

総説：秋田大学保健学専攻紀要25(1)：71-97, 2017

各種疾患患者における呼吸筋トレーニングの効果とそのエビデンス

佐々木 誠

要 旨

呼吸器疾患患者や他の一部の疾患患者は呼吸筋の筋力低下を経験する。吸気筋の筋力低下は、様々な疾患の特異性により種々の原因で生じ、息切れや運動障害を招き日常生活活動 (activities of daily living : ADL) の能力や生活の質 (quality of life : QOL) を低減させる。また呼気筋の筋力低下は、咳嗽の能力を制限し気道内分泌物を貯留させて、あるいは誤嚥を生じさせて呼吸器合併症のリスクを高める。呼気筋の筋力低下に伴う呼気筋疲労は、運動時やADL中の呼吸をより努力的なものにして、運動能力、ADLの能力、QOLを低下させる可能性がある。最新のステートメントでは、吸気筋トレーニング (inspiratory muscle training : IMT) は呼吸リハビリテーションの中の検討すべき項目の1つとされている。IMTの効果に関して、多くの臨床試験といくつかのシステマティックレビューやメタアナリシス、コクランライブラリーがあり、ガイドラインやステートメントで取り上げられている。一方、呼気筋トレーニング (expiratory muscle training : EMT) の効果については、報告が比較的少なくエビデンスの構築は十分とは言えない。本稿では、IMTとEMTの呼吸筋力・筋持久力、自覚症状、呼吸機能、咳嗽の能力、運動能力、ADLの能力、QOL、その他に対する効果とそのエビデンスについて疾患別に言及する。

I. はじめに

慢性閉塞性肺疾患 (chronic obstructive pulmonary disease : COPD) 患者をはじめとした呼吸器疾患患者や他の一部の疾患患者は呼吸筋の筋力低下を経験する。吸気筋の筋力低下は、様々な疾患の特異性により種々の原因で生じ、息切れや運動障害を招き日常生活活動 (activities of daily living : ADL) の能力や生活の質 (quality of life : QOL) を低減させる。また呼気筋の筋力低下は、気道清浄化に必要な咳嗽の能力に影響し、運動時やADL中の呼吸をより努力的なものにして、運動能力、ADLの能力、QOLを低下させる可能性がある。

American Thoracic Society (ATS) と European Respiratory Society (ERS) の最新のステートメント¹⁾では、吸気筋トレーニング (inspiratory muscle training : IMT) は呼吸リハビリテーションの中の検討すべき

項目の1つとされている。IMTにはデバイスを用いる方法と腹部重錘負荷法 (abdominal pad method) がある。インセンティブスパイロメーター、P-flex, Threshold-IMT, POWERbreatheなどのデバイスを使用する方法には、高換気で吸気抵抗を加えない過換気法、流量制限負荷あるいは圧閾値負荷を加える吸気抵抗負荷法がある。過換気法は吸気筋の低強度・高速度での収縮により吸気筋持久力を向上させること、吸気抵抗負荷法は吸気筋の高強度・低速度での収縮により吸気筋力を増加させることを、それぞれ主目的としている。腹部重錘負荷法は背臥位で腹部の上に重量物を載せて吸気抵抗を付加するものである。デバイスを使用する方法は広く普及しており、世界各国で実施されている。一方、腹部重錘負荷法はCOPD患者や喘息患者、脊髄損傷患者、胸部手術患者、肺高血圧症患者に対する適用が散見される程度である。呼気筋トレーニング (expiratory muscle training : EMT) については、

* 秋田大学大学院医学系研究科保健学専攻

Key Words: 呼吸筋トレーニング
各種疾患患者
エビデンス

IMTと比較して効果を検討した報告やエビデンスを示した論文に限りがある。

呼吸筋トレーニングの効果は英文の学術誌で発表した嚆矢はLeithとBradley²⁾である。1976年、LeithとBradleyは、吸気筋力トレーニングと吸気筋持久力トレーニングが、吸気筋力と吸気筋持久力をそれぞれ特異的に増大させることを、健常者で見出した²⁾。その後、多岐にわたる疾患患者を対象に、IMTならびにEMTの効果についての検討がなされている。デバイスを用いたIMTの効果のエビデンスに関して、1992年以降システムティックレビュー³⁻¹⁶⁾やメタアナリシス¹⁷⁻⁴¹⁾、コクランライブラリー⁴²⁻⁴⁷⁾があり、American College of Chest Physicians (ACCP)とAmerican Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation (AACVPR)のガイドライン⁴⁸⁾やATSとERSのステートメント¹⁾で取り上げられている。EMTの効果についてのエビデンスは、2006年のメタアナリシス⁴⁹⁾で最大呼気筋力を増強するが咳嗽の能力に対する効果は不明であるとされて以降、いくつかのシステムティックレビュー^{6, 10, 12, 23)}とメタアナリシス^{25, 32-34, 40, 41)}、コクランライブラリー⁴⁴⁾が発表されている。デバイスを用いたIMTにかかわる臨床試験は、呼吸器疾患患者、慢性心不全患者、頸髄損傷患者、神経筋疾患患者、胸腹部手術の術前・術後、人工呼吸器装着中のウィーニングなどで実施されている⁴⁸⁾。その効果として吸気筋の筋力・筋持久力を増大し、自覚症状を軽減し、運動能力を高め、ADLの能力やQOLを向上することなどが期待される。EMTによる臨床試験は、COPD患者、頸髄損傷患者、神経筋疾患患者、心臓外科患者、脳卒中患者で行われている。EMTは咳嗽の能力を高め、気道の清浄化を促進して呼吸器疾患の改善と合併症の予防をもたらす、呼吸筋疲労を緩和することで呼吸困難感、運動能力、ADLの能力、QOLなどを向上させることが期待できる。

本稿では、デバイスを使用したIMTおよびEMTの呼吸筋力・筋持久力、自覚症状、呼吸機能、咳嗽の能力、運動能力、ADLの能力、QOL、その他に対する効果とそのエビデンスについて疾患別に言及する。

II. 慢性閉塞性肺疾患患者における呼吸筋トレーニングの効果

1. 吸気筋トレーニングの概要

COPD患者では、肺過膨張が横隔膜を短縮、平坦化させることによる吸気圧の発現の阻害、吸気筋の非活動、栄養障害に伴って吸気筋の筋力低下が生じる。この改善のためにIMTが行われる。Andersenら⁵⁰⁾は、

1979年にCOPD患者を対象としたIMTの種々の効果を国際的な学術誌で初めて公表した。以降、現在に至るまでCOPD患者における検討は、数多くなされ⁵¹⁻⁹⁶⁾各種疾患患者の中で最も多く報告されている。

COPD患者におけるIMTは、過換気法、流量制限負荷を加える方法、圧閾値負荷による方法が適用され、最大吸気筋力の20~80%の吸気抵抗負荷で、一日あたり1~2回で総時間14~60分間あるいは総回数30~60呼吸、週3~7日、3週間~15カ月間実施されている。

2. 吸気筋トレーニングの種類

IMTの種類に関して、Hsiaoら⁷⁷⁾は圧閾値抵抗負荷のThresholdとターゲットを設定した抵抗負荷であるインセンティブスパイロメーターでのトレーニング効果を比較している。いずれのトレーニング群も吸気筋の筋力ならびに筋持久力、6分間歩行距離が向上したが、6分間歩行試験中の心拍数、呼吸数、Borgスコア、および健康関連QOLは変化がなかったとしている。そして、ターゲット抵抗負荷デバイスでのトレーニングは、圧閾値抵抗負荷デバイスでのIMTと同様に効果的であると結論づけている。またHeydariら⁸⁹⁾は、Thresholdとインセンティブスパイロメーターによるトレーニングの効果を比較している。トレーニング期間後、両群ともに最大吸気筋力、1秒量や努力性肺活量、最大換気量、最大呼気流速値などの呼吸機能の改善を認めている。Thresholdでのトレーニングは吸気筋力と最大換気量の改善に対してより有効であり、インセンティブスパイロメーターでのトレーニングは最大呼気流速値の向上に対してより効果的であるとしている。近年、電子工学的にバルブの抵抗を調整するtaper型デバイスが開発され、Thresholdと効果が比較されている⁹²⁾。Taper型デバイスを用いた方が8週間のトレーニング期間に抵抗をより強く漸増させることができ、吸気筋力と吸気筋持久力がより増強したとの結果が得られている。

IMTの方法として、吸気筋のインターバルトレーニングの効果を検討したトライアルがある。Sturdyら⁷⁸⁾、Hillら^{82, 84)}、Basso-Vanelliら⁹³⁾は、2分の吸気抵抗負荷トレーニングと1分の休憩を7サイクル繰り返す計20分間のIMTを実施している。インターバルトレーニングによって吸気筋の筋力・筋持久力、呼吸困難感、運動能力、QOLなどの改善を認めている。

3. 吸気筋トレーニングの負荷強度

IMTの抵抗負荷強度について、Larsonら⁵⁷⁾は最大吸気筋力の30%負荷群と15%負荷群を比較検討している。両群とも呼吸機能、吸気負荷中の1回換気時間に

対する吸気時間と呼吸筋疲労、自覚症状、健康状態などは変化がなかったが、吸気筋力、吸気筋持久力、12分間歩行距離は15%負荷群で変化がなく30%群で増大、延長したとの結果を得ている。BelmanとShadmehr⁵⁸⁾は、吸気に対する高強度抵抗負荷群と低強度抵抗負荷群で6週間のトレーニングの効果を比較している。両群とも呼吸機能、呼吸パターン、吸気負荷中の吸気時間、1回換気量、平均吸気流速などは変化しなかったが、低強度抵抗負荷群では変化しなかったのに対して高強度抵抗負荷群は、最大吸気筋力、吸気筋持久力、呼吸抵抗負荷中の吸気圧、最大仕事量、最大吸気流速が上昇したと報告している。Preusserら⁶⁷⁾は最大吸気筋力の約52%の吸気抵抗負荷を加えた高強度群と約22%の負荷を加えた低強度群のトレーニング効果について言及している。高強度群では最大吸気筋力、漸増吸気筋運動試験の測定値、吸気筋持久力、12分間歩行距離が改善し、低強度群では後者3項目の向上が認められ、群間差はなかったとしている。さらにLisboaら⁶⁸⁾は、最大吸気筋力の30%の抵抗負荷群と約12%の抵抗負荷群でトレーニングの効果を比較検討している。30%群は最大呼吸筋力、吸気筋持久力、最大吸気流速、6分間歩行距離、日常における呼吸困難感、吸気負荷中の呼吸パターンが改善したのに対して、約12%群はいずれも改善しなかったとしている。中強度以上の抵抗負荷（少なくとも最大吸気筋力の30%）でのIMTが推奨されるのに対して、塩谷ら⁵⁾は20%の低負荷でのトレーニングでも最大吸気筋力が増すとしている。

4. 吸気筋トレーニングの時間・回数と頻度

トレーニングの時間と頻度に関して、最も多いのは一日15分を2回、ならびに週5～7日行わせるものである。最も短い時間設定のトライアルは一日15分を1回^{56, 90)}、長いものは15分を4回⁶⁰⁾あるいは1時間⁷⁶⁾実施させている。Levineら⁵⁶⁾は一日15分を週5日、6週間IMTを行わせ、呼吸筋持久力は向上したが、呼吸機能、運動能力、ADLの能力、心理状態は変化しなかったとしている。Bavarsadら⁹⁰⁾は一日15分を週6日、8週間トレーニングさせ、呼吸機能は変化がなかったが、6分間歩行距離が延び、6分間歩行試験中の呼吸困難感が減少したと報告している。Patessioら⁶⁰⁾は一日計60分のIMTを8週間施行させ、呼吸機能は改善しなかったが、吸気筋の筋力・筋持久力が増大し吸気抵抗負荷中の呼吸困難感が減少したとしている。Weinerら⁷⁶⁾は60分のIMTを12週間行わせ、吸気筋の筋力・筋持久力、6分間歩行距離、日常の呼吸困難感、吸気抵抗に対する耐性が改善したと報告してい

る。トレーニング時間ではなく呼吸回数で規定する方法^{86, 92, 95, 96)}も行われている。Huangら⁸⁶⁾は最大吸気筋力の75～80%の負荷強度で一日6呼吸を4セット、週5日、6週間、Langerら⁹²⁾は最大吸気筋力の40%から耐え得るまで漸増させた強度で30呼吸を一日2回、8週間、Charususinら⁹⁵⁾は耐え得る負荷強度で一日30呼吸を2セット、8週間、大倉ら⁹⁶⁾は最大吸気筋力の40～50%の強度で30呼吸を一日2回、12週間、IMTを実施させている。吸気筋力、日常の呼吸困難感、運動能力、運動時の呼吸パターン、QOLなどが改善したとの結果が示されている。

5. 吸気筋トレーニングの期間

IMTの期間は最短で3週間⁹¹⁾あるいは4週間^{53, 54, 89)}、最長で12カ月⁸¹⁾ないしは15カ月⁷⁹⁾である。4週間のトレーニング期間により呼吸筋力^{53, 54, 89)}、吸気筋持久力⁵⁴⁾が増大することが示されている。しかし、呼吸困難感⁵³⁾、運動能力⁵⁴⁾、ADLの能力⁵³⁾は改善しなかったとされている。対して、12カ月間トレーニングを実施させたトライアル⁸¹⁾では、吸気筋力が改善、6分間歩行距離が延長、吸気抵抗負荷中の呼吸困難感が減少し、QOLの向上と入院日数、外来通院回数の減少が認められたと報告されている。15カ月間IMTを行った検討⁷⁹⁾では吸気筋の筋力・筋持久力が増大し続け、6分間歩行試験において歩行距離が延長し続け、呼吸困難感が軽減され続けることが見出されている。IMTの呼吸筋力に及ぼす最短期間について、Dekhuijzenら⁶³⁾は、最大吸気筋力の70%の負荷強度で一日15分を2回トレーニングをした場合、4週目の測定ですでに吸気筋力が増大していたことを提示している。さらにLisboaら⁷¹⁾は、最大吸気筋力の30%の負荷で30分間、週6日IMTを実施すると最大吸気筋力の増加が2週目から認められたとしている。

6. 吸気筋トレーニングの効果

COPD患者のIMTによる帰結の測定項目は、呼吸機能、吸気筋力、吸気筋持久力、安静時・日常活動中・吸気抵抗負荷中・運動試験中の呼吸困難感、一定時間歩行試験・最大運動負荷試験・亜最大運動負荷試験による運動能力、ADLの能力、健康関連QOLなど、多岐にわたる。

呼吸機能に関して、1秒量や肺活量、最大換気量などは多くの報告で改善を認めず^{51, 52, 56-60, 70, 75, 76, 78, 82, 83, 85, 90, 92-94)}、上昇したとする臨床試験^{88, 89)}は希少である。1980年代の検討では、吸気筋力・筋持久力の増大を認めたとする報告^{50, 52-60)}と認めなかったとする報告^{51, 52, 55, 59)}があるが、1990年代以降はIMTの方法が確立され比

