

原著論文

吸気筋トレーニングが横隔膜運動に与える影響

— dynamic MRI を用いた横隔膜運動解析による検討 —

富田和秀¹⁾・阪井康友²⁾・居村茂幸³⁾・門間正彦⁴⁾
 大瀬寛高⁵⁾・江口勝彦¹⁾・目黒 力¹⁾・柴田雅祥¹⁾
 設楽達則⁶⁾・山田亮佑⁷⁾・赤池 優⁸⁾・八高拓也⁹⁾

Effect of Inspiratory Muscle Training on the diaphragmatic excursion

— A study of diaphragmatic motion analysis using dynamic MRI —

Kazuhide TOMITA¹⁾, Yasutomo SAKAI²⁾, Shigeyuki IMURA³⁾, Masahiko MONMA⁴⁾
 Yoshitaka OHSE⁵⁾, Katsuhiko EGUCHI¹⁾, Tsutomu MEGURO¹⁾, Masayoshi SHIBATA¹⁾
 Tatsunori SHITARA⁶⁾, Ryosuke YAMADA⁷⁾, You AKAIKE⁸⁾, Takuya YAKOH⁹⁾

Abstract

Chronic respiratory insufficiency, pneumectomy, phrenic nerve injury and other respiratory disease keeping patients on a mechanical ventilator for the long term tend to induce weaknesses of inspiratory muscles such as diaphragm and intercostals. Recently, specific inspiratory muscle training (IMT) has been applied to patients with impaired or severely loaded respiratory muscles in case such clinical conditions should come about.

The inspiratory muscle power is usually measured by using maximum inspiratory mouth pressure (P_Imax). However, P_Imax is a total power of forced inspiration created by all inspiratory muscles including even accessory muscles such as pectoralis major, scalenus and sternocleidomastoideus. So that it can not assess the contribution of diaphragm separately. It has been already reported that IMT increases P_Imax, but what kind of effect it gives to diaphragmatic excursion is not well known.

The purpose of this study was to examine the positive effect of IMT to the excursion of diaphragm using dynamic analysis of magnetic resonance imaging (dynamic MRI), comparing to the differential augmented P_Imax between before and after IMT.

The results of the differential cephalocaudal distance of diaphragmatic excursion of the subject 1 and 2 were 0mm and 11.9mm, respectively, despite that a differential P_Imax of subject 1 between before and after IMT was 39cm H₂O and subject 2 showed only 6cm H₂O. These results suggest that the maximal excursion of diaphragm might not necessarily be contributed only by augmented P_Imax, which implies some other factors to be examined as further studies.

Key words : Inspiratory muscle training, Diaphragmatic excursion, Dynamic MRI

1) 群馬バース大学保健科学部 理学療法学科 2) 茨城県立医療大学 保健医療学部理学療法学科 3) 茨城県立医療大学大学院 保健医療科学研究科
 4) 茨城県立医療大学 保健医療学部放射線技術科学科 5) 茨城県立医療大学付属病院 内科 6) 群馬県立心臓血管センター リハビリテーション課
 7) 株式会社エヌジェイアイ L-CUB 事業部 8) バース学園診療所 9) 沼田脳神経外科循環器科病院 理学療法課

要 旨

慢性呼吸器疾患患者、胸部外科術後患者、長期人工呼吸器装着患者などでは、横隔膜や肋間筋などの吸気筋に筋力低下を呈する。そのような病態を改善するために、呼吸リハビリテーションでは呼吸筋のトレーニングを実施する。

その吸気筋力は、最大吸気口腔内圧 (P_Imax : maximum inspiratory mouth pressure) を用いて、評価されている。しかしながら、この P_Imax は、強制吸気時に測定することから吸気筋である横隔膜・外肋間筋に加え、大胸筋・斜角筋・胸鎖乳頭筋などの補助吸気筋を含めた総体的な圧となるため、横隔膜単独の変化については判定が困難である。吸気筋トレーニング (Inspiratory Muscle Training : 以下 IMT) が P_Imax を増大させる事は明らかであるが、横隔膜運動にどのような影響を及ぼすかは不明である。

