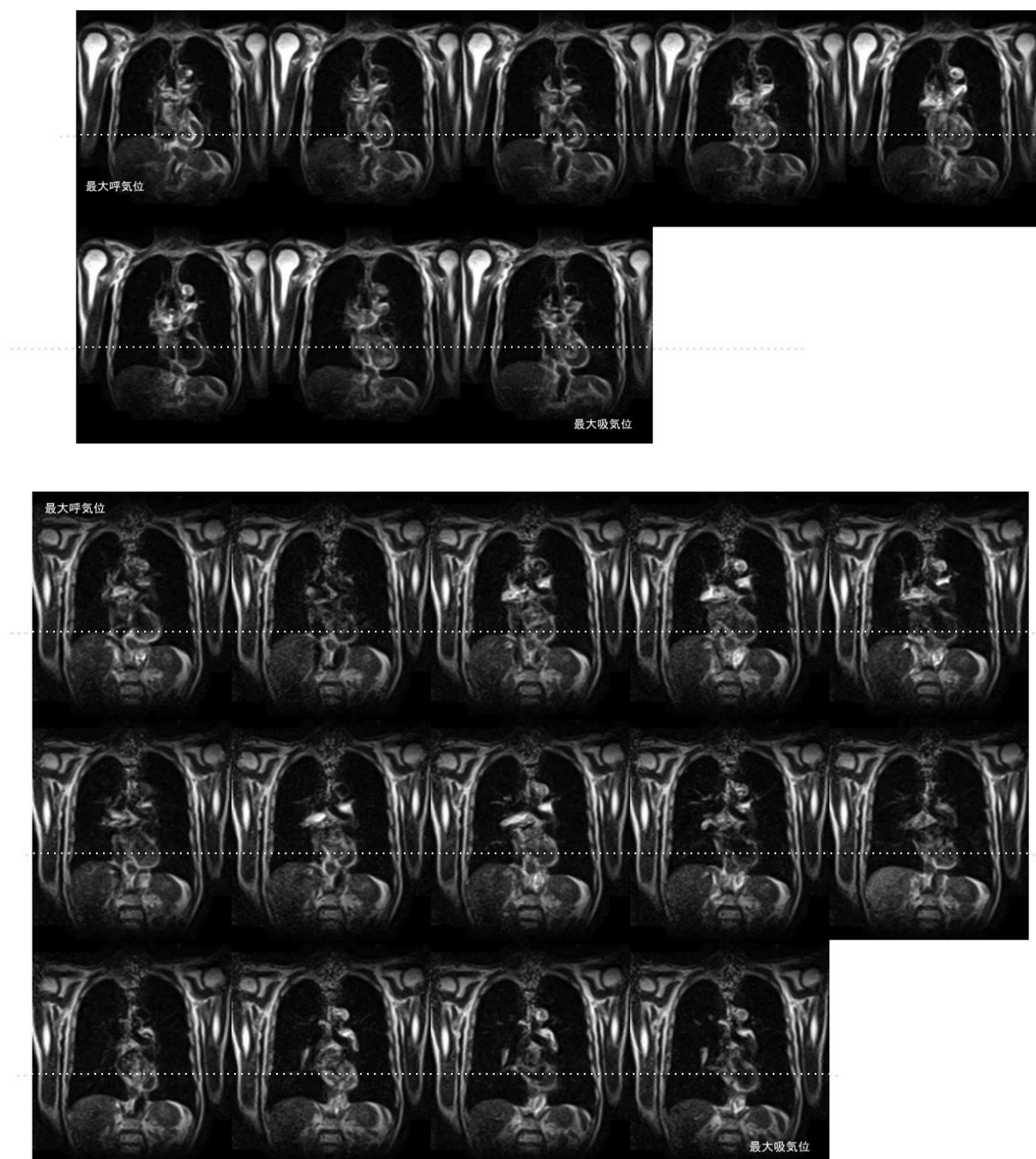


図 18 冠状断 MRI 画像

上段：安静呼吸時 下段：呼吸介助時(両上部胸郭介助)
 左端から右端に向かい, 495msec 毎に撮像した最大呼気位 MRI 画像から
 最大吸気位 MRI 画像を示す。白破線は安静呼吸時における最大呼気位横
 隔膜の位置を示す。

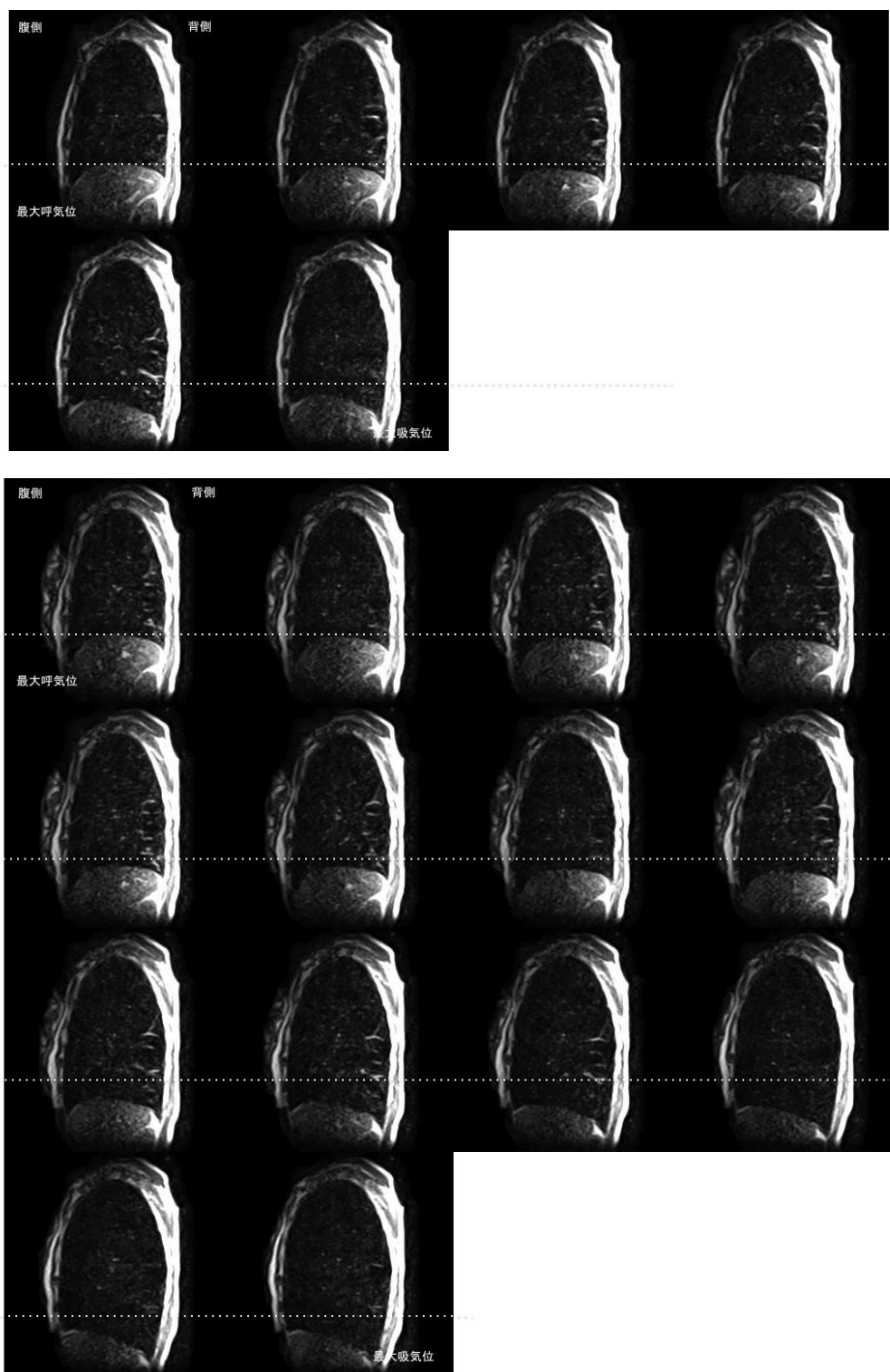


図 19 右矢状断 MRI 画像

上段：安静呼吸時 下段：呼吸介助時(両上部胸郭介助)
 左端から右端に向かい, 495msec 毎に撮像した最大呼気位 MRI 画像から
 最大吸気位 MRI 画像を示す。白破線は安静呼吸時における最大呼気位横
 隔膜の位置を示す。