較的良好な結果が得られている^{62-64, 67-69, 71-89, 92, 93, 95, 96}。呼吸困難感はIMTにより軽減されるとする報告^{50, 60, 71, 73, 76, 78, 79, 81-83, 85-88, 90}が多いが、緩和されないとする報告^{53, 66, 70, 95, 96}も見受けられる。運動能力については改善したとの報告^{52, 57, 61, 63, 67, 68, 70, 71, 73, 75-82, 85, 87, 88, 90, 93, 95, 96}と変化がなかったとする検討^{51, 54-56, 59, 61, 64-66, 74, 83, 86, 94}がある。ADLの能力については、IMTによって変化がなかったとする報告^{53, 61, 63}がある一方で、息切れなしでADLを遂行できるようになったとした報告⁵⁰がある。QOLに関してはIMTによって向上したとの報告^{78, 81-83, 86}がある。他の帰結評価の項目として、心理状態に変化がなかったとするもの⁵⁶、機能障害、気分、健康状態、自覚症状に有効でなかったとするもの⁵⁷、身体の状態や気分の状態に改善を認めなかったとするもの⁶⁵、不安や抑うつが改善しなかったとする報告⁶¹がある。また、横隔膜をはじめとした呼吸筋の筋電図の測定から呼吸筋疲労の発生しやすさが改善したとする報告^{50, 52, 63}がある。Ramírez-Sarmientoら⁷⁴は外肋間筋の筋生検を実施し、IMT後、タイプI線維の比率が約38%増加し、タイプII線維のサイズが約21%増大したことを示し、これが吸気筋の筋力・筋持久力の改善の要因であるかもしれないとしている。さらに呼吸様式に関して、変化がなかったとするもの⁵⁸、運動中あるいは吸気抵抗負荷中の1回換気時間に対する吸気時間が減少し吸気筋の瞬発的な収縮機能が高まったとする報告^{59, 72, 84}、吸気負荷中の1回換気量が増加し、1回換気時間に対する1回換気量が高値となり、吸気時間が短縮し、これらは吸気流速の増加と吸気筋の収縮速度の改善を示唆するとしたもの⁶⁸、全肺気量に対する最大吸気量が増加し、肺過膨張が軽減されたとの報告^{85, 87}、分時換気量に対する呼吸数が減少し呼吸パターンが改善したとする報告⁸⁷、最大分時換気量の増大を認め、これは最大運動負荷時の1回換気量の増加と呼吸数の減少に由来するとの報告⁹⁵がある。

7. 運動トレーニング・呼吸リハビリテーションへの吸気筋トレーニングの追加効果

運動トレーニングや呼吸リハビリテーションプログラムにIMTを加味した場合の効果について報告されている。Wankeら⁶⁹は、運動トレーニング群に比べて運動トレーニングにIMTを併用した群では、吸気筋力、吸気筋持久力が増大し、最大運動負荷試験における最大パワー出力、最大酸素摂取量が高くなったとしている。Toutら⁸⁸は、運動トレーニングを含むリハビリテーションプログラムを実施した群とリハビリテーションプログラムにIMTを加えた群とを比較している。その結果、IMT併用群では最大吸気筋

力、一部の呼吸機能、6分間歩行試験の成績、QOLがより改善したと報告している。またMajewska-Pulsakowskaら⁹⁴は、IMT群、自転車エルゴメーターでのトレーニング群、これらの併用群、対照群を比較し、併用群はIMTや有酸素トレーニングを単独で行った群では認めなかったQOLの改善があったとしている。しかし、IMTを併用した他の多くのトライアル^{61, 63, 64, 70, 73, 80, 83, 91}では吸気筋の筋力・筋持久力が増大したとしても、呼吸困難感や運動能力、ADLの能力などに対する効果はなく、IMTの追加効果は認めないとしている。

8. 吸気筋トレーニングの効果の継続期間

IMTの効果がどのくらいの期間継続するののかについて、示唆に富む検討がなされている。Dekhuijzenら⁶¹は10週間のIMTの効果を1年後に再評価し、12分間歩行距離の延長がフォローアップ期でも維持されていたとしている。Weinerら⁷⁹は3カ月間のIMTを行わせ、その後12カ月間はIMTを継続する群と中止する群を設けて3カ月毎の測定値を比較している。呼吸筋の筋力・筋持久力の増大、吸気抵抗負荷中ならびに日常での呼吸困難感の減少、6分間歩行距離の延長は、継続群でさらに改善するか維持されているのに対し、中断群では漸次元に戻りトレーニング効果は1年以上続かないとしている。

9. 吸気筋トレーニングの効果が現れる疾病特性

IMTの効果は、動的肺過膨張、気道閉塞、吸気筋力低下の程度などのCOPD患者の個別的な特性によって影響される可能性がある。Löttersら¹⁸とGosselinkら²⁴は最大吸気筋力が60 cmH₂O以下の患者で、吸気筋力や運動能力がより改善するとしている。これを受けてBeaumontら⁹¹は、吸気筋力が60 cmH₂Oより高値のCOPD患者を対象に、最大吸気筋力の40%の負荷で3週間のIMTを実施している。これにより、吸気筋力、6分間歩行試験における距離と最大吸気量、呼吸困難感に変化がなかったとの結果を得ている。Basso-Vanelliら⁹³は、最大吸気筋力の60%以上の負荷強度で週3日、4カ月間IMTを実施させた結果、最大吸気筋力が60 cmH₂O以下のCOPD患者は60 cmH₂Oを上回る患者よりも呼吸筋力・筋持久力がより増大するが、運動能力の改善には差がなかったと報告している。

10. 吸気筋トレーニングのエビデンス

COPD患者におけるIMTの効果に関するエビデンスの記述は漸次なされてきた。初めてエビデンスを検

討したのは1992年の Smith らのメタアナリシス¹⁷⁾である。ここでは17のランダム化比較試験 (randomized controlled trial : RCT) を分析している。結論として、「気流制限のある患者のための治療戦略として IMT はほぼ支持されない。呼吸パターンと流量がコントロールされたトレーニングプログラムでの検証を要する。」とされた。1997年の ACCP と AACVPR のガイドライン⁹⁷⁾は、Smith らのメタアナリシスを参照し、「現在までのところ、呼吸リハビリテーションの基本的構成要素として呼吸筋トレーニングをルーチンで行う科学的な根拠が明らかになったとは言えない。ただし、COPD 患者の中でも呼吸筋の筋力が低下して息切れがする一部の患者では呼吸筋トレーニングの実施が考慮される。」と勧告した。また IMT を行う場合、十分な抵抗負荷 (すなわち、最大吸気筋力の30%以上) が必要であることに言及している。Smith らのメタアナリシスから10年後の2002年、Lötters ら¹⁸⁾は、最大吸気筋力の30%以上の負荷強度でトレーニングさせた15の RCT についてメタアナリシスを実施している。「IMT は呼吸筋力と呼吸筋持久力を有意に増大させる。加えて、安静時および運動中の呼吸困難感を臨床的に意味のある程度まで軽減させる。」と結論づけている。また、「運動トレーニングに IMT を併用した場合に運動能力を高める効果が有意ではなく傾向に留まるのは、吸気筋力の弱化的程度 (最大吸気筋力が60 cmH₂O 以下) が重要な要因である。」としている。翌2003年の Salman らのメタアナリシス¹⁹⁾では、COPD 患者のリハビリテーションについて広く検討がなされ、その中で IMT については IMT を単独で行った2つの RCT を採択している。結論として、「IMT を単独で施行したトライアルにおいてリハビリテーション群と対照群との間に差を認めない。」としている。2005年の Crowe らの IMT と他のリハビリテーション介入とを比較したメタアナリシス²⁰⁾では16の RCT が取り上げられている。分析の結果、「IMT は教育のみを行った場合と比較して、吸気筋と吸気筋持久力を有意に改善させる。呼吸困難感、運動耐容能、QOL に対する効果に言及するにはさらなる検討が必要である。」としている。同2005年の Geddes らのメタアナリシス²¹⁾では19の RCT が基準を満たし採択されている。「ターゲットを規定した吸気抵抗あるいは圧閾値抵抗での IMT は吸気筋の筋力と筋持久力を有意に改善し、呼吸困難感を軽減する。しかし、運動能力に対する効果は限定的であり、さらなる検討が必要である。」とされている。2006年、ATS と ERS のステートメント⁹⁸⁾が出されている。「データは決定的ではないが、IMT は主に呼吸筋力の低下した患者

に対して行われる呼吸リハビリテーションの付加的な療法である。」とされた。10年ぶりに更新された2007年の ACCP と AACVPR のガイドライン⁴⁸⁾では、「呼吸リハビリテーションに必要な構成要素として、ルーチンに IMT を実施することを支持する科学的根拠はない。」とされている。2008年の O'Brien らのシステマティックレビュー³⁾は、16の RCT を採用し、「運動介入に IMT を併用した場合、週3回以上、少なくとも8週間のトレーニングを実施すれば、吸気筋力と運動耐容能を向上させるのに有益であるかもしれない。個々の研究を検討すると、IMT が吸気筋持久力に対して追加的な便益のある効果をもたらすことが示唆される。呼吸困難感と QOL への効果についてはさらに検討が必要である。」としている。同2008年に3年ぶりに更新された Geddes らのメタアナリシス²²⁾では、16の RCT が分析に加えられている。ここでは、「ターゲットを設定した吸気抵抗負荷や圧閾値抵抗負荷、過換気法での IMT は、吸気筋力ならびに吸気筋持久力を増大し、運動耐容能や QOL を改善し、呼吸困難感を減じることが示唆される。しかし、これらの効果の臨床的な重要性については不明なままである。」と結論づけられている。2009年の Shoemaker らのシステマティックレビュー⁴⁾は15の論文を採用している。「IMT は呼吸困難感、歩行テストにおける歩行距離、健康関連 QOL を改善するが、これらの改善が吸気筋力や吸気筋持久力の増大によるかどうかは不明である。」としている。同2009年の塩谷らのシステマティックレビュー⁵⁾では、IMT は吸気筋力・筋持久力を増強し、高負荷のトレーニングでは、さらに運動耐容力、呼吸困難感を改善するが、QOL の改善については疑問が残るとされている。2010年、Thomas ら²³⁾は、在宅での理学療法介入が ADL 中の息切れに及ぼす効果について系統的にレビューしている。採択された7つの RCT のうち3つをメタアナリシスに投入している。「在宅での理学療法介入としての IMT と運動トレーニングは、ADL 中の息切れを改善するかもしれない。」としている。2011年の Gosselink らのメタアナリシス²⁴⁾は、「IMT は吸気筋力および吸気筋持久力、運動能力、呼吸困難感、QOL を改善する。」とし、分析した論文では、抵抗負荷強度が最大吸気筋力の30%以上であったこと、対象者の最大吸気筋力が60 cmH₂O 未満であったことに言及している。2013年の ATS と ERS のステートメント¹⁾では、「IMT を単独で行うといくつかの帰結に対して有益であるとのエビデンスが示されている。しかし、COPD 患者において運動トレーニングに IMT を付加することでの累加的利益については疑わしい。」とされている。2014年の

Borge らのシステマティックレビュー⁶⁾では、IMT に関する 5 つのシステマティックレビューのうち、質の高い 2 論文が呼吸困難感、疲労、QOL を改善するとしていたと報告されている。一定の見解が認められておらず、さらなる検討を要すると考えられる。

11. 呼吸筋トレーニングの効果とエビデンス

COPD 患者では、吸気筋のみならず呼気筋の筋力が低下する。呼気筋の筋力低下は、咳嗽の能力を低下させ、増加した呼吸努力のために呼吸困難感を増幅し、運動能力、ADL の能力、QOL を低下させるかもしれないと考えられている。EMT はこれらを改善することが期待され、1984年の Ambrosino ら⁹⁹⁾、2003年の Weiner ら¹⁰⁰⁾の報告以降、いくつかの検討^{76, 88, 101-104)}がなされている。Threshold などのデバイスを使用して、最大呼気筋力の15%から60%、あるいは30%から60%に漸増する負荷強度、または10%、20%、50%の強度で、一日10ないし12分、20分、10分から20分に延長、30分、1時間、週2～7日、5週間、8週間、12週間、1年間のトレーニングが実施されている。

COPD 患者に対する EMT の効果に関して、呼吸機能は変化しないが、最大呼気筋力・筋持久力が増加する^{76, 88, 99, 100, 104)}ことが示されている。12分間歩行距離あるいは6分間歩行距離は、延長したとする報告^{76, 100, 101)}と延長しなかった^{88, 99)}とする報告の両者がある。また、6分間歩行距離の延長は IMT 群よりも小さかった⁷⁶⁾との報告がある。呼吸困難感については、いくつかの論文が改善した^{88, 101, 104)}としており、Weiner らの 2 つの報告^{76, 100)}は改善を認めなかったとしている。QOL は向上する^{88, 101, 104)}ことが示されている。

Nield ら¹⁰²⁾は、最大呼気筋力の10%の負荷強度で12週間 EMT を実施した場合、最大呼吸筋力、呼吸困難感、呼吸パターン、機能的な運動の遂行能力に変化がなかったと報告している。三崎ら¹⁰⁴⁾は、最大呼気筋力の20%の低負荷で8週間の EMT を行った結果、呼吸筋力が増大し、呼吸パターンが腹式呼吸となり、呼吸困難感が緩和され、QOL が改善した症例を紹介している。効果を得るためには少なくとも最大呼気筋力の20%の強度が必要であると考えられる。Tout ら⁸⁸⁾は、週2回程度の頻度（8週間で16セッション）の EMT でも呼気筋力と QOL が改善したと報告している。トレーニング期間に関して、効果は5週目ですでに現れた¹⁰¹⁾ことが示されている。

COPD 患者を対象として、IMT に EMT を併用した場合の効果について検討した報告^{76, 88, 103)}がある。Weiner ら⁷⁶⁾は、併用群では、吸気筋力・筋持久力増

大の効果が加わるが呼気筋力・筋持久力、運動能力、呼吸困難感の改善は EMT 群とほとんど差がなく、IMT と EMT の併用は IMT 単独と比べて、追加的効果はないとしている。Tout ら⁸⁸⁾も、IMT と EMT の併用による呼吸筋力、呼吸機能、6分間歩行距離と負荷試験時の心拍数や呼吸困難感、疲労の改善が、IMT 単独群および EMT 単独群と同様であったとしており、IMT と EMT を併用することでの相乗効果はないと考えられる。

COPD 患者における EMT の効果のエビデンスに関して、2010年の Thomas らの在宅基盤の理学療法介入の息切れに対する効果を検討したシステマティックレビュー²³⁾では、呼吸筋トレーニングについて5つの文献が見出され、うち、2つの論文が EMT を検討していた。運動療法を行った2論文を含めた7論文の分析で、EMT を除いた介入（運動療法と IMT）は ADL 中の息切れを改善するとの結果が得られている。2014年、Borge ら⁶⁾はシステマティックレビューで、これまでのシステマティックレビューのエビデンスの質の評価から COPD 患者に対する呼吸練習と呼吸筋トレーニングの効果を検討している。そして、EMT 単独の効果に言及したシステマティックレビューは見出せなかったとしている。同2014年の Neves らのメタアナリシス²⁵⁾では、EMT は最大呼気筋力と最大吸気筋力を増強するが6分間歩行距離、呼吸困難感に影響を及ぼさないこと、IMT と EMT を組み合わせると最大吸気筋力と最大呼気筋力が増大することから、「EMT と、IMT と EMT を組み合わせた介入は、重症～最重症の COPD 患者の呼吸リハビリテーション中の治療の一部として活用できる。」としている。EMT の効果を検討した論文が少なく、一定した見解でエビデンスを示すには至っていないと考えられる。