本研究は吸気筋力と横隔膜の移動距離との相関性を解明するための予備的研究として、吸気筋トレーニング (Inspiratory Muscle Training : 以下 IMT) 実施前後での横隔膜運動距離の変化を dynamic MRI^{4,5,8)} を用いて評価し、両者に同様の傾向があるかどうかを調べることにある。

本研究結果、IMT 前後の横隔膜の移動距離差は対象者 1 で 0 mm、対象者 2 で 11.9mm であったにも関わらず、吸気筋力の変化は対象 1 で 39cm H₂O、対象 2 で 6 cm H₂O であった。

本実験では、吸気筋力と横隔膜運動に、先行報告にあるような顕著な相関性の傾向が認められないケースであった。むしろ本結果から、吸気筋力の増強には横隔膜運動の増大だけが主要因ではなく、その他の要因が関与している可能性が示唆された。

キーワード：吸気筋トレーニング、横隔膜運動、dynamic MRI

結 言

慢性閉塞性肺疾患、拘束性肺疾患いずれの疾患においても換気機能の障害による呼吸困難感とそれに伴う運動耐容能の低下が生じる。このような患者に対して、残された機能を最大限に生かし日常生活活動や生活の質を改善することを目的とした「呼吸リハビリテーション」が行われる。包括的呼吸リハビリテーションの中心は、運動療法を含む呼吸理学療法である。呼吸理学療法には、上記のような障害を改善するための 1 つの手段として吸気筋トレーニング (Inspiratory Muscle Training : 以下 IMT) が行われる¹⁾。実際の IMT 実施にあたっては、機械的に吸気抵抗負荷を加えることができる専用の器具 (商標名 : P-Flex、Threshold など) を用いる方法が主流である²⁾。

吸気筋力の評価は、四肢筋とは違い、関節運動を介して筋力を測定することができないため、吸気筋の収縮により胸腔や口腔で発生する陰圧の最大値を指標として用いる事が多い。特に口腔における吸気時の最大発生陰圧は、「最大吸気口腔内圧 (P_Imax : maximum inspiratory mouth pressure)」と定義されている³⁾。

しかしながら、この P_Imax は、強制吸気時に測定することから吸気筋である横隔膜・外肋間筋に加え、大

胸筋・斜角筋・胸鎖乳頭筋などの補助吸気筋を含めた総体的な圧となるため、横隔膜単独の変化については判定が困難である。IMT が P_Imax を増大させる事は明らかであるが、横隔膜運動にどのような影響を及ぼすかは不明である。

本研究は吸気筋力と横隔膜の移動距離との相関性を解明するための予備的研究として、IMT 実施前後での横隔膜運動距離の変化を dynamic MRI^{4,5,8)} を用いて評価し、両者に同様の傾向があるかどうかを調べることにある。

対 象

対象は心肺機能障害や胸郭・体幹の筋骨格疾患の既往のない健康な男子大学生 2 名とした。対象者はそれぞれ、年齢 : 23 歳、21 歳、BMI : 21.3kg/m²、19.4kg/m²、肺活量比 (%VC) : 116.0%、105.0%、1 秒率 (FEV_{1.0}) : 80.7%、79.1%、痩せ型の若年男性である (表 1)。

表1 対象

	対象者1	対象者2
年齢・体格		
年齢(歳)	21	23
身長(m)	1.68	1.76
体重(kg)	60.0	60.0
BMI(kg/m ²)	21.3	19.4
肺機能検査		
FVC(L)	3.84	4.16
%VC(%)	116.0	105.0
FEV _{1.0} (L)	3.10	3.29
FEV _{1.0} %(%)	80.7	79.5