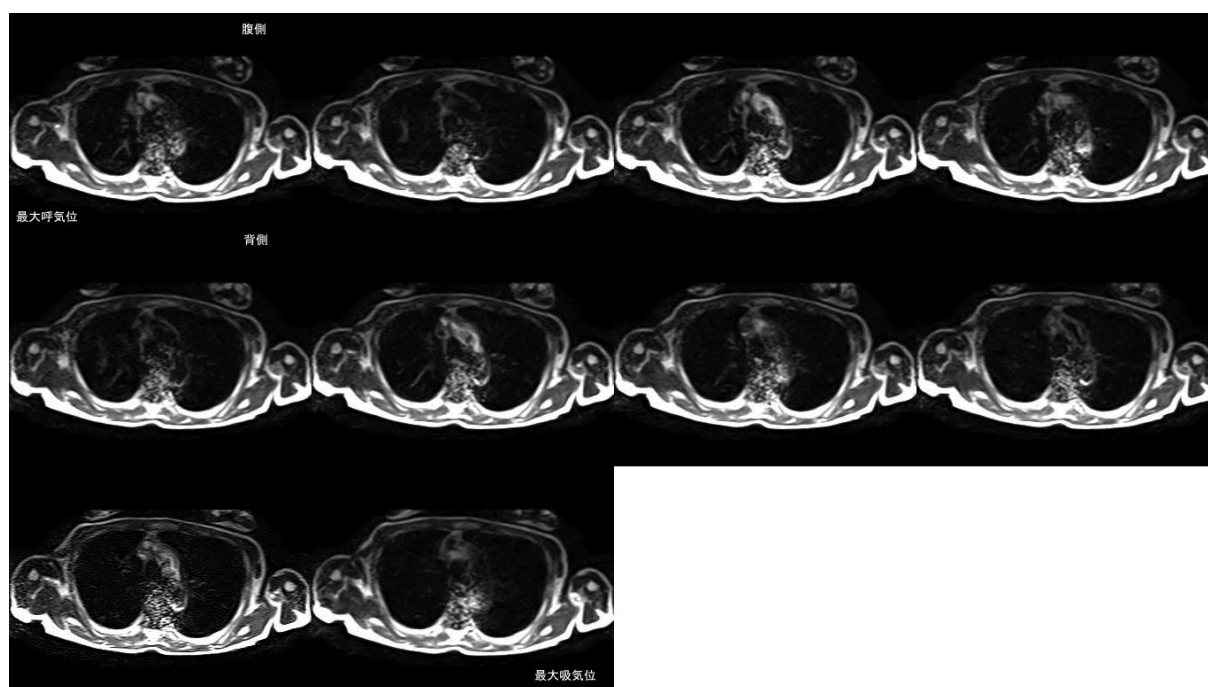
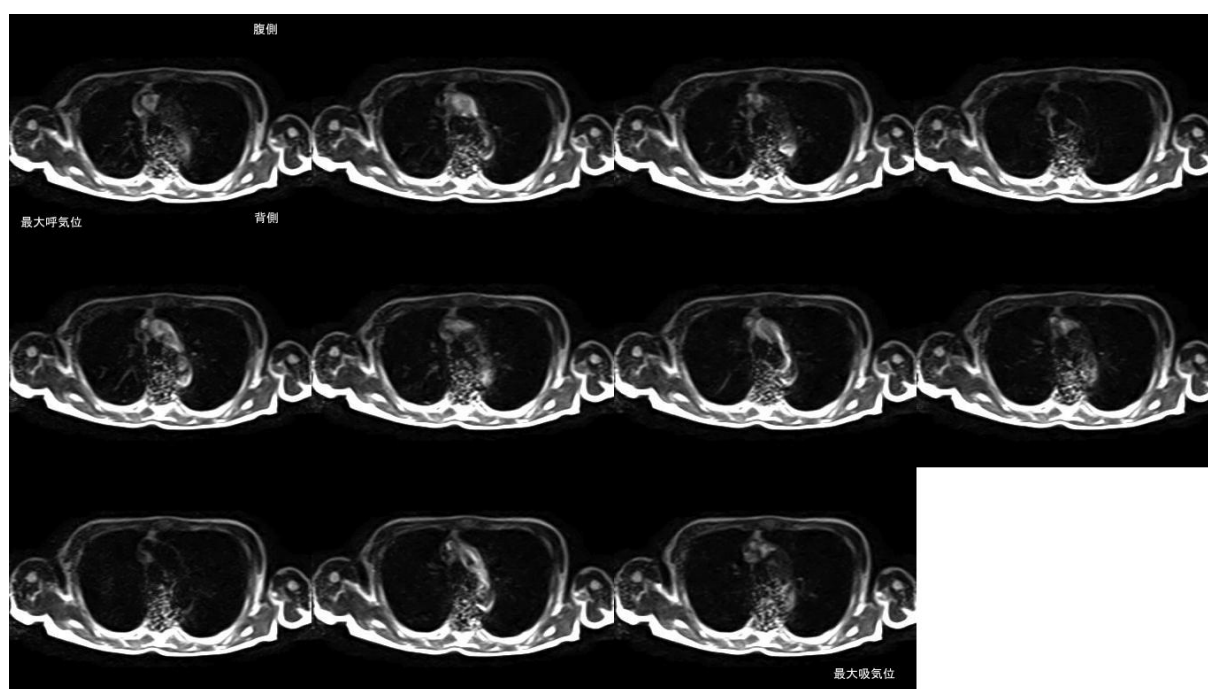


図 20 水平断 MRI 画像

上段：安静呼吸時 下段：呼吸介助時(両上部胸郭介助)
 左端から右端に向かい, 495msec 毎に撮像した最大呼気位 MRI 画像から
 最大吸気位 MRI 画像を示す。

4.3.1.4 Case D

本症例は、在宅酸素導入の検討およびリハビリテーション目的の短期入院であったため、冠状断のみの撮像となった。1 回換気量は、安静呼吸時 515.3ml, 呼吸介助時 678.1ml で、呼吸介助により増大を認めた。また、呼吸数は、安静呼吸時 15.7 回/min, 呼吸介助時 18.9 回/min と、呼吸介助時により増大を認めた。EILV は、安静呼吸時 0.67, 呼吸介助時 0.49, EELV は、安静時 0.42, 呼吸介助時 0.17 で、EILV および EELV とともに呼吸介助により減少を示した。肺断面積は、呼吸介助時に吸気位・呼気位肺断面積が共に増大し、1 回換気量に相当する In-Ex 肺断面積も増大傾向を示した。結果を表 20 に示す。また MRI 画像も図 21 に示す。冠状断では、呼吸介助により縦郭や胸郭の偏倚は認めないが、横隔膜の上下運動は比較的良好であった。しかし、呼気終末から吸気開始にあたり横隔膜が下降する際、左右横隔膜の動きにタイミングのズレおよび上下運動の範囲に違いを認めた。水平断では、安静呼吸時の胸郭前後径は比較的良好な動きが観察された。また呼吸介助時にも、他の Case に比し胸郭前後径の動きが大きく、胸郭の柔軟性が比較的良好であることが観察された。

表 20. Case D における安静呼吸時,呼吸介助時の 1 回換気量,呼吸数,肺気量位, 吸気・呼気肺面積, In・Ex 肺面積差

安静呼吸時			
		冠状断	
1回換気量	(ml)	515.3	
RR	(回/min)	15.7	
肺気量位In		0.67	
肺気量位Ex		0.42	
		右	左
肺面積In	(cm ²)	283.4	257.5
肺面積Ex	(cm ²)	258.4	213.4
In・Ex差	(cm ²)	25.0	44.0
呼吸介助時			
		冠状断	
1回換気量	(ml)	678.1	
RR	(回/min)	18.9	
肺気量位In		0.49	
肺気量位Ex		0.17	
		右	左
肺面積In	(cm ²)	317.1	255.3
肺面積Ex	(cm ²)	279.2	232.2
In・Ex差	(cm ²)	37.9	23.1