III. 慢性閉塞性肺疾患患者以外の呼吸器疾患患者における呼吸筋トレーニングの効果

COPD 患者以外の呼吸器疾患患者における IMT の効果について、嚢胞性線維症による呼吸器障害¹⁰⁵⁻¹⁰⁹⁾、喘息¹¹⁰⁻¹¹⁴⁾、気管支拡張症^{115, 116)}の患者で臨床試験が行われている。

1. 嚢胞性線維症患者に対する吸気筋トレーニングの効果

嚢胞性線維症は、特定の分泌腺が異常な分泌物を生産し、それによって組織や器官、特に肺や消化管が損傷を受ける、遺伝性疾患である。呼吸器障害は、粘稠性の高い分泌物が気道を閉塞させ、慢性的な細菌感染

症や炎症が生じ、気管支拡張症を引き起こすことによって発生し、やがて生命を脅かす。嚢胞性線維症患者に対するIMTは、最大吸気筋力の40～80%の負荷で、一日20～30分間、週3～5日、4～10週間実施されている。

IMTによって、呼吸機能が改善したとの報告^{107, 109)}と、変化がないとする報告^{105, 106, 108)}がある。吸気筋の筋力や筋持久力は増大した¹⁰⁵⁻¹⁰⁹⁾とされる。超音波装置で横隔膜の厚さを測定した検討¹⁰⁹⁾では、IMT施行期間後に横隔膜の厚さが増すことが示されている。亜最大運動負荷試験、漸増運動負荷試験で測定した運動能力は、一定負荷での運動負荷試験で運動継続時間が延長したとする1つの報告¹⁰⁷⁾以外、運動継続時間、最大仕事量、酸素摂取量、換気量、心拍数に変化を認めていない^{106, 108, 109)}。主観的疲労感や日常の呼吸困難感に変化がなく¹⁰⁸⁾、不安と抑うつが改善するものの健康関連QOLが改善しなかったとする報告¹⁰⁹⁾がある。

嚢胞性線維症患者におけるIMTの効果についてのエビデンスの検討として、Reidら²⁶⁾はシステマティックレビューで、検出された36の論文のうち2つのみが基準を満たしたとしている。1秒量と努力性肺活量についてメタアナリシスを行った結果、効果を認めていない。他の測定パラメータに関しては系統的にレビューし、吸気筋機能への効果は弱いエビデンスで支持され、運動能力、呼吸困難感、QOLに対する効果については未だ不明であるとしている。また、Houstonらのコクランライブラリー⁴²⁾では、8論文、総計180名の対象者を分析に含めて検討している。その結果、「嚢胞性線維症患者に対するIMTの使用は有効とも無効とも言えず、帰結評価の項目として運動能力やQOLを取り入れたさらなる臨床試験の実施が推奨される。」としている。

2. 喘息患者に対する吸気筋トレーニングの効果

喘息患者は気道抵抗の増加と肺過膨張により、横隔膜の平坦化、吸気筋の短縮、呼吸効率の低下を呈する。喘息患者を対象としたIMTの効果の検討では、最大吸気筋力の50～80%の負荷強度で、一日30分間あるいは60呼吸、週5～6日、6週間～6カ月間トレーニングを施行させている。

1秒量と努力性肺活量が増加したとの報告¹¹⁰⁾と呼吸機能は変化しなかったとする報告¹¹⁴⁾がある。吸気筋の筋力・筋持久力が改善し¹¹⁰⁻¹¹⁴⁾、喘息発作や咳などの自覚症状が緩和され¹¹⁰⁾、吸気抵抗負荷中または運動負荷中の呼吸困難感が軽減し^{111, 113, 114)}、運動能力が向上する¹¹⁴⁾とされている。さらに、 β_2 拮抗薬の使

用量¹¹⁰⁻¹¹³⁾、入院回数や病気休暇の日数¹¹⁰⁾が減少したと報告されている。

Silvaらのコクランライブラリー⁴³⁾では、5論文が採択され、うち4論文がメタアナリシスに投入されている。その結果、「呼吸機能は改善しないが最大吸気筋力が増強される。コルチコステロイドの使用が必要な急性増悪、救急来院についての報告はなく、呼吸困難については群間比較がなされておらず、効果に否定的な1論文のみが群間比較を行っていた。 β_2 拮抗薬の使用に関する論文は3つあるが、うち2論文は対照群と比較しておらず、1論文は否定的な結果を示している。また、吸気筋持久力、来院、仕事や学校を休んだ日数について、利用できる検討はなされていない。」とされている。結論として、「喘息患者に対するIMTの効果を支持あるいは否定する決定的なエビデンスはない。」としている。

3. 気管支拡張症患者に対する吸気筋トレーニングの効果

気管支拡張症患者におけるIMTの効果を検討した論文^{115, 116)}は限定的である。Newallら¹¹⁵⁾は、最大吸気筋力の30%から60%まで漸増する抵抗負荷で、15分を一日2回、8週間、IMTを運動トレーニングと併用して実施し、運動トレーニング単独群と比較している。最大吸気筋力と運動能力は向上したが対照群との間に差を認めず、健康状態、排痰量は変化しなかったと報告している。Liawら¹¹⁶⁾は、抵抗負荷を最大吸気筋力の30%から毎週2 cmH₂O ずつ漸増する、30分間、週5日、8週間のIMTを行っている。呼吸機能、安静時と6分間歩行試験中の酸素飽和度、6分間歩行試験中のBorgスコア、QOLは改善されなかったが、吸気筋力、6分間歩行試験の距離ならびに仕事量が増加したとしている。

IV. 慢性心不全患者における呼吸筋トレーニングの効果

1. 吸気筋トレーニングの概要

慢性心不全患者の多くは、疲労や呼吸困難のため身体活動が制限される。身体活動の制限は呼吸筋の弱化をもたらすかもしれない。吸気筋力および吸気筋持久力の低下は運動耐容能に影響し、QOLや生命予後の悪化に関連する可能性がある。慢性心不全患者における吸気筋力の低下は、日常生活における呼吸困難感と相関があり¹¹⁷⁾、また、最大酸素摂取量や6分間歩行距離と関連がある¹¹⁸⁻¹²⁰⁾と報告されている。加えて、吸気筋力は生存者と比べてイベントの発生した

患者で有意に低値であり¹¹⁸⁾、吸気筋力の低下は最大酸素摂取量と同様に生存率の独立した予測因子である¹¹⁹⁾とされる。IMTの効果として吸気筋力・筋持久力の増大に伴い、疲労や呼吸困難が軽減され、運動耐容能、QOLや生命予後が改善することが期待される。慢性心不全患者を対象にIMTの効果を検討した臨床試験¹²¹⁻¹³⁸⁾は比較的多い。

慢性心不全患者におけるIMTは、過換気法ならびに吸気抵抗負荷法で、最大吸気筋力の20~60%、最大持続吸気圧の60%、あるいは10回反復最大吸気筋力の抵抗負荷強度、15~45分間あるいは10呼吸を5セット、週3~7日の頻度、4週間~3カ月間の期間実施されている。

2. 吸気筋トレーニングの効果

IMTによって努力性肺活量が増加したとの報告¹²⁴⁾と呼吸機能は変化しなかったとの報告^{133, 138)}がある。呼吸筋の筋力・筋持久力は増大を認め^{121-128, 130-138)}、最短で2週間後から吸気筋の筋力増強効果があり^{122, 126)}、3カ月間のトレーニング効果は少なくとも9カ月間持続する¹²⁶⁾とされる。6分間歩行試験、亜最大運動負荷試験、漸増運動負荷試験において、歩行距離、運動継続時間、最大酸素摂取量などが改善したとの報告^{121, 124-128, 132-135, 137, 138)}が数多くあり、変化がなかったとの報告¹²³⁾は少数である。運動後回復期間中の酸素摂取動態、酸素摂取効率勾配が改善したとの報告^{126, 131, 132)}がある。IMTにより安静時・運動中・ADL中の呼吸困難感は緩和される^{121, 122, 124, 125, 127, 128, 130, 133, 135, 136, 138)}。

慢性心不全患者においてIMTが吸気筋の筋力・筋持久力を増大して持久性運動能力を改善するメカニズムについて、呼吸努力に対する耐性を上げる効果、呼吸筋の委縮が改善され換気効率が向上する中枢性効果、骨格筋の血流が増え四肢の筋の活動能力が向上する末梢性効果の影響が考えられる。

Laoutarisら¹²⁵⁾は、IMTにより吸気筋の筋力・筋持久力が改善し運動耐容能ならびに運動中の呼吸困難感が改善した臨床試験で、超音波心臓検査を行い、トライアル前後で左室駆出分画と左室拡張期径に変化がなかったとしている。Palaurら¹³⁷⁾もIMTにより、左室駆出分画をはじめとした超音波心臓検査のデータが変化しなかったとしている。対してAdamopoulosら¹³⁸⁾は、運動トレーニングにIMTを併用したトライアルで、左室駆出分画が上昇、左室収縮期終末径が縮小したとしている。

Chiapparra¹²⁹⁾は超音波検査を行い、IMT期間後横隔膜の厚さが増したとしている。Winkelmannら¹³²⁾は、運動トレーニング群と運動トレーニングにIMTを付

加した併用群で、心肺反応を検討している。併用群は運動トレーニング単独群よりも循環パワー、酸素摂取効率勾配、換気効率、換気変動の改善が顕著であり、IMTには追加的効果があるとしている。

Bosnak-Gucluら¹³³⁾は、IMTにより大腿四頭筋の筋力が増強しバランス能力が高まったと報告している。Laoutarisら¹³⁵⁾も、運動トレーニングにIMTを併用した場合、大腿四頭筋の筋力ならびに筋持久力が運動トレーニング単独群よりも増大することを認めている。Chiapparra¹²⁹⁾は、慢性心不全患者は健常者と比較して、四肢の血流量が低下していることを見出した。そして、IMT期間後に安静時および運動時の四肢の血流が上昇することを示し、四肢の血流改善が運動能力を向上させる可能性に言及している。血流改善の背景に自律神経活動の変化が関与しているかもしれない。Laoutarisら¹²⁸⁾はIMTによって前腕の血流が変化せず、自律神経活動を推測する心拍変動も変化しなかったとしている。しかし、Melloら¹³⁴⁾は、IMTにより心拍変動の高頻度成分に対する低頻度成分が低値となることを示し、これは筋の交感神経活動が低下したことを意味しているとしている。

IMTが持久性の運動能力を向上させるメカニズムについては、ここ10年で検討されるようになってきており、今後、さらなる検討が必要と考えられる。

慢性心不全患者におけるIMTの効果として、健康関連QOLが向上したとの報告^{125, 126, 133, 135)}と、向上しなかったとの報告^{123, 136)}がある。また、自己効力感を検討し改善を認めなかったとする報告¹³⁰⁾がある。

IMTの生命予後に及ぼす影響について直接測定した報告はないが、生命予後に関与するバイオマーカーの変化が検討されている。Laoutarisら¹²⁷⁾は、いくつかの炎症マーカーのうち溶解性TNF受容器IがIMTによって減少したとしている。Marcoら¹³⁶⁾は、IMT後に前脳性ナトリウム利尿ペプチドの変化を認めず、ヘモグロビン、クレアチニン、腎糸球体濾過値、クレアチンキナーゼ、アルブミンが変化したとしている。前脳性ナトリウム利尿ペプチドがIMTによって不変であるのはLaoutarisら¹²⁸⁾の報告も同様である。

3. 吸気筋トレーニングのエビデンス

慢性心不全患者におけるIMTのエビデンスとして、Linら⁷⁾は、2012年の12論文を採択したシステマティックレビューで、「慢性心不全患者におけるIMTは有効である。その有効性には吸気筋力ならびに吸気筋持久力の増大、運動能力の改善、呼吸困難感の減少、QOLの向上が含まれる。」としている。同2012年のSbruzziらのシステマティックレビュー⁸⁾では、4つ

の RCT を採用し「IMT は QOL に対する追加的効果はない。」と結論づけている。同2012年の Chen らのメタアナリシス²⁷⁾は、4 論文の解析から「IMT により最大下の運動能力を改善することが示唆される。」としている。同じく2012年の Plentz らの7つの RCT をメタアナリシスした論文²⁸⁾では、「エビデンスは低いものの、IMT は吸気筋力を増加させ、運動能力を改善する。」としている。2013年の Smart らのメタアナリシス²⁹⁾では11の RCT が基準を満たしている。総計287名の対象者が含まれ、「IMT により最大吸気筋力、最大酸素摂取量、6分間歩行距離、二酸化炭素排出量に対する分時換気量の勾配、QOL が改善する。」とされている。翌2014年の Montemuzzo らのメタアナリシス³⁰⁾は9つの RCT を含み、「吸気筋力が低下した慢性心不全患者において、IMT は6分間歩行距離、最大酸素摂取量を改善する。」と結論づけている。2016年の Neto らのメタアナリシス³¹⁾では3つの RCT が抽出され、「運動トレーニングに IMT を組み合わせて施行した場合、運動トレーニングを単独で実施した場合よりも吸気筋力が増大し QOL が改善するが、最大酸素摂取量と運動持続時間には差がない。」としている。多くのシステマティックレビュー、メタアナリシスが、症例数が少なく研究の質が十分ではなく長期的な帰結を検討していないため、さらなる RCT の構築が必要としている。

V. 頸髄損傷患者における呼吸筋トレーニングの効果

1. 吸気筋トレーニングの概要

頸髄損傷患者は、損傷された髄節レベルに応じて横隔膜や肋間筋、腹部筋、呼吸補助筋の機能不全が生じ、これにより呼吸機能が低下し咳嗽や気道清浄化の能力が阻害される。これらの異常によって、低換気、無気肺、気道内分泌物の貯留、呼吸器感染症、ガス交換の障害などの呼吸器合併症が発生するかもしれない。呼吸器合併症の発生は生存率に影響する。また、呼吸筋の筋力や筋持久力の低下によって、呼吸筋疲労が容易に起こり、安静時ならびに活動時の呼吸困難がもたらされる。呼吸筋疲労や呼吸困難は、運動能力および ADL を制限し、ひいては QOL を低下させる可能性がある。頸髄損傷患者に対する IMT は、このような障害を改善するものと期待され、実施¹³⁹⁻¹⁵⁶⁾されている。

頸髄損傷患者における IMT は過換気法、吸気抵抗負荷法、腹部重錘負荷法により、最大吸気筋力の30～60%あるいは最大持続吸気圧の85%の負荷で、一日15～60分、週3～7日、4～16週間行われている。また、インセンティブスパイロメーターを使用して、最