略語の説明

- BMI (body mass index) : 体格指数
 FVC (forced vital capacity) : 努力性肺活量
 %VC (VC/FVC×100) : 肺活量比
 FEV_{1.0} (forced expiratory volume in one second) : 1秒量
 FEV_{1.0}% (FEV_{1.0}/FVC×100) : 1秒率

方 法

両対象者に対し、IMTを6週間継続させ、その前後で、それぞれ吸気筋力とDynamic MRI^{4,5,8)}による横隔膜運動の評価を行った。詳細は以下に示す。

1. 吸気筋トレーニング

(inspiratory muscle training : IMT)

あらかじめ両対象のPI_{max}を測定し、抵抗負荷量を30%PI_{max}とした。Threshold IMTTM(米国ヘルススキャン社製)を用い、1回15分間のIMTを1回/日、3回/週の頻度で、6週間実施させた。

2. 吸気筋力測定

吸気筋力の測定には、口腔内圧測定器(Micro Medical社製 Micro RPM, UK)を使用した。測定方法は米国胸部疾患学会/欧州呼吸器学会ステートメント⁶⁾に基づき、測定肢位は椅子座位、ノーズクリップ装着、フレンジ型マウスピースをくわえて、残気量位から最大吸気を行い、少なくとも1秒間持続できたものを最大圧とした。これを3回繰り返す、最大値を採用し、これを吸気筋力とした。

3. Dynamic MRIによる横隔膜運動評価^{4,5,8)}

(1) 評価装置

横隔膜運動の評価には、MRI装置(Philips社

Gyrosan ACS-NT Power Track 3000)を用いDynamic MRIと称される動的な撮像方法で行った。撮像条件はFast SE法(fast spin echo)法におけるT2強調画像をTR(repetition time):480msec、TE(echo time):40msec、FA(Flip Angle):90°により撮像し、スライス厚:5mm、画像再構成する範囲である矩形撮像領域の一辺を長さFOV(field of view):380mm、画像の画素数を256×256とし、加算回数(number of signal averaging: NSA)を2回とした。実際には30秒間で60枚のMR画像を取得した。その画像データ(DICOM)をコンピュータ上に取り込み、画像解析ソフトScion社製Scion Imageを用いて解析した。

さらにMR撮像時に、両対象者に機密性の高いface maskを装着し換気量測定装置(ミナト医科学社製、AS-600, Japan)より測定された呼吸流速とMR撮像時に発生する音を解析システム(日本光電製Leg1000, Japan)に取り込んだ。その後コンピュータ上でMR画像と換気量を同期させて解析した。

(2) 評価手順

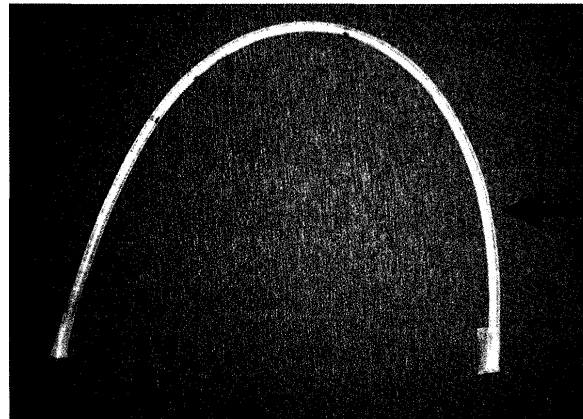
各対象者にはMRI室に入る前に、最大深呼吸の練習を2~3回行い呼吸様式を確認した。次いでMRI室に入室し、背臥位で、各々30秒間の最大深呼吸時横隔膜運動を撮像した。撮像方向は、気管支分岐を通る冠状断を撮像した。