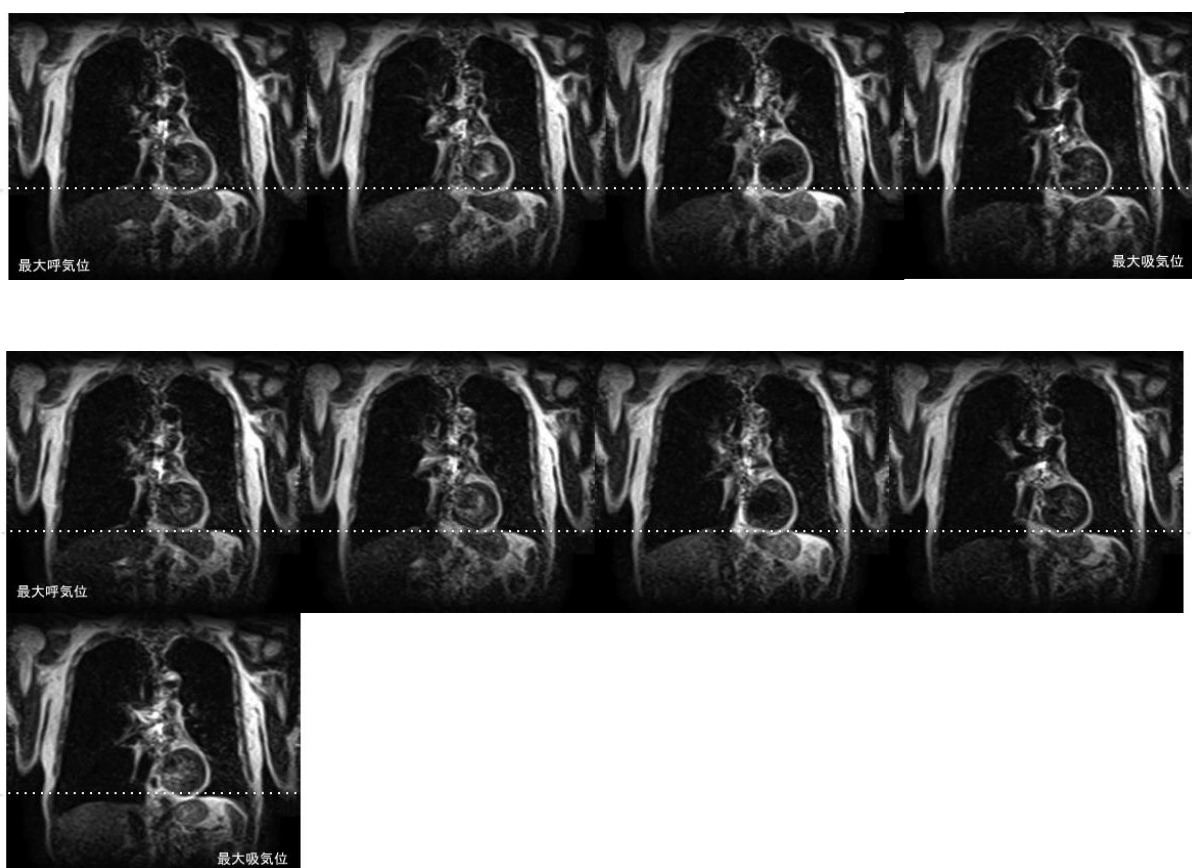


図 21 冠状断 MRI 画像

上段：安静呼吸時 下段：呼吸介助時(両上部胸郭介助)
 左端から右端に向かい, 495msec 毎に撮像した最大呼気位 MRI 画像から
 最大吸気位 MRI 画像を示す。白破線は安静呼吸時における最大呼気位横
 隔膜の位置を示す。

4.3.1.4 Case E

1 回換気量は，安静呼吸時 $574.8 \pm 60.7 \text{ ml}$ ，呼吸介助時 $666.0 \pm 13.5 \text{ ml}$ で，全ての撮像方向で呼吸介助により増大傾向を示したが，顕著な変化を認めなかった。また，呼吸数は安静呼吸時 $17.2 \pm 2.2 \text{ 回/min}$ ，呼吸介助時 $17.3 \pm 2.4 \text{ 回/min}$ で，呼吸介助時により顕著な変化を認めなかった。EILV は，安静呼吸時 0.53 ± 0.17 ，呼吸介助時 0.42 ± 0.06 で，呼吸介助により減少を示した。EELV は，安静時 0.22 ± 0.14 ，呼吸介助時 0.07 ± 0.06 で，水平断では呼吸介助により顕著な減少を示したが，左右矢状断では顕著な変化を認めなかった。また，肺断面積についても呼吸介助時に顕著な変化を示さなかった。結果を表 21 に示す。図 21～23 に実際の MRI 画像を示す。

MRI 画像では，左矢状断において呼吸介助に伴う胸郭前後径の動きがきわめて小さいのが観察された。また，横隔膜後部の動きは比較的良好だが，横隔膜前部の動きが遅れるのが確認された。右矢状断では，横隔膜中央部が肺実質に向かい引きつけられているのが観察された。また呼吸介助時に，横隔膜後部の動きが先行し，それに引き続き横隔膜前部が動くのが観察された。

表 21. Case E における安静呼吸時, 呼吸介助時の 1 回換気量, 呼吸数, 肺気量位, 吸気・呼気肺面積, In-Ex 肺面積差

安静呼吸時					
		矢状断		水平断	
1回換気量	(ml)	640.4	563.4	520.6	
RR	(回/min)	16.0	19.7	15.9	
肺気量位In		0.46	0.4	0.72	
肺気量位Ex		0.17	0.12	0.38	
		右	左	右	左
肺面積In	(cm ²)	359.5	389.5	145.2	164.4
肺面積Ex	(cm ²)	327.0	345.4	141.9	158.8
In-Ex差	(cm ²)	32.5	44.1	3.3	5.6

呼吸介助時					
		矢状断		水平断	
1回換気量	(ml)	678.1	668.4	651.4	
RR	(回/min)	16.9	19.9	15.2	
肺気量位In		0.35	0.46	0.45	
肺気量位Ex		0.01	0.13	0.08	
		右	左	右	左
肺面積In	(cm ²)	367.3	394.5	143.4	162.8
肺面積Ex	(cm ²)	325.1	350.0	136.2	157.6
In-Ex差	(cm ²)	42.1	44.5	7.1	5.2