大吸気位の保持を10回×5セット、8週間施行させた報告¹⁵⁶⁾がある。

2. 吸気筋トレーニングの効果

IMT の施行により、呼吸機能に変化がなかったとする報告^{147, 152, 154, 155)}があるものの、肺活量、努力性肺活量、1秒量、最大呼気流速、最大換気量のいずれかが増したとの報告^{140, 141, 143-146, 148, 156)}が多数ある。肺気量分画に関しては、全肺気量や予備呼気量、最大吸気量が増加し^{140, 141, 144)}、残気量が減少した¹⁴⁰⁾との報告がある。IMT によって吸気筋の筋力・筋持久力は増大を認める^{139, 140, 144, 146-149, 151-155)}が、トレーニング前後での比較、対照群との比較で有意差がなかったとする報告^{142, 147)}がある。最大吸気筋力の増大を認めたとする検討の1つでは、横隔膜の厚さが増した¹⁵⁴⁾とされている。胸郭可動性は、改善したとの報告¹⁴⁸⁾と変化しなかったとの報告¹⁵³⁾がある。呼吸数、1回換気量、1回換気時間に対する吸気時間、吸気時間に対する1回換気量で測定した呼吸パターンは変化しなかった¹⁴²⁾とされている。安静時の呼吸困難感は、緩和されるとの報告¹⁴⁸⁾と改善を認めないとの報告¹⁴⁶⁾がある。日常活動中の呼吸困難感を検討した報告では、IMT の効果を認めなかった¹⁵⁴⁾としている。IMT によって肺の不調や呼吸器合併症が減少したとの報告¹⁴⁹⁾と、IMT は呼吸器合併症の発生に影響しないとする報告¹⁵⁵⁾がある。咳をする、鼻をかむ、息切れなどの呼吸に関連するパラメータは改善した¹⁵²⁾とされている。上肢エルゴメトリーでの最大酸素摂取量は増加を認めており¹⁴⁷⁾、車椅子駆動のパフォーマンス能力の測定でも成績の向上を認めている¹⁵⁰⁾。IMT の期間後、精神的な健康状態が良好になったとの報告¹⁵⁵⁾がある。QOL については IMT により、身体要素が向上したとの報告¹⁵²⁾と改善しなかったとする報告^{153, 155)}がある。

頸髄損傷患者における IMT の効果の継続期間に関して、吸気筋力の増大は4カ月後まで継続する¹⁴⁹⁾、6カ月後には効果が失われる¹⁴⁶⁾、1年以上¹⁵⁵⁾あるいは5年後まで¹⁴⁰⁾効果は持続しないと報告されている。呼吸機能や肺気量分画の改善は、6カ月後には効果がなくなるとする報告¹⁴⁶⁾と1年後ないし5年後まで継続されるとの報告¹⁴⁰⁾がある。

3. 吸気筋トレーニングのエビデンス

頸髄損傷患者を対象とした IMT の効果のエビデンスについて、Brooks ら⁹⁾は2005年、システマティックレビューで3つの RCT が採用され、抵抗負荷装置を用いて15分以上、一日2回、週5～7日、6～8週間の IMT が実施されているとしている。いずれの臨床

試験でも吸気筋の筋力・筋持久力に対する効果を認めず、1論文のみが呼吸困難感と呼吸機能に対して肯定的な効果を報告しているとしている。2006年のVan Houtteらのシステマティックレビュー¹⁰⁾では、呼吸筋トレーニングを含む6つのRCTが基準を満たし、うち4論文がIMTを施行している。「呼吸筋トレーニングは、肺活量、残気量を改善する傾向にあるが、吸気筋力、呼吸筋持久力、QOL、運動遂行能力、呼吸器合併症に対する効果については十分なデータがない。」としている。2008年のSheelらのシステマティックレビュー¹¹⁾は、運動トレーニングとIMTの効果について検討している。採択された13論文のうち、8論文がIMTに関するものであり、3つのRCTを含んでいる。RCT(レベル1)から症例報告(レベル5)までの5段階の中のレベル4の研究の質で、「脊髄損傷患者を対象としたIMTは、呼吸困難を軽減し呼吸機能を改善するかもしれない。」としている。2013年のBerlowitzとTamplinのkokランライブラリー⁴⁴⁾では11のRCTが採用され、うち9論文がメタアナリシスに投入されている。「脊髄損傷患者においてIMTは、肺活量、最大吸気筋力に対する効果があり、1秒量や呼吸困難に対しては効果がない。QOLに関しては3論文が検討しているが測定方法が異なり結論づけることができず、呼吸器合併症に対する効果については報告が少なく分析できない。」としている。TamplinとBerlowitzの2014年の呼吸筋トレーニングを含むメタアナリシス³²⁾では11のRCTが分析に用いられ、うち8論文がIMTに関するものである。「研究の数が比較的少ないものの、四肢麻痺患者において最大吸気量、肺活量、呼吸筋力、最大換気量を増加させる。」とされている。エビデンスについて検討した論文の多くが、研究の質や対象症例数、臨床試験の数の問題を指摘し、さらなる検討の必要性を記述している。

4. 呼吸筋トレーニングの効果とエビデンス

頸髄損傷患者は、低下した咳嗽の能力により気道清浄化が上手く行えず、無気肺や肺炎を生じ、場合によっては死亡に至る危険性が高い。EMTは、このような一連の流れを解消するかもしれないと考えられ、実施^{157, 158)}されている。

脊髄損傷患者(損傷髄節レベル:C₄~T₁)におけるEMTは、デバイスを用い、最大呼気筋力の60%から漸増させる負荷強度などで、一日30分または20呼吸、週5~6日、6~8週間行われている。

EMTによって、最大呼気筋力^{157, 158)}と最大吸気筋力¹⁵⁸⁾が増大するが、呼吸機能は、肺活量が増したとする報告¹⁵⁷⁾がある一方で、努力性肺活量、1秒量、

呼気予備量が対照群と同程度しか上昇せず、最大吸気量、全肺気量、機能的残気量、残気量が変化しなかった¹⁵⁸⁾とされている。

2006年のVan Houtteらの頸髄損傷患者に対する呼吸筋トレーニングの効果に関するシステマティックレビュー¹⁰⁾では、IMTに関する5論文が採択されEMTの検討としてはGoundenらの論文¹⁵⁷⁾だけが用いられている。EMTにより最大呼気筋力と肺活量が増加したとの内容に留まっている。2013年のBerlowitzとTamplinのkokランライブラリー⁴⁴⁾では、IMTについての論文に、EMTにかかわるGoundenらの論文¹⁵⁷⁾とRothらの論文¹⁵⁸⁾を含めて、11論文が採用されている。このうち、9論文がメタアナリシスに投入され、呼吸筋トレーニングは、呼吸筋力に対して効果があり肺気量に対してもおそらくは有効だが、呼吸困難感、咳嗽の能力、呼吸器合併症、入院、QOLなどに対する効果についても検討する必要があるとされている。2014年のTamplinとBerlowitzのメタアナリシス³²⁾では、前述した2論文^{157, 158)}がデバイスを使用したIMTなどの効果をみた9論文とともに分析に加わり、最大呼気筋力と肺活量に対して有効であり、努力性肺活量に対しては効果がないとされている。論文数が少なく、帰結評価が呼吸筋力と呼吸機能のみであり、現段階では広くEMTのエビデンスを示すことはできていない。

VI. 神経筋疾患患者における呼吸筋トレーニングの効果

1. 吸気筋トレーニングの概要

神経筋疾患患者では呼吸筋機能の進行する障害が治療上の問題の1つとなる。胸壁と肺のコンプライアンスが低下し、弱化した呼吸筋に対する機械的負荷が増加する。負荷と呼吸筋の能力の不均衡は、疲労と呼吸不全をもたらすかもしれない、死亡に至らしめることもある。IMTは神経筋疾患患者のこのような経過を改善する可能性がある。

神経筋疾患患者を対象にIMTを実施した臨床試験¹⁵⁹⁻¹⁷⁹⁾では、過換気法と吸気抵抗負荷法が用いられている。最大吸気筋力の30~80%の抵抗負荷で、一日あたり10~30分間あるいは20~60呼吸、週3~7日、4週~32カ月間施行されている。

2. 吸気筋トレーニングの効果

神経筋疾患患者において、肺活量や1秒量、最大換気量などの呼吸機能に変化しなかったとする報告^{159-163, 165, 167, 168, 171-173, 175-177, 179)}と改善したとする報告^{164, 166, 169, 172, 174)}がある。吸気筋の筋力あるいは筋持久

力は IMT によって向上したとする報告^{159, 160, 164-174, 176, 179}が多く、変化しなかったとする報告^{161, 163, 175, 177}は少ない。血ガスデータを測定した検討では IMT 前後で変化がなかった^{165, 175}とされている。IMT によって、呼吸困難感が軽減した^{166, 173}との報告がある。対して、IMT 中や日常活動中の呼吸困難感¹⁷⁷、ADL 中の疲労^{171, 174}、身体努力¹⁷¹が不変であったとの報告がある。胸郭可動性と呼吸パターンについて検討したトライアルでは、上部胸郭の拡張と縮小が増し、1 回換気量に対する呼吸数が低値となり、良好な効果が得られている¹⁷²。運動能力については、6 分間歩行距離^{175, 176}、歩行速度¹⁷⁶、Sit-to-stand test¹⁷⁶と機能的階段昇降テスト¹⁷⁶の成績に変化がなかったとされる。QOL に関しては変化を認めなかったとする報告^{172, 173, 175, 179}がある。ポリオ患者では健康状態が改善した¹⁶⁸と報告されている。また、脊髄側索硬化症患者において 8～32 カ月間の IMT は生存期間を延長するとの報告¹⁷⁸がある。

IMT 後のフォローアップに関して、増大した呼吸筋の筋力・筋持久力は、4 ないし 6 カ月間¹⁶⁰持続しないとの報告があるが、1 カ月間¹⁷¹、2 カ月間¹⁷⁵、6 カ月間¹⁶⁵維持されるとの結果を示した検討がある。2 年間 IMT を継続し長期効果を検討したトライアルでは、最大吸気筋力と最大換気量の増加は、10 カ月でプラトーとなり 24 カ月まで維持される¹⁶⁹とされている。

3. 吸気筋トレーニングのエビデンス

神経筋疾患患者に対する IMT の効果のエビデンスに関して、2013 年、Pollock ら¹⁵は 9 つの RCT でメタアナリシスを行っている。9 つのうち 4 論文が多発性硬化症、1 論文がパーキンソン病、1 論文が脊髄側索硬化症、1 論文が重症筋無力症を対象としている。これに脳卒中患者を対象とした 2 論文を含めて分析し、IMT は吸気筋力を増大させるとの結果を得ている。2014 年、Eidenberger と Nowotny¹³は脊髄側索硬化症患者について 4 つの論文でシステマティックレビューを行っている。「トライアルによって、IMT のトレーニングの開始時期、トレーニングプロトコル、帰結測定の項目が様々である。現時点で、脊髄側索硬化症患者の吸気筋強化を導くとのエビデンスは限定されている。生存期間については、1 つの研究が IMT 群で有意に長かったとしている。」とされている。Martin-Valero ら³³の 2014 年の多発性硬化症患者を対象としたメタアナリシスでは、15 論文が取り上げられている。EMT を実施した論文を含めた 6 論文が分析に用いられ、吸気筋力ならびに呼気筋力は増強されるとの結果

が示されている。2016 年の Ferreira らのメタアナリシス³⁴では、「多発性硬化症患者と脊髄側索硬化症患者について、呼吸筋トレーニングは呼吸筋力と 1 秒量を増大させる効果があるが、6 分間歩行距離の延長に対しては効果がない。」とされている。エビデンスに関するいずれの論文もさらなる検討の必要性に言及している。

4. 呼気筋トレーニングの効果とエビデンス

神経筋疾患患者では、吸気筋と同様に、症状の進行に伴い呼気筋の機能が低下していく。呼吸筋疲労は吸気筋のみならず呼気筋でも生じるため、呼気筋の機能低下によって、徐々に運動耐容能の減衰や ADL の能力の障害、QOL の低下を経験するようになるのかもしれない。また、神経筋疾患患者の多くは最終的に呼吸器合併症が生じ死亡に至る。咳嗽の能力の維持・改善は気道清浄化を助けるため、呼気筋の筋力を維持することは呼吸器合併症の発生予防の観点からも重要である。神経筋疾患患者における EMT は、呼気筋の筋力を増大し、呼吸筋疲労の程度を減少させて運動耐容能、ADL の能力、QOL を向上させ、咳嗽時の呼気流速を速めて気道内分泌物の貯留を防ぎ、無気肺や呼吸器感染症の発生を予防することが期待される。症状の進行に抗するためのこれらの効果に対する期待値は大きく、EMT に関する臨床試験は、各種疾患患者の中で神経筋疾患患者を対象としたものが最も多い。

神経筋疾患患者に対する EMT^{166, 180-200}は、Threshold などをを用い最大呼気筋力の 10%、30%、50%、60%、60～70%、75%の負荷強度、あるいは 25% から 50% に、15% から 60% に、30% から 75% に、40% から開始し 60%、80% に漸次増加させる負荷強度で、一日 30 分間、または 6 呼吸を 4 セット、5 呼吸を 5 セット、25 呼吸を 1 セットまたは 3 セット、15 呼吸を 3 ないし 5 セット、週 2～7 日の頻度で、4～24 週間の期間実施されている。

最大呼気筋力については、変化しなかったとの報告¹⁸⁴があるが、多くの報告^{182, 183, 185, 187-192, 196, 199, 200}では改善を認めている。肺活量、1 秒量、最大呼気流速、最大換気量などの呼吸機能は、改善しなかったとする報告¹⁹⁰がある一方で、多数の報告^{180, 181, 185, 192}で改善したとされる。咳嗽の能力は、向上しなかったとの報告^{185, 199}があるが、好ましい効果があったとの報告^{184, 189, 192, 199, 200}がある。加えて、疾病に伴う状態の改善があった¹⁸⁶との結果が示されている。

IMT と EMT を併用した検討では、最大吸気筋力や最大呼気筋力が増加した^{166, 183, 191, 193, 195, 197, 198}、呼吸機能に変化しなかった¹⁹⁵、対して呼吸機能が向上し

た^{166, 180, 197})とされている。また、呼気流速に改善を認めなかった¹⁹⁵)、呼吸困難感が緩和した¹⁶⁶)、呼吸負荷に対する知覚が改善した¹⁸³)、疲労が軽減した¹⁹³)、運動能力(6分間歩行試験、階段昇降テスト)が改善しなかった^{193, 197})、自己効力感や身体活動と参加の状況は変化しなかった¹⁹³)、QOLについては一部の領域で望ましい効果があった¹⁹³)と報告されている。併用トレーニングの効果の継続期間について、GozalとThiriet¹⁸³)は、6カ月間のトレーニングによって改善した最大吸気筋力は3カ月以内、最大呼気筋力は6カ月以内に元に戻り、呼吸負荷に対する知覚の軽減は12カ月間持続したとしている。

神経筋疾患患者における EMT の効果のエビデンスに関して、2013年の Reyes らのシステマティックレビュー¹²)では、パーキンソン病患者、多発性硬化症患者、脊髄側索硬化症患者を対象とした10論文が基準を満たし、うち6つが分析に値する質の高さであったとしている。EMTによって最大呼気筋力が増加し、咳嗽機能が高まることが示されている。また、パーキンソン病と多発性硬化症の患者では、呼気筋力と咳嗽の能力の改善のためには一日25呼吸以上の回数を、週5日、4週間、最大呼気筋力の40%以上の強度で実施する必要があるとしている。2014年の Martín-Valero らのメタアナリシス³³)は、多発性硬化症患者を対象に呼吸筋トレーニングを実施させた15論文を取り上げている。呼吸筋トレーニングについて、IMTを行わせた検討を含めた6論文の分析の結果、呼気筋力および吸気筋力を強化するとしている。2016年の Ferreira らのメタアナリシス³⁴)では、多発性硬化症と脊髄側索硬化症の患者で検討した IMT に関する6論文、EMTに関する2論文、併用トレーニングについての1論文の分析から、呼吸筋トレーニングは、呼吸筋力を増大させ1秒量を増加させるが、努力性肺活量、6分間歩行距離に対する効果は示されていないとされている。