またMR画像(survey画像)より、右鎖骨中央部を通る矢状面を決定するのは困難であることから、実際に背臥位で肩峰先端と胸鎖関節の距離を体表より測定して鎖骨中央部を決定した。その体表部にマーカーを固定し、撮像部位のランドマークとした。マーカーには16Fr(外径:5mm)の吸引カテーテルを材料として作製したグリセリン入りの41cmの管(以下、体表マーカー)を用いた⁷⁾(図1)。

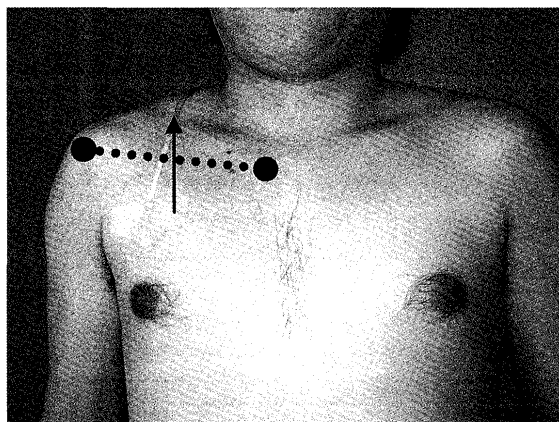
(3) 横隔膜運動・胸郭運動の解析

横隔膜運動の解析は、冠状面画像において図2に示すように、肺尖部から鎖骨中央線レベルの横隔膜までの距離(MID)を指標にした⁸⁾。最大深呼吸における呼気位と吸気位のそれぞれの移動距離を求め、それらを横隔膜の運動距離として、比較の上検討を加えた。頭尾方向への横隔膜運動の測定方法を図3に示す。

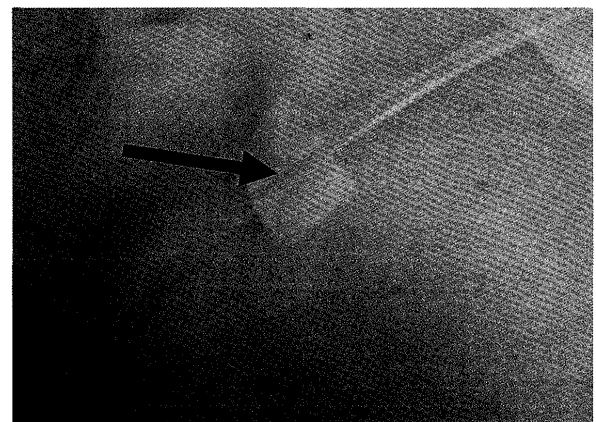
なお研究を行うにあたり、両対象者に、本学倫理委員会規定に基づき本研究の目的と方法を十分に説明し同意を得た。



外径 5 mm×長さ41cmのグリセリンが挿入された管



鎖骨中央部に体表マーカーを固定



体表マーカーはテープで固定

図1 体表マーカー⁷⁾

背臥位で肩峰先端と胸鎖関節の距離を体表より測定し鎖骨中央部を決定した。その体表部にマーカーを固定し、撮像部位のランドマークとした。

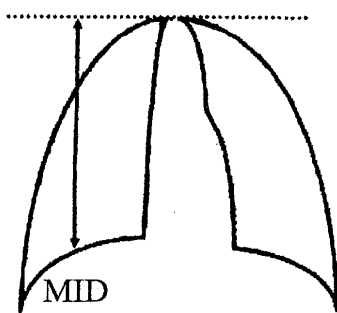


図2 Chest wall の計測法 (近藤ら⁸⁾の方法を一部改変引用)
肺尖部から鎖骨中央線レベルの横隔膜までの距離 (MID)

結 果

1. IMT 前後での呼吸筋力の変化

吸気筋力は IMT 前 96cm H₂O、112cm H₂O、IMT 後 135cm H₂O、118cm H₂O であった。対象者 1 は著明な増加を示したのに対し、対象者 2 の増加は僅かであった (図 4)。