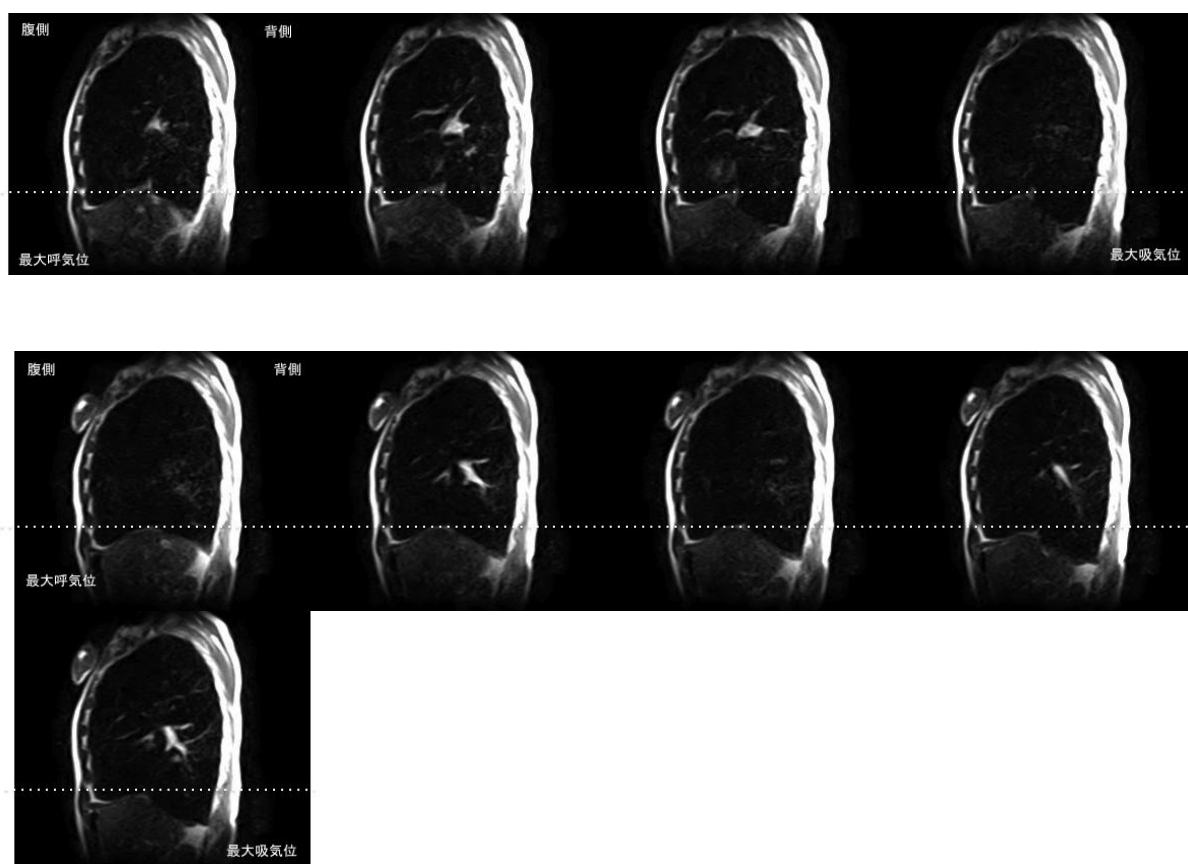


図 21 右矢状断 MRI 画像

上段：安静呼吸時 下段：呼吸介助時(両上部胸郭介助)
 左端から右端に向かい, 495msec 毎に撮像した最大呼気位 MRI 画像から
 最大吸気位 MRI 画像を示す。白破線は安静呼吸時における最大呼気位横
 隔膜の位置を示す。

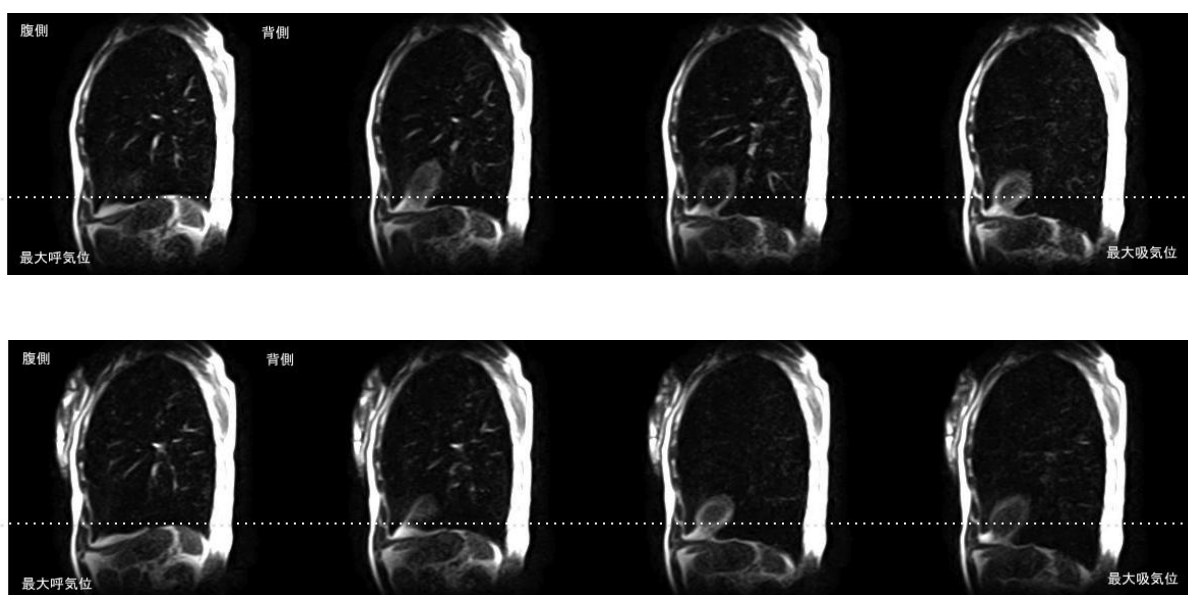


図 22 左矢状断 MRI 画像

上段：安静呼吸時 下段：呼吸介助時(両上部胸郭介助)
 左端から右端に向かい、495msec 毎に撮像した最大呼気位 MRI 画像から
 最大吸気位 MRI 画像を示す。白破線は安静呼吸時における最大呼気位横
 隔膜の位置を示す。

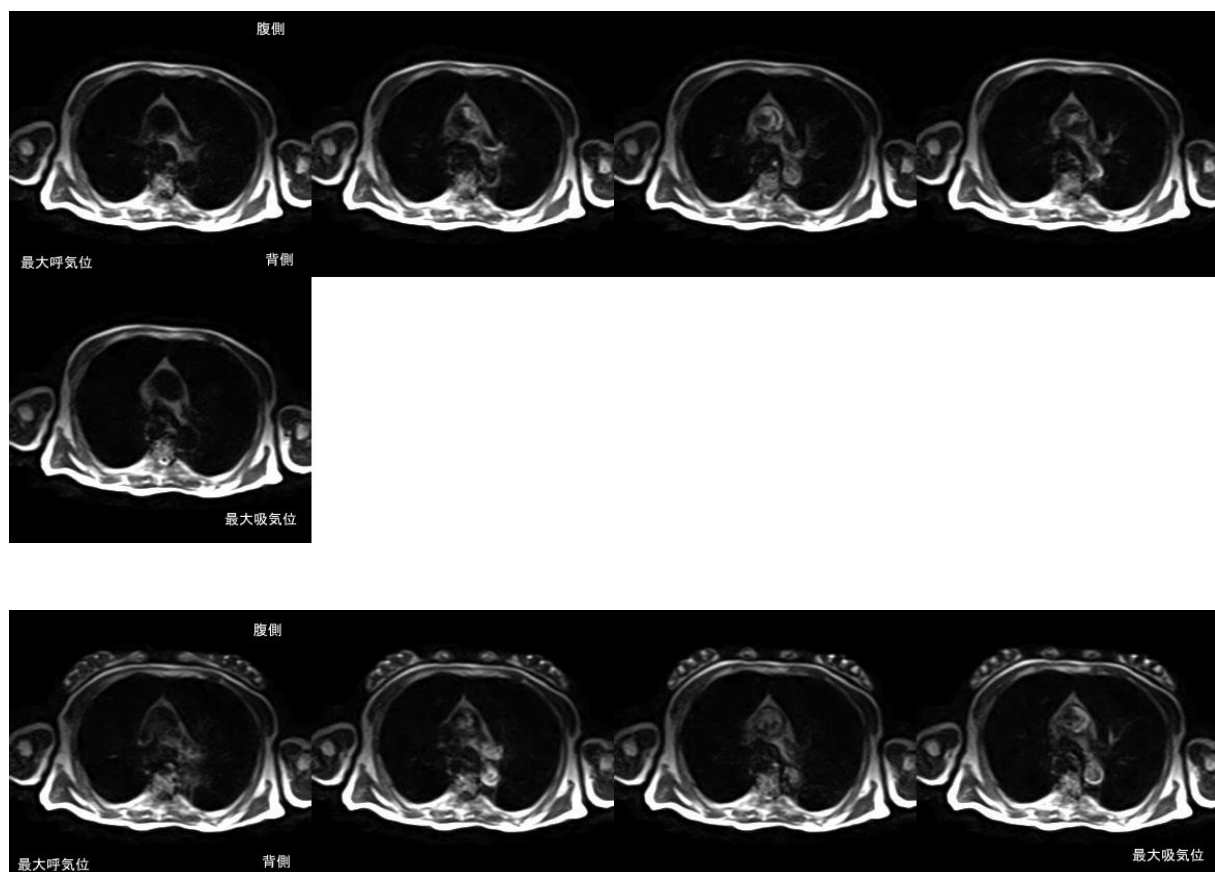


図 23 水平断 MRI 画像

上段：安静呼吸時 下段：呼吸介助時(両上部胸郭介助)
左端から右端に向かい, 495msec 毎に撮像した最大呼気位 MRI 画像から
最大吸気位 MRI 画像を示す。