VII. 胸腹部手術患者における呼吸筋トレーニングの効果

1. 吸気筋トレーニングの概要

胸腹部術後の呼吸器合併症は、さらなる罹病や死亡の重要な原因の1つであり、入院期間を遷延させ医療資源の利用を増加させる。術前術後の IMT は呼吸の状態を改善するために実施され²⁰¹⁻²²³)、呼吸器合併症の発生やこれに伴う死亡を抑制し入院期間を短縮することが期待される。

IMT の対象となる患者に施行された胸腹部手術には、冠動脈バイパス術^{202, 204, 205, 208, 212, 215, 216, 221, 223})、

弁置換術²²³)、肺切除術^{201, 203, 217, 222})、食道外科術^{203, 214, 218, 220})、肥満症に対する手術^{209, 211, 213})、その他^{206, 207, 210, 216, 217, 219})が含まれる。IMT は胸腹部手術の術前^{202-207, 209, 210, 213, 214, 218-220})、術前術後^{201, 212})、術後^{208, 211, 215-217, 221-223})に実施されている。トレーニングの使用機材は、過換気法としてインセンティブスパイロメーター、圧閾値負荷法として Threshold や ROWERbreathe が用いられている。吸気抵抗負荷法では最大吸気筋力の15~80%の負荷が設定されている。一日あたり、過換気法であれば術前30分間あるいは50回、術後1時間毎に10~20回、圧閾値負荷法であれば15~90分間あるいは30~120呼吸、週6~7日、術前2~4週間、術後数日~12カ月または期間を定めず行われている。

2. 吸気筋トレーニングの効果

インセンティブスパイロメトリーは、術前ならびに術後の実施で、術後の呼吸機能の低下^{14, 203, 209, 210, 217})、術後呼吸器合併症の発生^{14, 203, 217})、集中治療室(intensive care unit : ICU)在室の日数および人数^{203, 217})、入院日数^{203, 217})に対して効果がなかったとされる。

術前の Threshold や ROWERbreathe を使用したトレーニングは手術前までの呼吸筋の筋力・筋持久力を高めるとの多数の報告^{202, 204, 205, 210, 213, 214, 218, 220})とこれを否定する少数の報告^{206, 207})がある。また、術前のトレーニング前後で呼吸機能が向上した^{207, 214})と報告されている。術後に測定した項目の成績に関して、術前の予防的 IMT によって呼吸筋の筋力・筋持久力や呼吸機能、ガス交換能の低下が抑制されるとの報告^{202, 210, 213})と対照群との間に差がなかったとする報告^{203, 206})がある。また、術後の24時間以上の人工呼吸器管理の頻度を減少させる²⁰²)との検討結果と人工呼吸器管理の期間に群間差がなかったとする報告^{207, 219})がある。無気肺や肺炎などの術後呼吸器合併症の発生については、対照群と差がなかったとの報告^{202, 206, 207, 213, 218})と減少を認めたとするトライアル^{204, 205, 219})ならびに発生を認めなかったとするトライアル²¹⁰)がある。また、ICU在室日数が対照群と比較して差がなかったとの報告^{218, 219})がある。術後在院日数については、対照群と差を認めなかったとの検討結果^{204, 213, 218, 219})と有意に短かったとする報告²⁰⁵)がある。

術前術後あるいは術後の IMT では、術後5日²¹²)、退院時^{208, 223})、術後3カ月^{201, 221})、術後3・6・12カ月²¹⁶)の時点で最大吸気筋力が高値であったとの報告がある。手術後低下した吸気筋の筋力・筋持久力^{211, 223})、呼吸機能^{211, 215})、6分間歩行試験の能力²²³)は、数日間の経過で早く回復したとされる。2週間の

術後 IMT により、最大吸気筋力、呼吸機能、6 分間歩行試験の成績に群間差を認めなかったが、酸素飽和度が術後 3、4 日目に高値であったとの報告²²²⁾がある。3～12カ月間の比較的長期間の IMT の実施では、呼吸機能に変化がなかったが呼吸困難感や ADL の能力が改善した²¹⁶⁾とされる。また、ICU 在室期間が短縮し^{212, 215)}、術後の 6 分間歩行距離が対照群よりも長く²¹²⁾、不安が軽減し²¹²⁾、QOL の一部の要素が向上した²¹²⁾との報告がある。別の検討²²¹⁾では、3 カ月間の IMT の併用により、有酸素トレーニングと筋力トレーニングのみを行った群と比較して、呼吸筋力の増強、最大酸素摂取量の増加、QOL の改善が顕著であったとされている。術後呼吸器合併症の発生頻度や入院期間は群間差がなかった^{212, 215)}とされる。

多くの臨床試験が有害なイベントはなかった^{204-207, 218, 220, 221)}、あるいは対照群との間に有意差はなかった²²²⁾としている。

3. 吸気筋トレーニングのエビデンス

胸腹部手術患者に対する IMT の効果に関するエビデンスの検討として、2003年、Pasquina ら¹⁴⁾は広く予防的理学療法に関するシステマティックレビューを発表している。18論文が基準を満たし、うち 8 論文がインセンティブスパイロメトリーの効果を扱っている。「心臓外科手術後の呼吸器合併症予防のための呼吸理学療法の有用性は証明されていないままである。」とされている。2011年の Valkenet らのメタアナリシス³⁵⁾では、採用された12論文のうち 5 論文が胸腹部手術に関するものであった。この中の 4 論文が IMT の効果について検討している。IMT を実施していない群は術後呼吸器合併症の発生リスクが有意に高いとの分析結果を示し、「IMT を含む予防的な運動療法は、心臓外科手術ならびに腹部手術後の合併症の比率を減少し、在院期間を短縮する。」と結論づけている。2014年の Hulzebos らのメタアナリシス⁴⁵⁾では、取り上げられた 8 つの RCT のうち 5 論文が IMT を行わせていた。有酸素運動や呼吸練習を実施させた論文を含めて分析し、術前の理学療法は、無気肺や肺炎の発生を抑制し術後在院日数を短縮するが、死亡率の減少には影響しないとしている。2015年、Mans ら³⁶⁾は採択された 8 つの RCT でメタアナリシスを行っている。「トレーニング群は術前の IMT 後に最大吸気筋力が有意に高く、この効果は術後早期まで続き呼吸機能の回復を有意に早める。」としている。また「IMT は、術後呼吸器合併症の発生をかなりの程度減少させ、在院期間を短縮する傾向にある。」との結果が示されている。しかし、24時間以上の人工呼吸器管理、離床ま

での期間、歩行開始までの期間、歩行距離、健康関連 QOL、不安と抑うつ、医療にかかる費用に関しては有意な差を認めていない。以上より「術前の IMT は、術後早期の呼吸筋力、呼吸機能を有意に改善し、呼吸器合併症発生のリスクを半減する。」と結論づけている。2015年の Katsura らのメタアナリシス⁴⁶⁾は、術前の IMT の効果について分析している。12 の RCT が採用され、無気肺や肺炎の発生を減少させ在院日数を短縮するが、死亡率への寄与は不明であるとしている。2016年の Gomes Neto らの心臓外科患者に対する IMT の効果についてのメタアナリシス³⁷⁾では、8 つの RCT のうち 4 論文が術前 IMT、3 論文が術後 IMT、1 論文が術前術後 IMT を実施していたとしている。分析の結果、「術前 IMT は吸気筋力と呼吸機能を高め、術後呼吸器合併症の発生を減少させ、術後入院期間を短縮させる。術後 IMT は吸気筋力と 1 回換気量を増す効果がある。心臓外科患者における術前ならびに術後の IMT は有益である。」とされている。

4. 呼気筋トレーニングの効果

開胸による心臓・胸部手術後の患者に14日間 EMT を行わせた報告²²⁴⁾がある。30 cmH₂O の負荷強度で15分を一日 2 回実施させた群は対照群と比較して、最大呼気筋力が増加し、呼吸困難感が早く回復したとの結果が得られている。最大吸気筋力、呼吸機能、6 分間歩行距離、吸入気酸素濃度に対する動脈血酸素分圧、良好な状態 (well-being)、胸部痛の改善は、対照群と同様であったとされる。

VIII. 人工呼吸器装着患者における呼吸筋トレーニングの効果

1. 吸気筋トレーニングの概要

人工呼吸器装着患者は鎮静化や安静による吸気筋力の低下により、吸気筋疲労が生じやすく、自発呼吸の能力が制限される。吸気筋の弱化はウィーニングの失敗に関与する可能性がある。人工呼吸器管理された患者に対する IMT は、吸気筋の筋力・筋持久力を向上させることで自発呼吸の能力を高め、ウィーニングを成功へと導く効果が期待される。

人工呼吸器装着患者の IMT は、人工換気のトリガー圧を高く設定する方法²²⁵⁾、Threshold などのデバイスを人工呼吸器回路あるいは気管切開チューブに接続する方法²²⁶⁻²³³⁾で行われている。人工呼吸器のトリガー圧を高く設定する場合、一日 2 回のトレーニングを最大吸気筋力の10%の負荷で5分間から開始し、漸次40%の負荷、30分間まで負荷強度を上げ時間を延長

させている。デバイスを接続する方法では、最大吸気筋力の30%から10%ずつ漸増あるいは40%に固定、自覚的な最大努力を10としたときの6～8の負荷強度で施行している。5～10分間から開始し30分まで徐々に延長するように、あるいは6～10呼吸を3～6セット行うように実施時間・回数が設定され、週5～7日の頻度で行われている。

2. 吸気筋トレーニングの効果

最大吸気筋力またはIMTの負荷抵抗圧は、トリガー圧を設定する方法では変化がなかった²²⁵⁾とされるが、デバイスを用いた方法では増大した²²⁶⁻²³²⁾とされる。呼吸機能に関して、IMTによって肺活量が増加した²²⁶⁾と報告されている。1回換気量が増えたとの報告²³²⁾があるが、速く浅い呼吸パターンの変化は対照群と差がなかった^{228, 230, 232)}とされる。IMTによるウィーニングの成功について、IMTの影響がなかったとの報告^{225, 230, 232)}があるが、成功率が高かったとするトライアル^{226, 227, 229)}、成功に至るまでの期間が短かったとするトライアル²²⁸⁾がある。なお、10名の対象者、総計195のIMTセッションで有害なイベントの発生はなかった²³¹⁾との報告と、167のトレーニングセッションで23セッション(14%)に有害なイベント(奇異呼吸、頻呼吸、酸素飽和度低下、血行動態不安定、上室性頻拍)があったとの報告²²⁵⁾がある。

Bissettら²³³⁾は、ウィーニングに成功した後にIMTを施行した場合の効果についてRCTで検討している。最大吸気筋力の50%から漸増させる負荷強度で30呼吸を一日1回、週5日、2週間行わせた結果、最大吸気筋力が増大し、QOLが向上したが、吸気筋疲労、呼吸困難感、身体機能、ICU在室期間、ICUへの再入室の頻度は対照群と差がなく、死亡率は逆に高い傾向があったとしている。

3. 吸気筋トレーニングのエビデンス

人工呼吸器装着患者におけるIMTの効果についてのエビデンスの検討として、Moodieら³⁸⁾は2011年、採択された3つのRCTでメタアナリシスを行っている。その結果、「IMTは、人工呼吸器装着患者の吸気筋力を有意に増大させるが、人工呼吸器管理の期間の短縮、ウィーニングの成功率の向上、死亡率への効果は不明なままである。」としている。ElkinsとDentice³⁹⁾は2015年にメタアナリシスの成果を公表している。10のRCTが基準を満たし分析に用いられている。IMTが最大吸気筋力を有意に増大させ、速く浅い呼吸パターン、ウィーニングの成功、ICU在室期間、在院期間を改善することを示した。しかし、IMT

の死亡率への寄与は認めていない。

IX. その他の疾患患者における呼吸筋トレーニングの効果

前述した疾患患者以外に多種にわたる疾患患者に対してIMTが応用されている。

1. 脳卒中患者に対する吸気筋トレーニングの効果

初めて脳卒中患者を対象にIMTに関するRCTを行ったSutbeyazら²³⁴⁾の2010年の報告以来、脳卒中患者でのいくつかの検討²³⁵⁻²⁴²⁾がなされている。発症から2週間以内の急性期²³⁹⁾、12カ月以内の亜急性期²³⁴⁾、6カ月または9カ月以上の慢性期^{235-237, 240, 241)}の患者が対象である。IMTは、最大吸気筋力の30～80%の負荷強度で、一日あたり15～30分あるいは10呼吸を5セット、週3～6日、4～10週間実施されている。

急性期の患者では、最大吸気筋力と咳嗽時の最大呼気流速の改善が対照群と差がなかったことから、自然経過での回復と解釈されている²³⁹⁾。急性期の肺炎の発生について、対照群と差を認めなかった²³⁹⁾とされている。亜急性期の脳卒中患者では、呼吸筋力、呼吸機能、運動能力、呼吸困難感、ADLの能力、QOLが改善した²³⁴⁾と報告されている。慢性期の患者では、呼吸機能が増大しなかった²³⁶⁾との報告があるものの、最大吸気筋力が増大し^{234, 235)}、1秒量や努力性肺活量、努力性呼気流速、最大換気量などの呼吸機能が改善した^{234, 238)}とされている。また、慢性期患者では、努力性肺活量、1秒量、最大呼気流速が増し、6分間歩行試験の距離と終了時の呼吸困難感が改善した²³⁷⁾とされている。さらにIMTによって、麻痺側の横隔膜の厚さが増し²³⁶⁾横隔膜の厚さの左右差が軽減した²⁴⁰⁾こと、横隔膜の筋電図活動は不変であったが外肋間筋の筋電図活動が増した²³⁸⁾ことが示されている。しかし、慢性期の患者では、機能的な運動・活動の遂行能力が高まらずQOLに変化がなかった²³⁵⁾と報告されている。Chenら²⁴²⁾は、慢性心不全を伴う脳卒中患者に最大吸気筋力の30%の負荷強度での10週間のIMTを行わせ、吸気筋力、呼吸機能、ADLの能力が改善したことを示している。

2. 脳卒中患者に対する吸気筋トレーニングのエビデンス

脳卒中患者に対するIMTの効果についてのエビデンスの検討は、2012年、Xiaoら⁴⁷⁾が行っている。公表されたコクランライブラリーの中で、Xiaoらは2つのRCTを採用し、最大吸気筋力、最大酸素摂取

量, ADL の能力, QOL に対する効果と有害なイベントについて記述している。「脳卒中後の機能の改善のための効果的な療法として IMT の実施を支持する科学的根拠は十分ではなく, IMT の安全性に関する科学的根拠は示されていない。」としている。2015年の Martín-Valero らのメタアナリシス¹⁶⁾では, 6つの論文が基準を満たしている。分析の結果, IMT は吸気筋力を増大することが見出されている。2016年の Gomes-Neto らのメタアナリシス⁴⁰⁾は, 7つの RCT が基準を満たし, これらを分析した結果, 脳卒中患者の IMT は吸気筋力を増強, 呼吸機能を改善, 運動耐容能を向上させ, 重大な有害なイベントの報告はなかったとしている。同2016年の Menezes らのメタアナリシス⁴¹⁾では, 「最大吸気筋力の30~50%の負荷強度で一日30分, 週5日, 5週間の IMT を行うと, 最大呼吸筋力が増加し, 呼吸器合併症の発生が減少する。しかし, 活動や参加に対する効果は不明である。」と結論づけている。