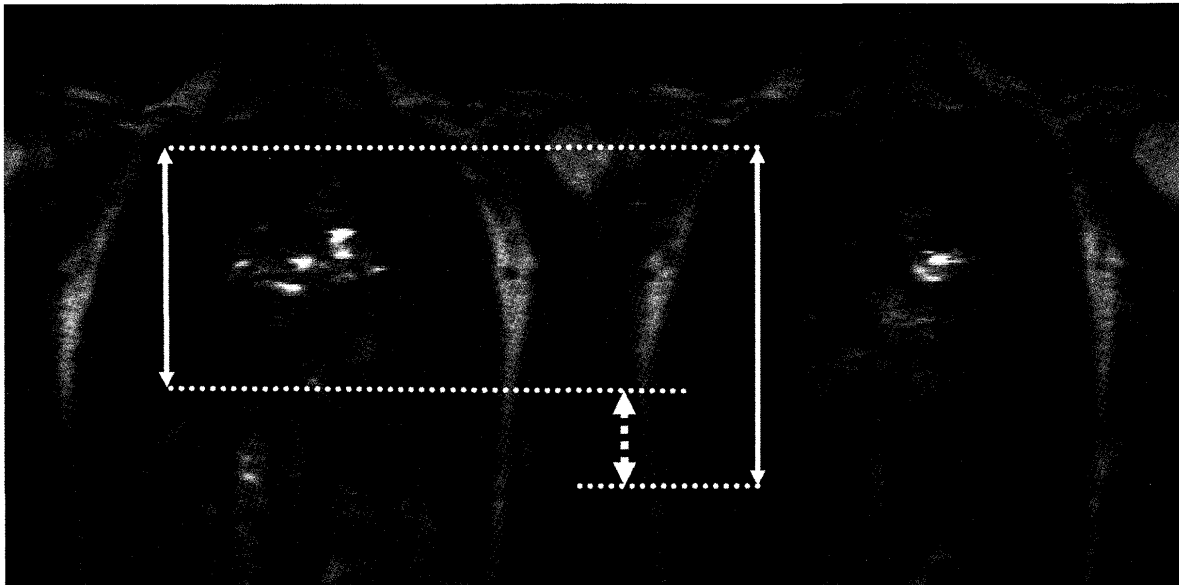
2. IMT 前後での横隔膜運動距離の変化

横隔膜運動距離は IMT 前で 89.1mm、102.4mm、IMT 後 89.1mm、114.3mm であった。対象者 1 は変化がなく、対象者 2 で若干増加していた (図 5)。

考 察

本研究の目的は、呼吸理学療法の基本手技の 1 つである吸気筋トレーニングが横隔膜運動にどのような影響を及ぼしているかを解明することである。

小谷ら⁹⁾は、健常成人 10 名に対し、呼吸訓練器具を用いて 2 週間の呼吸筋力訓練後の横隔膜運動を dyna-



a. 呼気位の MID

b. 吸気位の MID

図3 横隔膜の運動距離の測定方法

以下の式の通り，吸気位と呼気位との差を横隔膜の運動距離とした。

←→の白線の範囲が横隔膜の運動距離である。

* 横隔膜の運動距離 = 吸気位の MID (b) - 呼気位の MID (a)