4.3.2 考察

慢性閉塞性肺疾患では、肺過膨張により高肺気量位での呼吸様式を行うことが多いとされている。そのため、臨床では急性呼吸不全症例に行うような局所換気改善を目的とした呼吸介助に比し、呼吸苦軽減や呼気延長を目的とした呼吸パターンの改善目的に呼吸介助を実施することが多い。その際の呼吸介助は、強制した呼気延長ではなく症例そのものが持つ呼吸様式にあわせる必要がある。本研究においても MRI ドームの限られた空間の中で、可能な限り症例にあわせた緩やかな呼吸介助を実施した。その結果、全ての症例において呼吸介助により 1 回換気量の増大を認めたが、EILV の上昇と呼気位肺断面積の増大傾向を認めた。また健康な研究協力者に比し、1 回換気量に相当する In-Ex 肺断面積の顕著な増大も認められなかった。このことは、慢性閉塞性肺疾患に対する呼吸介助の有効性が、先行研究同様に換気量増大のみではないことを示唆すると考えられる。

Case C のみが、顕著な換気量増大を認めなかったが、EELV の減少と In-Ex 肺断面積の顕著な増大を認めた。本症例は、全ての症例の中でもっとも動作時の経皮的酸素飽和度の低下が著しい症例であったが、呼吸苦の訴えは少なく、また呼吸介助時に検者の感じる胸郭柔軟性も比較的良好であった。このことから、慢性閉塞性肺疾患患者に対し、1 回換気量増大を目的とする呼吸介助は、胸郭柔軟性の維持された症例により好ましいと考えられる。また、安静呼吸時に認めた奇異呼吸様の胸郭運動が、呼吸介助を継続することで消失するのを MRI 画像で確認できたことから、慢性閉塞性肺疾患症例に対する呼吸介助は、呼吸パターンの是正に有効であることが確認できた。

本研究では、MRI 撮像中に経皮的酸素飽和度の確認も行っていたが、呼吸介助により特に変化は認められず、また呼吸苦に関しても変化は認めなかった。そのため、今後は気道閉塞の程度や、肺酸素可能に着目した因子と、MRI 画像データに何らかの関係がないかを検討する必要があると考えられる。また、呼吸介助により呼吸運動パターンが変化することが確認されたため、本研究では安定した 3～5 呼吸分のデータを解析したが、今後は呼吸介助を継続した場合の画像解析についても検討が必要であると考えられる。

4.3.3 安静呼吸時における背臥位と腹臥位での換気量・呼吸数・肺気量位の比較

腹臥位での MRI 撮像が可能であった Case A の安静呼吸時における背臥位と腹臥位での換気量・呼吸数・肺気量位の比較を行った。実際の MRI 画像を図 24～27 に示す。

表 22. 背臥位および腹臥位での換気量・呼吸数・肺気量位および肺断面積の結果

背臥位							
		冠状断		矢状断		水平断	
1回換気量	(ml)	551.2		606.7	762.4	593.7	
RR	(回/min)	21.5		21.5	21.5	15.5	
肺気量位In		0.70		0.78	0.66	0.78	
肺気量位Ex		0.33		0.35	0.20	0.35	
		右	左	右	左	右	左
肺面積In	(cm ²)	263.9	249.9	344.3	384.9	136.6	135.6
肺面積Ex	(cm ²)	228.3	224.4	331.8	339.2	135.1	135.0
In-Ex差	(cm ²)	35.6	25.5	12.6	45.7	28.2	27.4

腹臥位							
		冠状断		矢状断		水平断	
1回換気量	(ml)	970.2			1025.3	647.1	
RR	(回/min)	9.7			12.1	16.8	
肺気量位In		0.92			0.80	0.60	
肺気量位Ex		0.34			0.3	0.26	
		右	左	右	左	右	左
肺面積In	(cm ²)	263.2	226.5		368.6	131.9	131.4
肺面積Ex	(cm ²)	202.2	189.5		334.6	134.4	131.0
In-Ex差	(cm ²)	61.1	37.0		34.0	-3.0	0.9

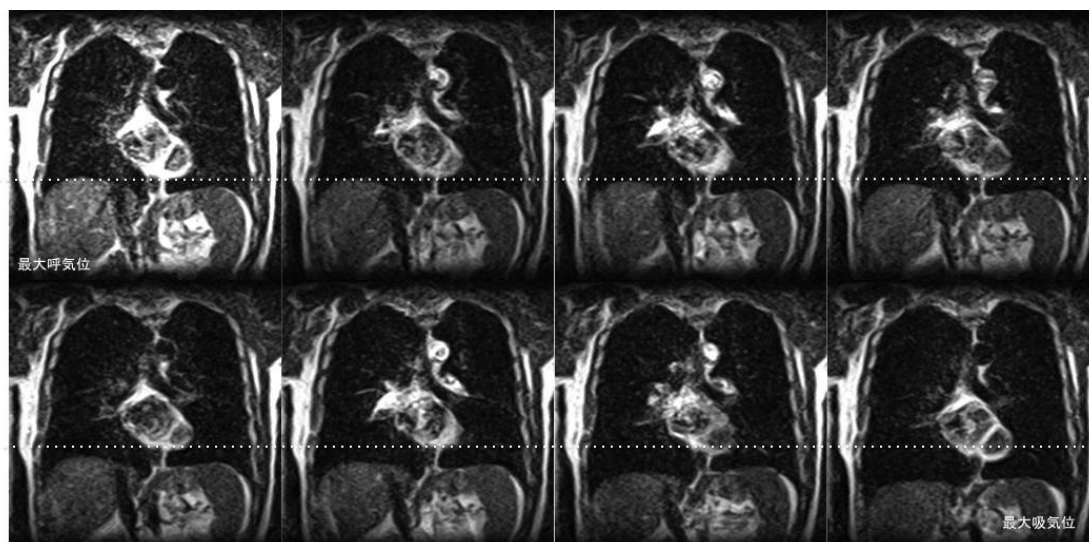
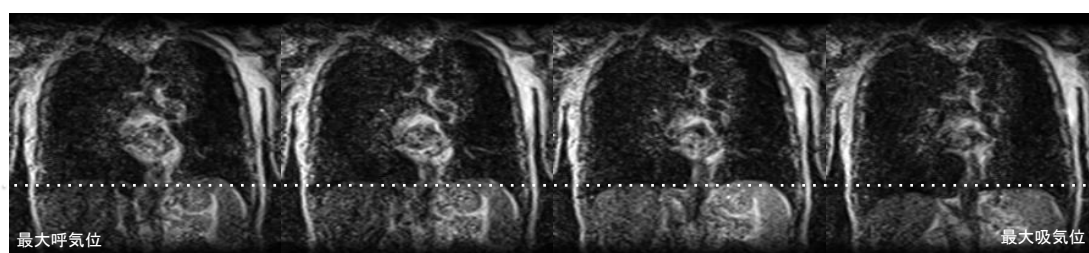


図 24 冠状断 MRI 画像

上段：背臥位 下段：腹臥位

左端から右端に向かい, 495msec 毎に撮像した最大呼気位 MRI 画像から最大吸気位 MRI 画像を示す。白破線は安静呼吸時における最大呼気位横隔膜の位置を示す。