3. 脳卒中患者に対する呼吸筋トレーニングの効果

脳卒中患者は, 咽頭機能障害により誤嚥が起りやすく, 誤嚥性肺炎に至ることも少なくない。誤嚥性肺炎の原因として咳嗽の能力の低下がある可能性がある。EMT は吸気筋力を高め, 吸気流速を速めることが想像され, 効果的な咳嗽を可能にするかもしれない。このような効果により呼吸器合併症の発生が減少することが期待され, 脳卒中患者を対象とした EMT が2010年の山下らの報告²⁴³⁾以降, 実施^{239, 244-247)}されている。

発症から2週間以内の急性期患者^{239, 245)}, 発症後3週間以内²⁴⁴⁾または6カ月以内²⁴³⁾の亜急性期患者, 発症から6カ月以上経過した慢性期患者²⁴⁷⁾, 発症後3~24カ月の在宅患者²⁴⁶⁾が対象となっている。Threshold などのデバイスを用いて, 最大吸気筋力の30%, 50%の負荷, 30%から毎週10 cmH₂O ずつ漸増, 40%から60%, 80%に段階的に増加する負荷強度で, 10呼吸を5セット(一日1, 2回), 15呼吸を3セット(一日1, 2回)の回数, 週5日の頻度で, 3週間あるいは4週間, 5週間, 8週間の期間トレーニングが行われている。

EMT により, 吸気筋力は増強し^{239, 243, 246)}, 呼吸機能が改善する²⁴³⁾と報告されている。最大吸気流速や咳嗽時吸気流速は速まるとの報告^{246, 247)}と変化しないとの報告^{239, 243)}がある。嚥下の機能は改善されず²⁴⁶⁾, 肺炎の発生は IMT 群および対照群と比べて有意差がなかった²³⁹⁾とされる。

IMT と EMT を併用した検討では, 最大吸気筋力

が増大し^{244, 245, 247)}, 最大吸気流速が速まる²⁴⁷⁾こと, 嚥下の安全性の徴候が改善した²⁴⁵⁾ことが示されている。3カ月後の誤嚥スコアならびに呼吸器合併症の発生頻度は嚥下練習のみを行った群・他と比較して有意差がなかった²⁴⁵⁾とされる。しかし, トレーニング中止後6カ月間の追跡期間で, 呼吸器感染症の発生がなかったとの報告²⁴⁴⁾がある。

脳卒中患者に対する EMT のエビデンスに関して, 2016年の Gomes-Neto らのメタアナリシス⁴⁰⁾では, 2論文が分析に投入され, その結果 EMT は最大吸気筋力を増強しないとされた。同2016年の Menezes らのメタアナリシス⁴¹⁾では, 3論文の解析に基づき, 最大吸気筋力が増加し呼吸器合併症の発生も少なくなることを示されている。

4. 脳卒中患者以外のその他の疾患患者に対する吸気筋トレーニングの効果

肺癌患者を対象とした12週間の IMT は, 呼吸困難に伴う苦痛を減じ, 呼吸困難に対するコーピング能力を向上させ, 息切れのマネジメントについての満足度を高め, QOL を改善し, 不安や抑うつを低下させる²⁴⁸⁾ことが示されている。高血糖症者は8週間の IMT 後, 血糖と HOMA- β が減少した²⁴⁹⁾とされている。心房細動のある患者では12週間の IMT で, 呼吸筋力, 呼吸機能, 6分間歩行距離が改善した²⁵⁰⁾と報告されている。慢性頸部痛患者での検討では, 呼吸筋力と呼吸機能が増大したのに加えて, 胸郭の拡張が増し頸部屈筋の筋持久力が向上, 頸部障害の指標, 痛みについての生体・心理・社会的質問票が改善した²⁵¹⁾とされている。

運動耐容能の低下が懸念される血液透析患者^{252, 253)}, 虚弱高齢者²⁵⁴⁾, 2型糖尿病患者²⁵⁵⁾, 肥満症患者²⁵⁶⁻²⁵⁸⁾, 拘束性胸郭疾患患者²⁵⁹⁾, 肺高血圧症患者²⁶⁰⁻²⁶²⁾, 造血幹移植レシピエント²⁶³⁾, 糖尿病性自律神経障害患者²⁶⁴⁾, サルコイドーシス患者²⁶⁵⁾, 強直性脊椎炎患者²⁶⁶⁾で IMT の臨床試験が実施されている。過換気法や圧閾値負荷法で最大吸気筋力の30~70%, 一日あたり14~30分あるいは45~60呼吸, 週3~7日, 4~12週間のトレーニングが行われている。

吸気筋力が増大し^{253, 255-263, 265)}, 呼吸機能が向上し^{257, 261, 266)}, 運動能力が改善した^{252-254, 256, 258, 261-263, 265, 266)}と報告されている。他の効果として, 血液透析患者では IMT により生化学検査の値, 炎症マーカーの値が改善した²⁵³⁾とされている。拘束性胸郭疾患患者ではトレーニングにより非侵襲的陽圧換気の時間が減少した²⁵⁹⁾ことが示されている。肺高血圧症患者に腹部重錘負荷法とインセンティブスパイロメーターを使用し

たIMTを行わせると、循環機能、呼吸筋力、ADL時ならびに運動時の息切れが改善した²⁶⁰⁾ことが報告されている。肺高血圧症患者に対するデバイスを用いたIMTは日常や運動時の呼吸困難感を軽減しQOLを向上させた^{261, 262)}とされている。造血幹移植レシピエントでの検討では、運動負荷試験中の呼吸困難感は軽減されるが、四肢筋力、ADL中の呼吸困難感、疲労、QOLは変化しなかった²⁶³⁾と報告されている。糖尿病性自律神経障害患者では心臓の自律神経調節が改善した²⁶⁴⁾とされている。強直性脊椎炎患者では胸郭の拡張が増加し、換気当量が減少（換気効率が上昇）した²⁶⁶⁾ことが示されている。

X. おわりに

1970年代半ばに、健常者を対象にIMTの効果が示されて以来、現在に至るまで多様な疾患患者に対してIMTが実施されている。過換気法では30分あるいは50回、吸気抵抗負荷法では最大吸気筋力の15～80%の負荷で10～90分間または30～120呼吸、週3～7日、2週間～32カ月間の施行が設定されている。IMTの効果をj得るためには、患者の個別的な特性を考慮して対象を選択し、適切な方法、負荷強度、時間または回数、頻度で、一定期間継続することが必要である。期待される効果として吸気筋の筋力・筋持久力の増大、呼吸機能の改善、呼吸困難感の緩和、運動能力の改善、ADLの能力やQOLの向上、その他が挙げられる。呼吸筋の筋力・筋持久力の増大には、横隔膜の厚さが増す構造的な変化と吸気筋の筋電図測定でみた機能的な変化が貢献しているかもしれない。IMTによる持久性運動能力の向上のメカニズムについて、呼吸努力に対する耐性が上昇すること、酸素運搬にかかわる中枢性効果と末梢性効果が考えられ、検討が行われている。IMTがもたらす効果の有無を検証した結果は各臨床試験で異なる。IMTの効果のエビデンスについて主要な疾患患者で検討されているが、現時点でIMTの活用を支持あるいは否定することはできない。一方、EMTについては、1980年代半ばにCOPD患者を対象に効果が検討され、広く適用されるようになったのは2000年代に入ってからである。圧倒的に臨床試験の数が少なく、見解が一致したエビデンスを示すまでに至っていない。症例数が多く質の高い、そして長期的な帰結測定を含んだRCT、成績の改善のメカニズムを探求する試行、臨床的に意味のある成果を導く研究の累積がIMTおよびEMTの便益を実証すると考えられる。

文 献

- 1) Spruit MA, Singh SJ, et al.: An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: key concepts and advances in pulmonary rehabilitation. *Am J Respir Crit Care Med* 188(8) : e13-e64, 2013
- 2) Leith DE, Bradley M: Ventilatory muscle strength and endurance training. *J Appl Physiol* 41(4) : 508-516, 1976
- 3) O'Brien K, Geddes L, et al.: Inspiratory muscle training compared with other rehabilitation interventions in chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review update. *J Cardiopulm Rehabil Prev* 28(2) : 128-141, 2008
- 4) Shoemaker MJ, Donker S, et al.: Inspiratory muscle training in patients with chronic obstructive pulmonary disease: the state of the evidence. *Cardiopulm Phys Ther J* 20(3) : 5-15, 2009
- 5) 塩谷隆信, 佐竹将宏・他: 呼吸リハビリテーションにおける呼吸筋トレーニングの位置づけ—吸気筋トレーニングは必須の種目か?—. *日呼ケアリハ学誌* 19(2) : 156-162, 2009
- 6) Borge CR, Hagen KB, et al.: Effects of controlled breathing exercise and respiratory muscle training in people with chronic obstructive pulmonary disease: results from evaluating the quality of evidence in systematic reviews. *BMC Pulm Med* 14: 2014
- 7) Lin SJ, McElfresh J, et al.: Inspiratory muscle training in patients with heart failure: a systematic review. *Cardiopulm Phys Ther J* 23(3) : 29-36, 2012
- 8) Sbruzzi G, Dal Lago P, et al.: Inspiratory muscle training and quality of life in patients with heart failure: Systematic review of randomized trial. *Int J Cardiol* 156(1) : 120-121, 2012
- 9) Brooks D, O'Brien K, et al.: Is inspiratory muscle training effective for individuals with cervical spinal cord injury? A qualitative systematic review. *Clin Rehabil* 19(3) : 237-246, 2005
- 10) Van Houtte S, Vanlandewijck Y, et al.: Respiratory muscle training in persons with spinal cord injury: A systematic review. *Respir Med* 100(11) : 1886-1895, 2006
- 11) Sheel AW, Reid WD, et al.: Effects of exercise training and inspiratory muscle training in spinal cord injury: A systematic review. *J Spinal Cord Med* 31(5) : 500-508, 2008
- 12) Reyes A, Ziman M, et al.: Respiratory muscle training

- for respiratory deficits in neurodegenerative disorders. *Chest* 143(5) : 1386-1394, 2013
- 13) Eidenberger M, Nowotny S: Inspiratory muscle training in patients with Amyotrophic Lateral Sclerosis: A systematic review. *NeuroRehabilitation* 35(3) : 349-361, 2014
 - 14) Pasquina P, Tramer MR, et al.: Prophylactic respiratory physiotherapy after cardiac surgery: systematic review. *BMJ* 327 : 2003
 - 15) Pollock RD, Rafferty GF, et al.: Respiratory muscle strength and training in stroke and neurology: a systematic review. *Int J Stroke* 8(2) : 124-130, 2013
 - 16) Martín-Valero R, De La Casa Almeida M, et al.: Systematic review of inspiratory muscle training after cerebrovascular accident. *Respir Care* 60(11) : 1652-1659, 2015
 - 17) Smith K, Cook D, et al.: Respiratory muscle training in chronic airflow limitation: a meta-analysis. *Am Rev Respir Dis* 145(3) : 533-539, 1992
 - 18) Lötters F, van Tol B, et al.: Effects of controlled inspiratory muscle training in patients with COPD: a meta-analysis. *Eur Respir J* 20(3) : 570-576, 2002
 - 19) Salman GF, Mosier MC, et al.: Rehabilitation for patients with chronic obstructive pulmonary disease. *J Gen Intern Med* 18(3) : 213-221, 2003
 - 20) Crowe J, Reid WD, et al.: Inspiratory muscle training compared with other rehabilitation interventions in adults with chronic obstructive pulmonary disease: a systematic literature review and meta-analysis. *COPD* 2(3) : 319-329, 2005
 - 21) Geddes EL, Reid WD, et al.: Inspiratory muscle training in adults with chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review. *Respir Med* 99(11) : 1440-1458, 2005
 - 22) Geddes EL, O'Brin K, et al.: Inspiratory muscle training in adults with chronic obstructive pulmonary disease: an update of a systematic review. *Respir Med* 102(12) : 1715-1729, 2008
 - 23) Thomas MJ, Simpson J, et al.: The impact of home-based physiotherapy interventions on breathlessness during activities of daily living in severe COPD: A systematic review. *Physiotherapy* 96(2) : 108-119, 2010
 - 24) Gosselink R, De Vos J, et al.: Impact of inspiratory muscle training in patients with COPD: what is the evidence? *Eur Respir J* 37(2) : 416-425, 2011
 - 25) Neves LF, Reis MH, et al.: Expiratory and expiratory plus inspiratory muscle training improves respiratory muscle strength in subjects with COPD: systematic review. *Respir Care* 59(9) : 1381-1388, 2014
 - 26) Reid WD, Geddes EL, et al.: Effects of inspiratory muscle training in cystic fibrosis: a systematic review. *Clin Rehabil* 22(10-11) : 1003-1013, 2008
 - 27) Chen YM, Yin T: Inspiratory muscle training improves submaximal exercise capacity in patients with heart failure: A systematic review of randomized controlled trial. *Int J Cardiol* 158(2) : 294-296, 2012
 - 28) Plentz RD, Sbruzzi G, et al.: Inspiratory muscle training in patients with heart failure: meta-analysis of randomized trials. *Arq Bras Cardiol* 99(2) : 762-771, 2012
 - 29) Smart NA, Giallauria F, et al.: Efficacy of inspiratory muscle training in chronic heart failure patients: A systematic review and meta-analysis. *Int J Cardiol* 167(4) : 1502-1507, 2013
 - 30) Montemezzo D, Fregonezi GA, et al.: Influence of inspiratory muscle weakness on inspiratory muscle training responses in chronic heart failure patients: a systematic review and meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil* 95(7) : 1398-1407, 2014
 - 31) Neto MG, Martinez BP, et al.: Combined exercise and inspiratory muscle training in patients with heart failure: a systematic review and meta-analysis. *J Cardio-pulm Rehabil Prev* 36(6) : 395-401, 2016
 - 32) Tamplin J, Berlowitz DJ: A systematic review and meta-analysis of the effects of respiratory muscle training on pulmonary function in tetraplegia. *Spinal Cord* 52(3) : 175-180, 2014
 - 33) Martín-Valero R, Zamora-Pascual N, et al.: Training of respiratory muscle in patients with multiple sclerosis: a systematic review. *Respir Care* 59(11) : 1764-1772, 2014
 - 34) Ferreira GD, Costa AC, et al.: Respiratory training improved ventilatory function and respiratory muscle strength in patients with multiple sclerosis and lateral amyotrophic sclerosis: systematic review and meta-analysis. *Physiotherapy* 102(3) : 221-228, 2016
 - 35) Valkenet K, van de Port IG, et al.: The effects of pre-operative exercise therapy on postoperative outcome: a systematic review. *Clin Rehabil* 25(2) : 99-111, 2011
 - 36) Mans CM, Reeve JC, et al.: Postoperative outcomes following preoperative inspiratory muscle training in patients undergoing cardiothoracic or upper abdominal surgery: a systematic review and meta analysis. *Clin Rehabil* 29(5) : 426-438, 2015
 - 37) Gomes Neto M, Martinez BP, et al.: Pre- and postoper-