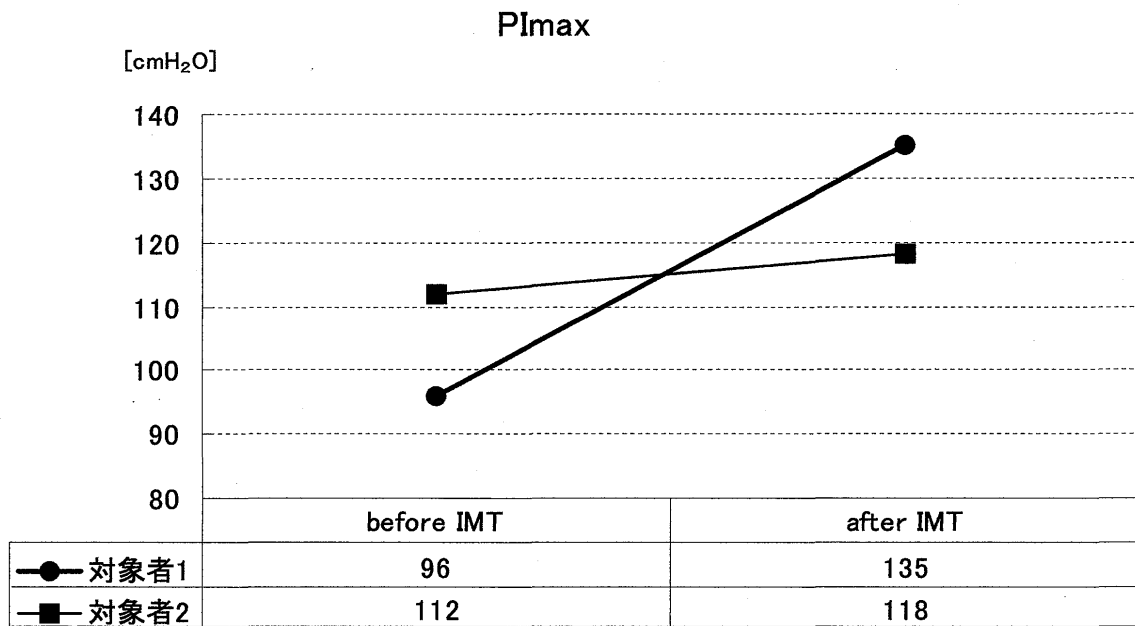


図4 吸気筋トレーニング前後での吸気筋力の変化

* P_{Imax} : maximum inspiratory mouth pressure (最大吸気口腔内圧)

mic MRI^{4,5,8)} を用いて評価した結果、右横隔膜運動が115.4%、左横隔膜が115.0%の増加を示したと報告していることから、IMT は吸気筋力の増大と共に横隔膜運動距離に影響を及ぼしていると仮説を立てた。しか