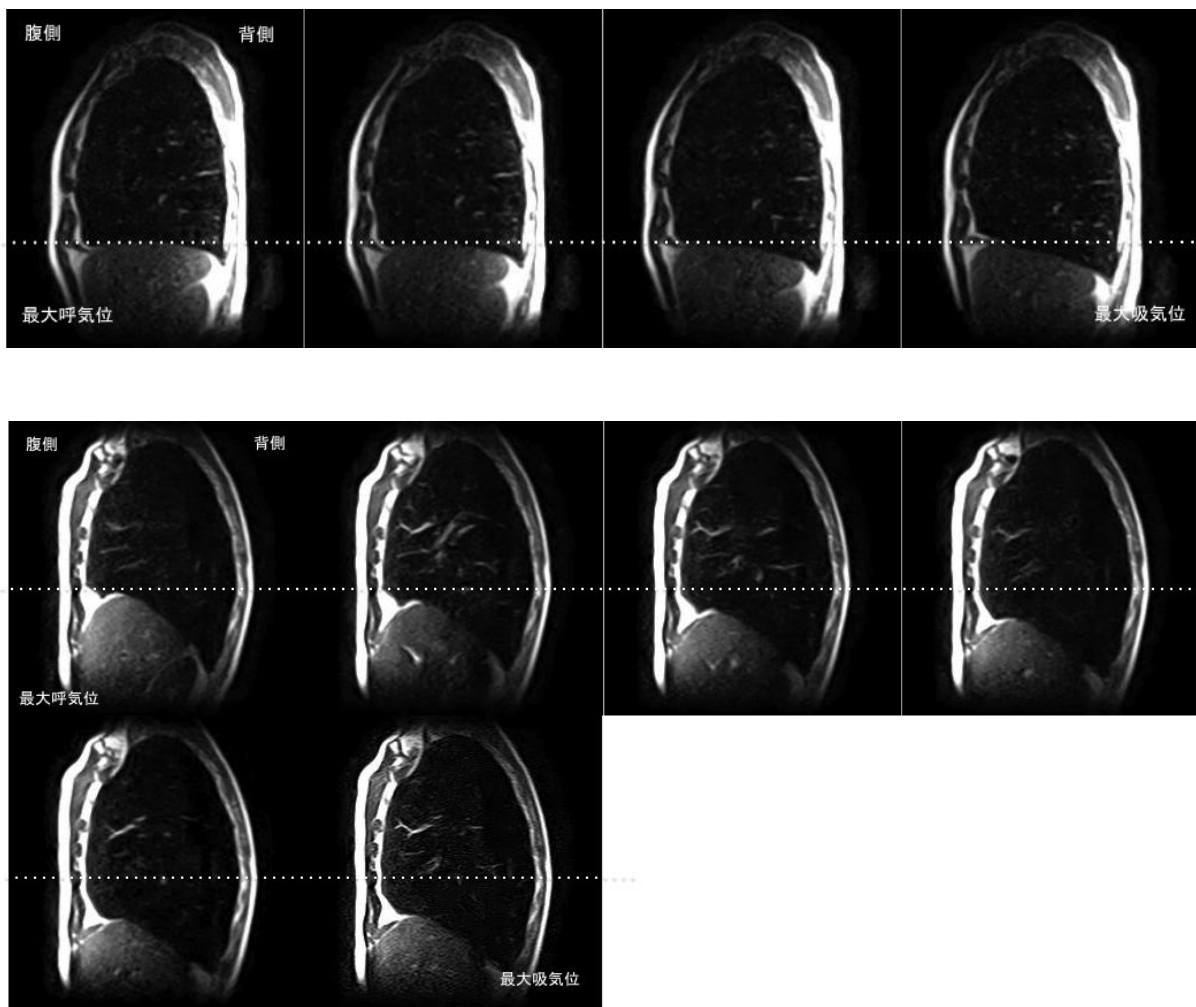


図 25 右矢状断 MRI 画像

上段：背臥位 下段：腹臥位

左端から右端に向かい, 495msec 毎に撮像した最大呼気位 MRI 画像から最大吸気位 MRI 画像を示す。白破線は安静呼吸時における最大呼気位横隔膜の位置を示す。

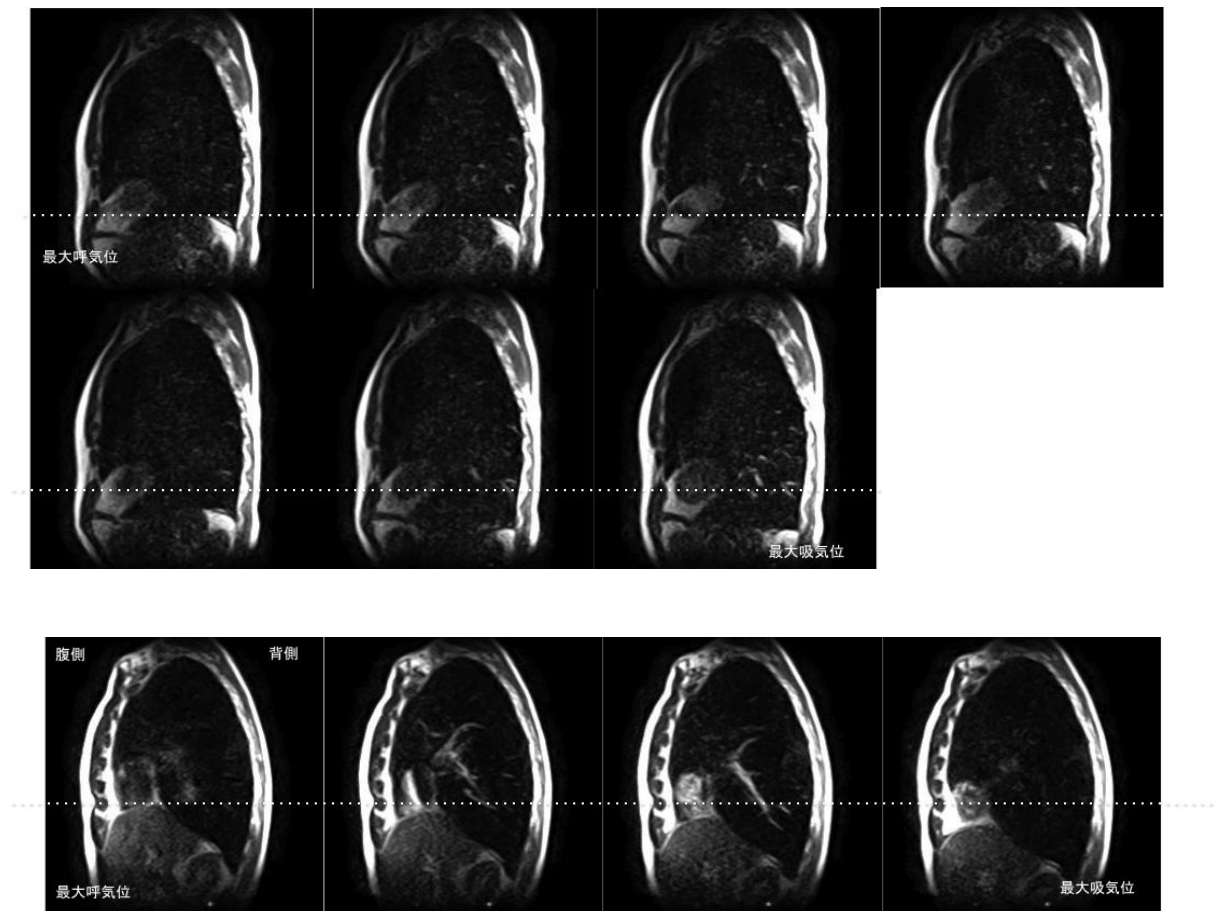


図 26 左矢状断 MRI 画像

上段：背臥位 下段：腹臥位

左端から右端に向かい, 495msec 毎に撮像した最大呼気位 MRI 画像から最大吸気位 MRI 画像を示す。白破線は安静呼吸時における最大呼気位横隔膜の位置を示す。