- ative inspiratory muscle training in patients undergoing cardiac surgery: systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil*: 2016 (Epub ahead of print)
- 38) Moodie L, Reeve J, et al.: Inspiratory muscle training increases inspiratory muscle strength in patients weaning from mechanical ventilation: a systematic review. *J Physiother* 57(4) : 213-221, 2011
- 39) Elkins M, Dentice R: Inspiratory muscle training facilitates weaning from mechanical ventilation among patients in the intensive care unit: a systematic review. *J Physiother* 61(3) : 125-134, 2015
- 40) Gomes-Neto M, Saquetto MB, et al.: Effects of respiratory muscle training on respiratory function, respiratory muscle strength, and exercise tolerance in patients poststroke: a systematic review with meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil* 97(11) : 1994-2001, 2016
- 41) Menezes KK, Nascimento LR, et al.: Respiratory muscle training increases respiratory muscle strength and reduces respiratory complications after stroke: a systematic review. *J Physiother* 62(3) : 138-144, 2016
- 42) Houston BW, Mills N, et al.: Inspiratory muscle training for cystic fibrosis. *Cochrane Database Syst Rev*: 2013
- 43) Silva IS, Fregonezi GA, et al.: Inspiratory muscle training for asthma. *Cochrane Database Syst Rev*: 2013
- 44) Berlowitz DJ, Tamplin J: Respiratory muscle training for cervical spinal cord injury. *Cochrane Database Syst Rev*: 2013
- 45) Hulzebos EH, Smit Y, et al.: Preoperative physical therapy for elective cardiac surgery patients. *Cochrane Database Syst Rev*: 2012
- 46) Katsura M, Kuriyama A, et al.: Preoperative inspiratory muscle training for postoperative pulmonary complications in adults undergoing cardiac and major abdominal surgery. *Cochrane Database Syst Rev*: 2015
- 47) Xiao Y, Luo M, et al.: Inspiratory muscle training for the recovery of function after stroke. *Cochrane Database Syst Rev*: 2012
- 48) Ries AL, Bauldoff GS, et al.: Pulmonary rehabilitation: joint ACCP/AACVPR evidence-based clinical practice guidelines. *Chest* 131 (5 Suppl) : 4S-42S, 2007
- 49) Kojima H, Yamada T, et al.: Effectiveness of cough exercise and expiratory muscle training: a meta-analysis. *J Phys Ther Sci* 18(1) : 5-10, 2006
- 50) Andersen JB, Dragsted L, et al.: Resistive breathing training in severe chronic obstructive pulmonary disease. A pilot study. *Scand J Respir Dis* 60(3) : 151-156, 1979
- 51) Bjerre-Jepsen K, Secher NH, et al.: Inspiratory resistance training in severe chronic obstructive pulmonary disease. *Eur J Respir Dis* 62(6) : 405-411, 1981
- 52) Pardy RL, Rivington RN, et al.: The effects of inspiratory muscle training on exercise performance in chronic airflow limitation. *Am Rev Respir Dis* 123(4 Pt 1) : 426-433, 1981
- 53) Larson M, Kim MJ, et al.: Respiratory muscle training with incentive spirometer resistive breathing device. *Heart Lung* 13(4) : 341-345, 1984
- 54) Chen H, Dukes R, et al.: Inspiratory muscle training in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis* 131(2) : 251-255, 1985
- 55) McKeon JL, Turner J, et al.: The effect of inspiratory resistive training on exercise capacity in optimally treated patients with severe chronic airflow limitation. *Aust N Z J Med* 16(5) : 648-652, 1986
- 56) Levine S, Weiser P, et al.: Evaluation of a ventilatory muscle endurance training program in the rehabilitation of patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis* 133(3) : 400-406, 1986
- 57) Larson JL, Kim MJ, et al.: Inspiratory muscle training with a pressure threshold breathing device in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis* 138(3) : 689-696, 1988
- 58) Belman MJ, Shadmehr R: Targeted resistive ventilatory muscle training in chronic obstructive pulmonary disease. *J Appl Physiol* 65(6) : 2726-2735, 1988
- 59) Flynn MG, Barter CE, et al.: Threshold pressure training, breathing pattern, and exercise performance in chronic airflow obstruction. *Chest* 95(3) : 535-540, 1989
- 60) Patessio A, Rampulla C, et al.: Relationship between the perception of breathlessness and inspiratory resistive loading: report on a clinical trial. *Eur Respir J Suppl* 7: 587s-591s, 1989
- 61) Dekhuijzen PN, Beek MM, et al.: Psychological changes during pulmonary rehabilitation and target-flow inspiratory muscle training in COPD patients with a ventilatory limitation during exercise. *Int J Rehabil Res* 13(2) : 109-117, 1990
- 62) Dekhuijzen PN, Hopman MT, et al.: Target-flow inspiratory muscle training: breathing patterns and metabolic costs. *Int J Rehabil Res* 14(4) : 293-301, 1991
- 63) Dekhuijzen PN, Folgering HT, et al.: Target-flow inspiratory muscle training during pulmonary rehabilitation

- in patients with COPD. *Chest* 99(1) : 128-133, 1991
- 64) Weiner P, Azgad Y, et al.: Inspiratory muscle training combined with general exercise reconditioning in patients with COPD. *Chest* 102(5) : 1351-1356, 1992
- 65) Guyatt G, Keller J, et al.: Controlled trial of respiratory muscle training in chronic airflow limitation. *Thorax* 47(8) : 598-602, 1992
- 66) Kim MJ, Larson JL, et al.: Inspiratory muscle training in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Nurs Res* 42(6) : 356-362, 1993
- 67) Preusser BA, Winningham ML, et al.: High- vs low-intensity inspiratory muscle interval training in patients with COPD. *Chest* 106(1) : 110-117, 1994
- 68) Lisboa C, Muñoz V, et al.: Inspiratory muscle training in chronic airflow limitation: comparison of two different training loads with a threshold device. *Eur Respir J* 7(7) : 1266-1274, 1994
- 69) Wanke T, Formanek D, et al.: Effects of combined inspiratory muscle and cycle ergometer training on exercise performance in patients with COPD. *Eur Respir J* 7(12) : 2205-2211, 1994
- 70) Berry MJ, Adair NE, et al.: Inspiratory muscle training and whole-body reconditioning in chronic obstructive pulmonary disease: a controlled randomized trial. *Am J Respir Care Med* 153(6 Pt 1) : 1812-1816, 1996
- 71) Lisboa C, Villafranca C, et al.: Inspiratory muscle training in chronic airflow limitation: effect on exercise performance. *Eur Respir J* 10(3) : 537-542, 1997
- 72) Villafranca C, Borzone G, et al.: Effect of inspiratory muscle training with an intermediate load on inspiratory power output in COPD. *Eur Respir J* 11(1) : 28-33, 1998
- 73) Larson JL, Covey MK, et al.: Cycle ergometer and inspiratory muscle training in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med* 160(2) : 500-507, 1999
- 74) Ramírez-Sarmiento A, Orozco-Levi M, et al.: Inspiratory muscle training in patients with chronic obstructive pulmonary disease: structural adaptation and physiologic outcomes. *Am J Respir Crit Care Med* 166(11) : 1491-1497, 2002
- 75) Minoguchi H, Shibuya M, et al.: Cross-over comparison between respiratory muscle stretch gymnastics and inspiratory muscle training. *Intern Med* 41(10) : 805-812, 2002
- 76) Weiner P, Magadle R, et al.: Comparison of specific expiratory, inspiratory, and combined muscle training programs in COPD. *Chest* 124(4) : 1357-1364, 2003
- 77) Hsiao SF, Wu YT, et al.: Comparison of effectiveness of pressure threshold and targeted resistance devices for inspiratory muscle training in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *J Formos Med Assoc* 102(4) : 240-245, 2003
- 78) Sturdy G, Hillman D, et al.: Feasibility of high-intensity, interval-based respiratory muscle training in COPD. *Chest* 123(1) : 142-150, 2003
- 79) Weiner P, Magadle R, et al.: Maintenance of inspiratory muscle training in COPD patients: one year follow-up. *Eur Respir J* 23(1), 61-65, 2004
- 80) Mador MJ, Deniz O, et al.: Effect of respiratory muscle endurance training in patients with COPD undergoing pulmonary rehabilitation. *Chest* 128(3) : 1216-1224, 2005
- 81) Beckerman M, Magadle R, et al.: The effects of 1 year of specific inspiratory muscle training in patients with COPD. *Chest* 128(5) : 3177-3182, 2005
- 82) Hill K, Jenkins SC, et al.: High-intensity inspiratory muscle training in COPD. *Eur Respir J* 27(6) : 1119-1128, 2006
- 83) Magadle R, NcConnell AK, et al.: Inspiratory muscle training in pulmonary rehabilitation program in COPD patients. *Respir Med* 101(7) : 1500-1505, 2007
- 84) Hill K, Jenkins SC, et al.: Comparison of incremental and constant load tests of inspiratory muscle endurance in COPD. *Eur Respir J* 30(3) : 479-486, 2007
- 85) Shahin B, Germain M, et al.: Benefits of short inspiratory muscle training on exercise capacity, dyspnea, and inspiratory fraction in COPD patients. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* 3(3) : 423-427, 2008
- 86) Huang CH, Yang GG, et al.: Comparison of inspiratory muscle training effects between older subjects with and without chronic obstructive pulmonary disease. *J Formos Med Assoc* 110(8) : 518-526, 2011
- 87) Petrovic M, Reiter M, et al.: Effects of inspiratory muscle training on dynamic hyperinflation in patients COPD. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* 7: 797-805, 2012
- 88) Tout R, Tayara L, et al.: The effects of respiratory muscle training on improvement of the internal and external thoraco-pulmonary respiratory mechanism in COPD patients. *Ann Phys Rehabil Med* 56(3) : 193-211, 2013
- 89) Heydari A, Farzad M, et al.: Comparing inspiratory resistive muscle training with incentive spirometry on

- rehabilitation of COPD patients. *Rehabil Nurs* 40(4) : 243-248, 2015
- 90) Bavarsad MB, Shariati A, et al.: The effect of home-based inspiratory muscle training on exercise capacity, exertional dyspnea and pulmonary function in COPD patients. *Iran J Midwifery Res* 20(5) : 613-618, 2015
- 91) Beaumont M, Mialon P, et al.: Inspiratory muscle training during pulmonary rehabilitation in chronic obstructive pulmonary disease: A randomized trial. *Chron Respir Dis* 12(4) : 305-312, 2015
- 92) Langer D, Charususin N, et al.: Efficacy of a novel method for inspiratory muscle training in people with chronic obstructive pulmonary disease. *Phys Ther* 95(9) : 1264-1273, 2015
- 93) Basso-Vanelli RP, Di Lorenzo VA, et al.: Effects of inspiratory muscle training and calisthenics-and-breathing exercise in COPD with and without respiratory muscle weakness. *Respir Care* 61(1) : 50-60, 2016
- 94) Majewska-Pulsakowska M, Wytrychowski K, et al.: The role of inspiratory muscle training in the process of rehabilitation of patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Adv Exp Med Biol* 885: 47-51, 2016
- 95) Charususin N, Gosselink R, et al.: Inspiratory muscle training improves breathing pattern during exercise in COPD patients. *Eur Respir J* 47(4) : 1261-1264, 2016
- 96) 大倉和貴, 川越厚良・他: 慢性閉塞性肺疾患に対する呼吸回数を指定した吸気筋トレーニングの効果—吸気筋力の向上は運動耐容能に影響するか—. *日呼ケアリハ会誌* 26(2) : 258-263, 2016
- 97) ACCP/AACVPR pulmonary rehabilitation guidelines panel: Pulmonary rehabilitation: joint ACCP/AACVPR evidence-based guidelines. *Chest* 112(5) : 1363-1396, 1997
- 98) Nici L, Donner C, et al.: American thoracic society/ European respiratory society statement on pulmonary rehabilitation. *Am J Respir Crit Care Med* 173(12) : 1390-1413, 2006
- 99) Ambrosino N, Paggiaro PL, et al.: Failure of resistive breathing training to improve pulmonary function tests in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Respiration* 45(4) : 455-459, 1984
- 100) Weiner P, Magadle R, et al.: Specific expiratory muscle training in COPD. *Chest* 124(2) : 468-473, 2003
- 101) Mota S, Güell R, et al.: Clinical outcomes of expiratory muscle training in severe COPD patients. *Respir Med* 101(3) : 516-524, 2007
- 102) Nield MA, Soo Hoo GW, et al.: Efficacy of pursed-lips breathing: a breathing pattern retraining strategy for dyspnea reduction. *J Cardiopulm Rehabil Prev* 27(4) : 237-244, 2007
- 103) Battaglia E, Fulgenzi A, et al.: Rationale of the combined use of inspiratory and expiratory devices in improving maximal inspiratory pressure and maximal expiratory pressure of patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Arch Phys Med Rehabil* 90(6) : 913-918, 2009
- 104) 三崎絵利華, 石田登貴代・他: 慢性閉塞性肺疾患患者に対する低負荷での呼気筋トレーニングの効果. *理学療法福井* 19: 35-37, 2015
- 105) Keens TG, Krastins IR, et al.: Ventilatory muscle endurance training in normal subjects and patients with cystic fibrosis. *Am Rev Respir Dis* 116(5) : 853-860, 1977
- 106) Asher MI, Pardy RL, et al.: The effects of inspiratory muscle training in patients with cystic fibrosis. *Am Rev Respir Dis* 126(5) : 855-859, 1982
- 107) Sawyer EH, Clanton TL: Improved pulmonary function and exercise tolerance with inspiratory muscle conditioning in children with cystic fibrosis. *Chest* 104(5) : 1490-1497, 1993
- 108) de Jong W, van Aalderen WM, et al.: Inspiratory muscle training in patients with cystic fibrosis. *Respir Med* 95(1) : 31-36, 2001
- 109) Enright S, Chatham K, et al.: Inspiratory muscle training improves lung function and exercise capacity in adults with cystic fibrosis. *Chest* 126(2) : 405-411, 2004
- 110) Weiner P, Azgad Y, et al.: Inspiratory muscle training in patients with bronchial asthma. *Chest* 102(5) : 1357-1361, 1992
- 111) Weiner P, Berar-Yanay N, et al.: Specific inspiratory muscle training in patients with asthma with high consumption of inhaled β_2 -agonists. *Chest* 117(3) : 722-727, 2000
- 112) Weiner P, Magadle R, et al.: Influence of gender and inspiratory muscle training on the perception of dyspnea in patients with asthma. *Chest* 122(1) : 197-201, 2002
- 113) Weiner P, Magadle R, et al.: The relationship among inspiratory muscle strength, the perception of dyspnea and inhaled beta2-agonist use in patients with asthma. *Can Respir J* 9(5) : 307-312, 2002
- 114) Turner LA, Mickleborough TD, et al.: Effect of inspiratory muscle training on exercise tolerance in