しながら本実験の結果は、先行研究と全く同様の傾向を示さなかった。

本実験においては、Thershold IMTTM (吸気抵抗負荷トレーニング器具) を用いた6週間の吸気筋トレー

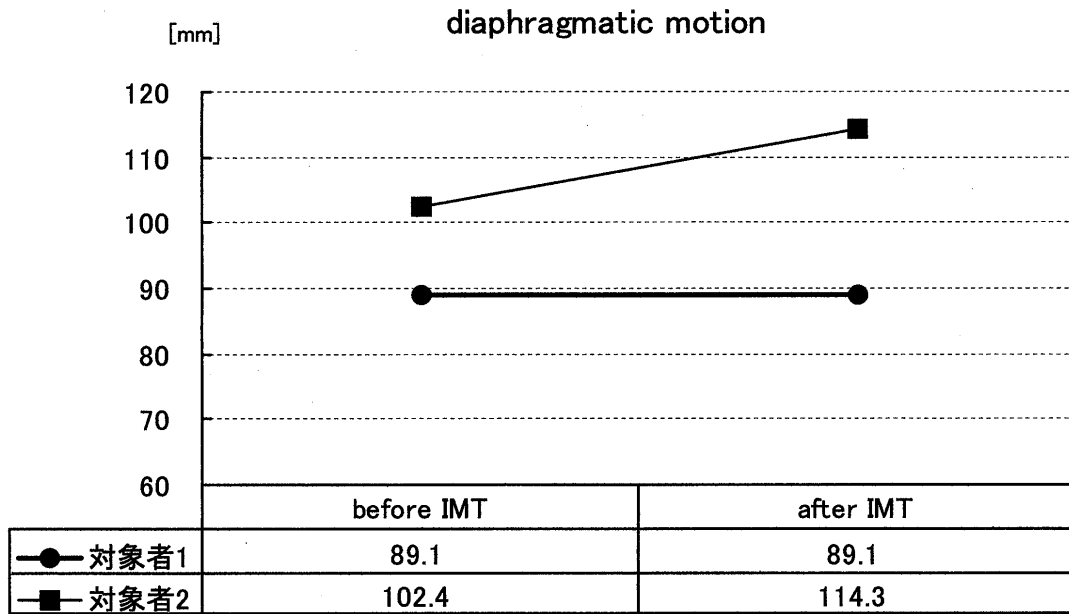


図5 吸気筋トレーニング前後での横隔膜運動距離の変化

ニング前後の横隔膜運動距離の変化を dynamic MRI^{4,5,6)}にて評価した。横隔膜運動距離の評価は、右横隔膜運動を基準に検討した結果、対象者2の所見では、右横隔膜運動が111.6%の増加を示し、小谷ら⁹⁾の報告とほぼ同様の傾向を示したが、対象者1では吸気筋力が顕著な増加を示したにも関わらず、横隔膜運動が増加しないものが認められた。これは先行研究では認められていない新たな知見である。

この対象者1に認められた所見を推察すると、吸気筋力が増大する場合、単に横隔膜の頭尾方向への運動距離が変化するだけでなく、横隔膜の筋収縮時間の変化などの他の要因が関与している可能性があることが考えられる。さらに、本実験では胸郭運動の変化については解析を行っていないが、横隔膜以外の吸気筋(外肋間筋・胸鎖乳突筋・僧帽筋等の補助吸気筋)の増大にともなう胸郭運動の影響についても検討をおこなう必要があると考えられる。

本実験では、吸気筋力と横隔膜運動に、先行報告にあるような顕著な相関性の傾向が認められないケースであった。むしろ本結果から、吸気筋力の増強には横隔膜運動の増大だけが主要因ではなく、その他の要因が関与している可能性が示唆された。

今後、対象者数を増やし、吸気筋トレーニングによって筋力が増強にいたるメカニズムを運動学的視点で解析を進めていく必要があると考える。さらに、その

得られた知見をもとに、臨床での治療応用まで発展させていきたい。

文 献

- 1) 日本呼吸器学会(監訳):呼吸リハビリテーション・プログラムのガイドライン第2版. ライフサイエンス出版、1999.
- 2) 解良 武士:呼吸筋力と増強. 理学療法科学 18(1):2003:p1-6.
- 3) 塩谷隆信、高橋仁美:呼吸ケア. 株式会社メジカルビュー社、東京:2004、p83.
- 4) Hidaka A, Chihara K, Nakai M, et al.: Chest wall motion in patient with emphysema analyzed by dynamic MRI before and after volume reduction surgery(VRS). Am J Resp Crit Care Med, 1997; 155: A520.
- 5) 日高昭斉、中井真尚、佐原寿史、他: dynamic MRIによる肺気腫症例の chest wall motionの解析. 呼吸17:1998:p156-162.
- 6) 日本呼吸管理学会呼吸リハビリテーション作成委員会、日本呼吸器学会ガイドライン施行管理委員会、日本理学療法士協会呼吸リハビリテーションガイドライン作成委員会:呼吸リハビリテーションマニュアルー運動療法一. 日本呼吸管理学会/日本呼

- 吸器学会／日本理学療法士協会、2003.
- 7) 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。19(3)：2004：p237-243.
- 8) Kondo T, Kobayashi I, Taguchi Y, et al: A dynamic analysis of chest wall motions with MRI in healthy young subjects. *Respirology*, 5(1)：2000：p19-25.
- 9) 小谷俊明、南 昌平、他：トライボールを用いた呼吸訓練効果の検討—Dynamic MRI を用いた胸壁、横隔膜運動の解析—。リハビリテーション医学 42 (Suppl)：2005：S277.