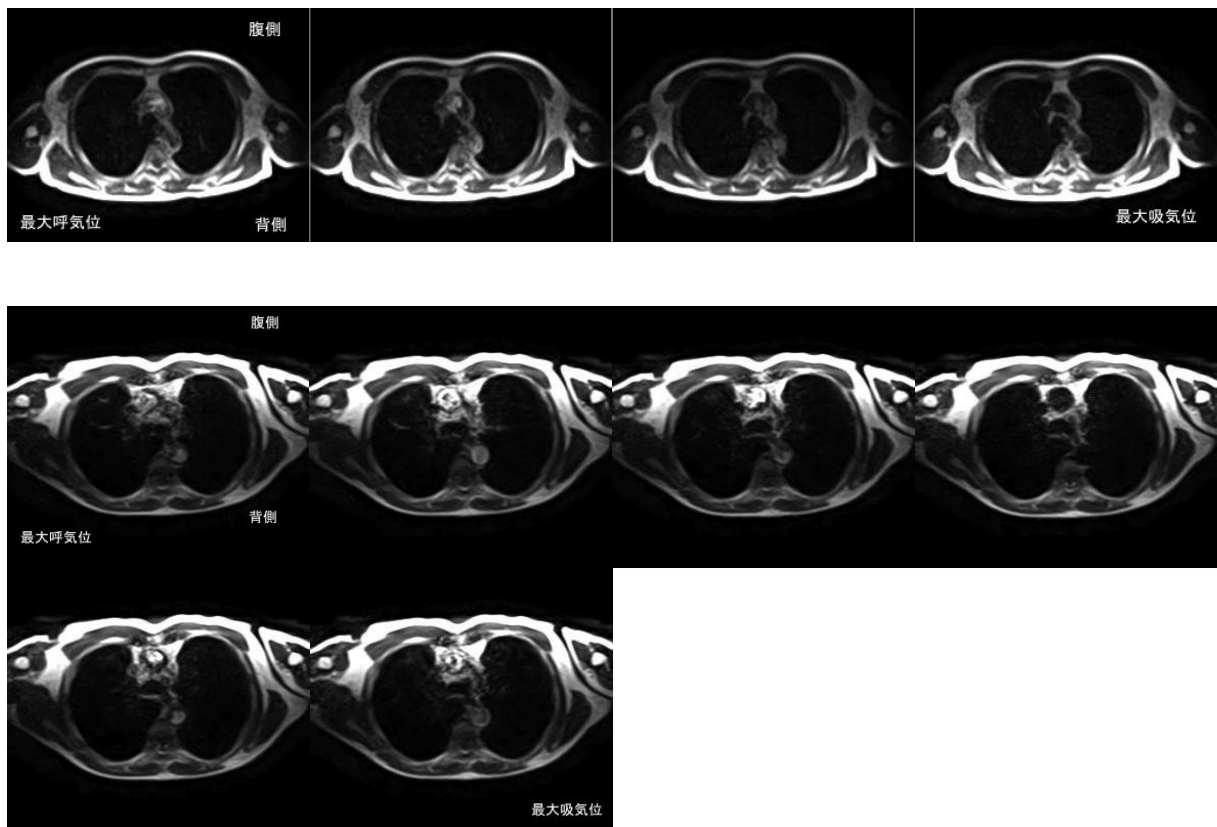


図 26 水平断 MRI 画像

上段：背臥位 下段：腹臥位

左端から右端に向かい, 495msec 毎に撮像した最大呼気位 MRI 画像から最大吸気位 MRI 画像を示す。

4.4 結果と考察

呼吸介助時，1 回換気量は左矢状断以外のすべての撮像方向で増大を認め，呼吸数はすべての撮像方向で減少を認めた。これは，慢性閉塞性肺疾患においても呼吸介助が 1 回換気量増大を示し，諸家の先行研究と同様の結果を示した。EILV，EELV は，健常者に比べ顕著に高く高肺気量位であることが示唆された。また，水平断では EILV の顕著な増大を認めるとともに，In-Ex 肺面積差の顕著な減少を認めた。慢性閉塞性肺疾患の多くは肺過膨張を認め，また肺気腫では上葉に気腫病変を認めることが多いと言われている。本研究協力者は，健常者の肺に比べ肺野は顕著に増大を認め，肺過膨張を呈していた。また，呼吸介助は測定機器の特徴上，両上部胸郭に実施したため呼吸介助による効果の出現が不十分であった可能性が示唆される。一方，これにより，経皮的酸素飽和度の低下および呼吸苦の訴えは認めなかった可能性が伺える。

安静呼吸時，健常人と違い吸気時横隔膜腹背側部の動きに違いが見られ，奇異呼吸様の動きを呈していたが，呼吸介助を実施することにより健常人における呼吸時の横隔膜の動きに近づく現象が認められた。これは，呼吸介助が慢性閉塞性肺疾患に対し，呼吸介助を行った際に，正常な胸郭呼吸運動を導いた可能性が高い。このように正常な胸郭呼吸運動が獲得されることで，呼吸仕事量の減少や，呼吸苦の改善などが得られる可能性が示唆された。

第 5 章 総合考察と今後の展望

呼吸介助は、局所換気不全部位に対し患者の呼気に合わせて胸郭を圧迫することで、局所換気改善を主たる目的として行われる手技である。臨床効果における報告は多くみられるが、実際に呼吸介助中の局所肺がどのような状態であるかの評価は今の所行われていない。また、高肺気量位で慢性閉塞性肺疾患症例に対する呼吸介助が、実際の肺に及ぼす影響についても詳細な検討は行われていない。

これまでに dMRI を用いて、健常者に対し右上下部胸郭に呼吸介助を行った際に、呼吸介助が局所肺に与える影響を検証してきた[29]。その結果、肺断面積変化から実際には三次元である肺の容積変化を捉える事が可能であることが明らかとなった。また、呼吸介助が 1 回換気量の増大と、介助を加えた肺の In-Ex 肺断面積差を顕著に増大することから、臨床で行う呼吸介助が、介助を加えた肺の局所換気増大を図ることが示唆されている。そこで、本研究では、体位呼吸療法の 1 つである腹臥位と呼吸介助を併用するとともに肺気量位の測定を行い、呼吸介助が肺に与える影響を検討することにした。また、慢性閉塞性肺疾患に対しても、呼吸介助が肺にどのような影響を及ぼすか観察した。

結果、我々の先行研究同様、呼吸介助が介助を加えた肺の局所の換気増大を図ることが再確認された。さらに、今回の研究では肺気量位を測定したことから、1 回換気量の増大が主に呼気時の胸郭圧迫による介助側肺の収縮と、それに伴う EELV の減少、呼気予備量の減少によることが示唆された。

また、腹臥位では 1 回換気量に顕著な増大および呼吸数の減少を認めず、諸家の報告と同様に腹臥位が機能的残気量増大や、EELV の上昇も認めたと考えられた。

最後に、慢性閉塞性肺疾患に対する呼吸介助が局所肺および肺気量に与える影響を検証した。慢性肺気腫症例における呼吸介助は、換気量増大のみでなく、特異的な横隔膜と胸郭の動きをコントロールすることの方が有効である可能性が示唆された。

今後の理学療法への応用としては、獲得が難しいとされる呼吸介助手技の習得に対し、取得した胸部 MRI 画像を呼吸介助手技の教授において利用することで、呼吸介助手技の習熟度に貢献すると思われる。また、体位呼吸療法、呼吸介助が健常人のみならず慢性閉塞性肺疾患などの障害肺に及ぼす影響を検証することは、呼吸リハビリテーションにおいて非常に重要であると考えられる。

最後に、本研究の問題点として、測定および解析上の問題点がある。一つ目の問題点は、MRI 装置の中で呼吸介助を行う測定上の問題点である。研究協力者は、頭部から骨盤にかけてドーム上の MRI 装置に覆われ、

開口部 65.5cm の狭い空間で背臥位になっている。理学療法士は、呼吸介助を行うために、MRI 架台の上に正座になり身を屈め、研究協力者の頭側から狭い空間に上肢および頭部を入れ右側肺呼吸介助を行った。通常の呼吸介助時とは、全く異なる肢位で呼吸介助を行わなければならない、研究の実施にあたり十分な練習を必要とした。また、狭い MRI 装置に上肢と頭部を入れ呼吸介助を行うには、理学療法士の身体的条件に制限が生じる。近年、MRI はめざましく発展したが、今後、理学療法領域で dMRI を使用した研究を促すには、MRI 装置のさらなる開発が望まれる。

加えて、もっとも大きな問題点として画像解析上の問題点があげられる。本研究では、全ての撮像条件において各 255 枚の胸部 MRI 画像を取得した。これら取得した画像を全て視覚的に確認し、各肺気量位において左右肺野領域を徒手的に囲い肺断面積を算出する作業は、多大な時間を要す。また、作業時間は一人の研究協力者に対し約 5～7 時間ほどである。そのため、一般的に今回の評価方法が普及することが現段階では難しいと考えられる。しかし、今回の評価方法が、呼吸理学療法を行う上で、有益な情報となることは明らかであり、今後それらの問題点の解決も必要であると考ええる。

今後の展望として、本研究では dMRI を使用した右側肺呼吸介助時の肺断面積、肺気量位の解析により呼吸介助が局所肺換気不全部位の換気を改善することが再確認されるとともに、換気量変化が主に呼気肺気量位の変化によることが立証された。これは、高肺気量位が問題となる慢性閉塞性肺疾患に対する呼吸介助の影響を検証する上で有用なものであると考えられた。また、dMRI を使用したことで慢性閉塞性肺疾患患者の横隔膜運動が、呼吸介助により変化していることも視覚的に確認することができ、呼吸機能検査のみでは知り得ない知見を得ることができたことは、有益なものであると考えられた。

謝 辞

本研究は指導教員 居村茂幸教授，副指導教員 水上昌文教授の指導のもとに行われました。

本研究を進めるにあたって，終始暖かい御指導を頂いた茨城県立医療大学大学院 保健医療科学研究科 居村茂幸教授，富田和秀准教授，甲南女子大学看護リハビリテーション学部 間瀬教史教授に深く感謝いたします。

本論文をまとめるにあたり，常に的確なご助言を頂きました茨城県立医療大学大学院 保健医療科学研究科 大橋ゆかり教授に深く感謝いたします。また，放射線技術科学科 門間正彦准教授には本論文のまとめ，並びに日頃から本研究を進めるにわたり，数々のご助言ならびに技術的な支援を頂き深く感謝いたします。

臨床的な立場から数々の助言を通し，研究の指針を与えて下さいました本学付属病院 大瀬寛高教授に深く感謝いたします。

さらに，貴重なご助言と多大な協力を頂きました茨城県立医療大学の諸先生方に心よりお礼申し上げます。

引用文献

- [1]千住秀明, 眞渕敏 他.呼吸理学療法標準手技. 医学書院. 2008; 92
- [2]Ewart W: The treatment of bronchiectasis and of chronic bronchial affections by posture and by respiratory exercise. Lancet, 1901; 2: 70-72.
- [3]MacMahon C: Some cases of gunshot wounds and other affections of the chest treated by breathing and physical exercise. Lancet i, 1919; 769-770.
- [4]Webber BA: The Brompton Hospital guide to chest physiotherapy (Preface to second edition), 5th ed. Blackwell Scientific Publication, London, 1988.
- [5] Palmer KNV, Sellick BA: The prevention of postoperative pulmonary atelectasis. Lancet I, 1953; 164-168.
- [6] Mackenzie CF, Imle PC, Ciesla N: Chest Physiotherapy in the Intensive Care Unit. Wiolliams & Wilkins, Baltimore, 1989; 1-52.
- [7] Jones NL, Conference on the scientific basis of respiratory therapy: Physical therapy-present state of the art. Am Rev Respir Dis , 1974; 110(6 Pt 2):132-136.
- [8]Barach AL, Breathing exercise in pulmonary emphysema and allied chronic respiratory disease. Arch Phys Med Rehabil, 1955; 6: 379-390.
- [9]Miller WF: A Physiologic evaluation of the effects of diaphragmatic breathing training in patients with chronic pulmonary emphysema. Am J Med, 1954; 17: 471-477.
- [10]古賀良平. わが国における呼吸リハビリテーションの始まり. 石田暉, 江藤文夫, 里宇明元(編): 臨床リハ別冊・呼吸リハビリテーション. P99, 1999.
- [11]特集: 呼吸器疾患の理学療法. 臨床理学療法, 1977; 3: 3-77.
- [12]芳賀敏彦, 溝呂木忠(編): 図説呼吸理学療法—急性期管理からリハビリテーションまで. メディカル葵出版. 1987.
- [13]高橋仁美, 塩谷隆信, 宮川哲夫: わが国における呼吸理学療法の科学性—メタアナリシスを用いて. 日本呼吸管理学会誌, 2002; 11: 399-403.
- [14]伊橋光二, 斎藤昭彦, 他. 呼吸介助手技が肺気量分画に与える影響, 理学療法学. 1989; 16: 267-72.
- [15]上村洋充, 眞渕敏, 間瀬教史, 他. 術後呼吸不全患者に対する徒手の呼吸介助時の換気変化について, 理学療法学. 1997; 24(suppl.2): 203.
- [16]神津玲, 田平一行, 他. 慢性肺疾患に対する呼吸介助手技が呼吸, 循

- 環, 代謝に及ぼす影響. 第 10 回東海北陸地区理学療法士学会誌. 1994; 10: 75-6.
- [17] 上村洋充, 真渕敏, 間瀬教史, 他. 正常人における呼吸介助時の呼吸パターンの変化について, 理学療法学. 1996; 23.
- [18] 伊橋光二, 斎藤昭彦, 他. 労作性息切れに対する呼吸介助手技の効果, 理学療法学. 1990; 17: 83-90.
- [19] 北村茂三, 二宮石雄, 他. MRI を用いた安静時呼吸運動の三次元解析—健常ボランティアによる検討—. 日磁医誌 2008; 28(2): 131-141.
- [20] 戸上泉, 津野田雅敏, 他. 肺気腫患者の呼吸運動の MRI による評価, 臨床放射線. 1998; 43(1): 121-128.
- [21] Gauthier AP, Verbanck S, et al: Three-dimensional reconstruction of the in vivo human diaphragm shape at different lung volumes. J Appl Physiol, 1994; 76(2): 495-506.
- [22] Kotani T, Minami S, et al: An analysis of chest wall and diaphragm motions in patients with idiopathic scoliosis using dynamic breathing MRI. Spine. 2004; 29(3): 298-302.
- [23] Plathow C, Ley S, et al: Evaluation of chest motion and volumetry during the breathing cycle by dynamic MRI in healthy subjects; compariaon with pulmonary function tests. Invest Radiol. 2004; 39(4): 202-209.
- [24] Plathow C, Zimmermann H, et al: Influence of different breathing maneuvers on internal and external organ motion: use of fiducial markers in dynamic MRI. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2005; 62(1): 238-245.
- [25] 田畑信幸, 宮島隆一, 他. 超高速 CT による定量的肺機能評価, 臨床画像. 2000; 16(12): 1428-1437
- [26] 渡辺秀明, 小場弘之. X 線 CT を用いたヒト肺容積の測定, 札幌医誌. 1991; 60(1): 69-77.
- [27] 北岡裕子, 木島貴志, 他. 肺の画像解析に基づいた局所換気力学, 最新医学. 2007; 62(4): 136-140.
- [28] 瀬尾裕之, 森泰胤, 他. CT を用いた肺体積の計測-MR との比較, 日本医放会誌. 1997; 57: 608-61.
- [29] 田上未来, 居村茂幸, 他. 呼吸介助手技中の局所肺換気について -dMRI を用いた二次元画像解析の有用性-, 理学療法科学. 2013; 28(3): 351-356.
- [30] 丸川征四郎. ICU のための新しい肺理学療法. 株式会社 MC メディカ出版(大阪府吹田市広芝待ち 18-24) 2002; 85, 103.
- [31] 丸川征四郎, 山内順子, 他. 腹臥位による急性肺障害の呼吸管理 体位呼吸療法の意義と方法, 呼吸と循環. 1996; 44(3): 273-79.

- [32]神津玲，浅井政治，他．腹臥位管理と呼吸理学療法の併用が急性呼吸不全患者の肺酸素可能に及ぼす影響．人工呼吸．1999;16(2); 148-149.
- [33]富田和秀，阪井康友，他． Dynamic MRI を用いた正常な横隔膜運動の動的解析，理学療法科学．2004; 19(3): 237-243.
- [34]有園信一，北川知佳，他．慢性呼吸器疾患患者に対する座位呼吸介助手技の換気代謝機能へ及ぼす影響．
- [35] 有園信一，国府島尚子，他．肺気腫に対する呼吸介助手技の効果に関する検討．日本呼吸管理学会誌．1997;7(2)，84-89.
- [36]野添匡史，間瀬教師，他．体幹前傾姿勢が肺気量位と呼吸運動に与える影響，理学療法学，2007; 34(6): 254-259.