- asthmatic individuals. *Med Sci Sports Exerc* 43(11) : 2031-2038, 2011
- 115) Newall C, Stockley RA, et al.: Exercise training and inspiratory muscle training in patients with bronchiectasis. *Thorax* 60(11) : 943-948, 2005
- 116) Liaw MY, Wang YH, et al.: Inspiratory muscle training in bronchiectasis patients: a prospective randomized controlled study. *Clin Rehabil* 25(6) : 524-536, 2011
- 117) McParland C, Krishnan B, et al.: Inspiratory muscle weakness and dyspnea in chronic heart failure. *Am Rev Respir Dis* 146(2) : 467-472, 1992
- 118) Meyer FJ, Zugek C, et al.: Inefficient ventilation and reduced respiratory muscle capacity in congestive heart failure. *Basic Res Cardiol* 95(4) : 333-342, 2000
- 119) Meyer FJ, Borst MM, et al.: Respiratory muscle dysfunction in congestive heart failure: clinical correlation and prognostic significance. *Circulation* 103(17) : 2153-2158, 2001
- 120) Laoutaris ID, Adamopoulos S, et al.: Inspiratory work capacity is more severely depressed than inspiratory muscle strength in patients with heart failure: Novel applications for inspiratory muscle training. *Int J Cardiol* 221: 622-626, 2016
- 121) Mancini DM, Henson D, et al.: Benefit of selective respiratory muscle training in exercise capacity in patients with chronic congestive heart failure. *Circulation* 91(2) : 320-329, 1995
- 122) Cahalin LP, Semigran MJ, et al.: Inspiratory muscle training in patients with chronic heart failure awaiting cardiac transplantation: results of pilot clinical trial. *Phys Ther* 77(8) : 830-838, 1997
- 123) Johnson PH, Cowley AJ, et al.: A randomized controlled trial of inspiratory muscle training in stable chronic heart failure. *Eur Heart J* 19(8) : 1249-1253, 1998
- 124) Weiner P, Waizman J, et al.: The effect of specific inspiratory muscle training on the sensation of dyspnea and exercise tolerance in patients with congestive heart failure. *Clin Cardiol* 22(11) : 727-732, 1999
- 125) Laoutaris I, Dritsas A, et al.: Inspiratory muscle training using an incremental endurance test alleviates dyspnea and improves functional status in patients with chronic heart failure. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 11(6) : 489-496, 2004
- 126) Dall'Ago P, Chiappa GR, et al.: Inspiratory muscle training inpatients with heart failure and inspiratory muscle weakness: a randomized trial. *J Am Coll Cardiol* 47(4) : 757-763, 2006
- 127) Laoutaris ID, Dritsas A, et al.: Immune response to inspiratory muscle training in patients with chronic heart failure. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 14(5) : 679-685, 2007
- 128) Laoutaris ID, Dritsas A, et al.: Effects of inspiratory muscle training on autonomic activity, endothelial vasodilator function, and N-terminal pro-brain natriuretic peptide levels in chronic heart failure. *J Cardiopulm Rehabil Prev* 28(2) : 99-106, 2008
- 129) Chiappa GR, Roseguini BT, et al.: Inspiratory muscle training improves blood flow to resting and exercising limbs in patients with chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol* 51(17) : 1663-1671, 2008
- 130) Padula CA, Yeaw E, et al.: A home-based nurse-coached inspiratory muscle training intervention in heart failure. *Appl Nurs Res* 22(1) : 18-25, 2009
- 131) Stein R, Chiappa GR, et al.: Inspiratory muscle training improves oxygen uptake efficiency slope in patients with chronic heart failure. *J Cardiopulm Rehabil Prev* 29(6) : 392-395, 2009
- 132) Winkelmann ER, Chiappa GR, et al.: Addition of inspiratory muscle training to aerobic training improves cardiorespiratory responses to exercise in patients with heart failure and inspiratory muscle weakness. *Am Heart J* 158(5) : 768.e1-7, 2009
- 133) Bosnak-Guclu M, Arikan H, et al.: Effects of inspiratory muscle training in patients with heart failure. *Respir Med* 105(11) : 1671-1681, 2011
- 134) Mello PR, Guerra GM, et al.: Inspiratory muscle training reduces sympathetic nervous activity and improves inspiratory muscle weakness and quality of life in patients with chronic heart failure: a clinical trial. *J Cardiopulm Rehabil Prev* 32(5) : 255-261, 2012
- 135) Laoutaris ID, Adamopoulos S, et al.: Benefits of combined aerobic/resistance/ inspiratory training in patients with chronic heart failure. A complete exercise model? A prospective randomised study. *Int J Cardiol* 167(5) : 1967-1972, 2013
- 136) Marco E, Ramírez-Sarmiento AL, et al.: High-intensity vs. sham inspiratory muscle training in patients with chronic heart failure: a prospective randomized trial. *Eur J Heart Fail* 15(8) : 892-901, 2013
- 137) Palau P, Dominguez E, et al.: Effects of inspiratory muscle training in patients with heart failure with preserved ejection fraction. *Eur J Cardiol* 21(12) : 1465-

- 1473, 2014
- 138) Adamopoulos S, Schmid JP, et al.: Combined aerobic/inspiratory muscle training vs. aerobic training in patients with chronic heart failure: The Vent-HeFT trial: a European prospective multicentre randomized trial. *Eur J Heart Fail* 16(5) : 574-582, 2014
- 139) Gross D, Ladd HW, et al.: The effect of training on strength and endurance of the diaphragm in quadriplegia. *Am J Med* 68(1) : 27-35, 1980
- 140) Huldgtgen AC, Fugl-Myer AR, et al.: Ventilatory dysfunction and respiratory rehabilitation in post-traumatic quadriplegia. *Eur J Respir Dis* 61(6) : 347-356, 1980
- 141) Walker J, Cooney M, et al.: Improved pulmonary function in chronic quadriplegics after pulmonary therapy and arm ergometry. *Paraplegia* 27(4) : 278-283, 1989
- 142) Loveridge B, Badour M, et al.: Ventilatory muscle endurance training in quadriplegia: effects on breathing pattern. *Paraplegia* 27(5) : 329-339, 1989
- 143) Biering-Sørensen F, Knudsen JL, et al.: Effect of respiratory training with a mouth-nose-mask in tetraplegics. *Paraplegia* 29(2) : 113-119, 1991
- 144) Derrickson J, Ciesla N, et al.: A comparison of two breathing exercise programs for patients with tetraplegia. *Phys Ther* 72(11) : 763-769, 1992
- 145) Zupan A, Šavrin R, et al.: Effects of respiratory muscle training and electrical stimulation of abdominal muscles on respiratory capabilities in tetraplegic patients. *Spinal Cord* 35(8) : 540-545, 1997
- 146) Rutchik A, Weissman AR, et al.: Resistive inspiratory muscle training in subjects with chronic cervical spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 79(3) : 293-297, 1998
- 147) Uijl SG, Houtman S, et al.: Training of the respiratory muscle in individuals with tetraplegia. *Spinal Cord* 37(8) : 575-579, 1999
- 148) Liaw MY, Lin MC, et al.: Resistive inspiratory muscle training: its effectiveness in patients with acute complete cervical cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 81(6) : 752-756, 2000
- 149) Van Houtte S, Vanlandewijck Y, et al.: Patients with acute spinal cord injury benefit from normocapnic hyperpnoea training. *J Rehabil Med* 40(2) : 119-125, 2008
- 150) Litchka L, Lloyd L, et al.: Comparison of two concurrent respiratory resistance devices on pulmonary function and time trial performance of wheel chair athletes. *Therapeutic Recreation J* 44(1) : 51-62, 2010
- 151) Silveira JM, Gastaldi AC, et al.: Inspiratory muscle training in quadriplegic patients. *J Bras Pneumol* 36(3) : 313-319, 2010
- 152) Mueller G, Hopman MT, et al.: Comparison of respiratory muscle training methods in individuals with motor complete tetraplegia. *Top Spinal Cord Inj Rehabil* 18(2) : 118-121, 2012
- 153) Mueller G, Hopman MT, et al.: Comparison of respiratory muscle training methods in individuals with motor and sensory complete tetraplegia: a randomized controlled trial. *J Rehabil Med* 45(3) : 248-253, 2013
- 154) West CR, Taylor BJ, et al.: Effects of inspiratory muscle training on exercise responses in paralympic athletes with cervical spinal cord injury. *Scand J Med Sci Sports* 24(5) : 764-772, 2014
- 155) Postma K, Haisma JA, et al.: Resistive inspiratory muscle training in people with spinal cord injury during inpatient rehabilitation: a randomized controlled trial. *Phys Ther* 94(12) : 1709-1719, 2014
- 156) Kim CY, Lee JS, et al.: Short-term effects of respiratory muscle training combined with the abdominal drawing-in maneuver on the decreased pulmonary function of individuals with chronic spinal cord injury: a pilot randomized controlled trial. *J Spinal Cord Med* : 2016 (Epub ahead of print)
- 157) Gounden P: Progressive resistive loading on accessory expiratory muscles in tetraplegia. *Fisioterapie* 46(4) : 4, 5, 8-10, 15, 1990
- 158) Roth EJ, Stenson KW, et al.: Expiratory muscle training in spinal cord injury: a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil* 91(6) : 857-861, 2010
- 159) DiMarco AF, Kelling JS, et al.: The effects of inspiratory resistive training on respiratory muscle function in patients with muscular dystrophy. *Muscle Nerve* 8(4) : 284-290, 1985
- 160) Martin AJ, Stern L, et al.: Respiratory muscle training in Duchenne muscular dystrophy. *Dev Med Child Neurol* 28(3) : 314-318, 1986
- 161) Smith PE, Coakley JM, et al.: Respiratory muscle training in Duchenne muscular dystrophy. *Muscle Nerve* 11(7) : 784-785, 1988
- 162) Rodillo E, Noble-Jamieson CM, et al.: Respiratory muscle training in Duchenne muscle dystrophy. *Arch Dis Child* 64(5) : 736-738, 1989

- 163) Stern LM, Martin AJ, et al.: Training inspiratory resistance in Duchenne dystrophy using adapted computer games. *Dev Med Child Neurol* 31(4) : 494-500, 1989
- 164) Gross D, Meiner Z: The effect of ventilatory muscle training on respiratory function and capacity in ambulatory and bed-ridden patients with neuromuscular disease. *Monaldi Arch Chest Dis* 48(4) : 322-326, 1993
- 165) Wanke T, Toifl K, et al.: Inspiratory muscle training in patients with Duchenne muscular dystrophy. *Chest* 105(2) : 475-482, 1994
- 166) Weiner P, Gross D, et al.: Respiratory muscle training in patients with moderate to severe myasthenia gravis. *Can J Neurol Sci* 25(3) : 236-241, 1998
- 167) Winkler G, Zifko U, et al.: Dose-dependent effects of inspiratory muscle training in neuromuscular disorders. *Muscle Nerve* 23(8) : 1257-1260, 2000
- 168) Klefbeck B, Lagerstrand L, et al.: Inspiratory muscle training in patients with prior polio who use part-time assisted ventilation. *Arch Phys Med Rehabil* 81(8) : 1065-1071, 2000
- 169) Koessler W, Wanke T, et al.: 2 years' experience with inspiratory muscle training in patients with neuromuscular disorders. *Chest* 120(3) : 765-769, 2001
- 170) Topin N, Matecki S, et al.: Dose-dependent effect of individualized respiratory muscle training in children with Duchenne muscular dystrophy. *Neuromuscul Disord* 12(6) : 576-583, 2002
- 171) Klefbeck B, Nedjad JH: Effect of inspiratory muscle training in patients with multiple sclerosis. *Arch Phys Med Rehabil* 84(7) : 994-999, 2003
- 172) Fregonezi GA, Resqueti VR, et al.: Effects of 8-week, interval-based inspiratory muscle training and breathing retraining in patients with generalized myasthenia gravis. *Chest* 128(3) : 1524-1530, 2005
- 173) Inzelberg R, Peleg N, et al.: Inspiratory muscle training and the perception of dyspnea in Parkinson's disease. *Can J Neurol Sci* 32(2) : 213-217, 2005
- 174) Fry DK, Pfalzer LA, et al.: Randomized control trial of effects of a 10-week inspiratory muscle training program on measures of pulmonary function in persons with multiple sclerosis. *J Neurol Phys Ther* 31(4) : 162-172, 2007
- 175) Cheah BC, Boland RA, et al.: INSPIRATIonAL-INSPIRATory muscle training in amyotrophic lateral sclerosis. *Amyotroph Lateral Scler* 10(5-6) : 384-392, 2009
- 176) Pfalzer L, Fry D: Effects of a 10-week inspiratory muscle training program on lower-extremity mobility in people with multiple sclerosis: a randomized controlled trial. *Int J MS Care* 13(1) : 32-42, 2011
- 177) Pinto S, Swash M, et al.: Respiratory exercise in amyotrophic lateral sclerosis. *Amyotroph Lateral Scler* 13(1) : 33-43, 2012
- 178) Pinto S, de Carvalho M: Can inspiratory muscle training increase survival in early-affected amyotrophic lateral sclerosis patients? *Amyotroph Lateral Scler Frontotemporal Degener* 14(2) : 124-126, 2013
- 179) Aslan GK, Huseyinsinoglu BE, et al.: Inspiratory muscle training in late-onset Pompe disease: the effects on pulmonary function tests, quality of life, and sleep quality. *Lung* 194(4) : 555-561, 2016
- 180) Estrup C, Lyager S, et al.: Effect of respiratory muscle training in patients with neuromuscular disease and normal. *Respiration* 50(1) : 36-43, 1986
- 181) Olgiati R, Girr A, et al.: Respiratory muscle training in multiple sclerosis: a pilot study. *Schweiz Arch Neurol Ohychiatr* 140(1) : 46-50, 1989
- 182) Smeltzer SC, Laviertes MH, et al.: Expiratory training in multiple sclerosis. *Arch Phys Med Rehabil* 77(9) : 909-912, 1996
- 183) Gozal D, Thiriet P: Respiratory muscle training in neuromuscular disease: long-term effects on strength and load perception. *Med Sci Sports Exerc* 31(11) : 1522-1527, 1999
- 184) Gosslink R, Kovacs L, et al.: Respiratory muscle weakness and respiratory muscle training in severely disabled multiple sclerosis patients. *Arch Phys Med Rehabil* 81(6) : 747-751, 2000
- 185) Chiara T, Martin AD, et al.: Expiratory muscle strength training in persons with multiple sclerosis having mild to moderate disability: effect on maximal expiratory pressure, pulmonary function, and maximal voluntary cough. *Arch Phys Med Rehabil* 87(4) : 468-473, 2006
- 186) Saleem AF, Sapienza CM, et al.: Respiratory muscle strength training: treatment and response during in a patient with early idiopathic Parkinson's disease. *NeuroRehabilitation* 20(4) : 323-333, 2005
- 187) Silverman EP, Sapienza CM, et al.: Tutorial on maximum inspiratory and expiratory mouth pressures in individuals with idiopathic Parkinson disease (IPD) and the preliminary results of an expiratory muscle strength training program. *NeuroRehabilitation* 21(1):

- 71-79, 2006
- 188) Chiara T, Martin D, et al.: Expiratory muscle training: speech production outcomes in patients with multiple sclerosis. *Neurorehabil Neural Respir* 21(3) : 239-249, 2007
- 189) Pitts T, Bolser D, et al.: Impact of expiratory muscle strength training on voluntary cough and swallow function in Parkinson disease. *Chest* 135(5) : 1301-1308, 2009
- 190) Sapienza C, Troche M, et al.: Respiratory strength training: concept and intervention outcome. *Semin Speech Lang* 31(1) : 21-30, 2011
- 191) Jones HN, Moss T, et al.: Increased inspiratory and expiratory muscle strength following respiratory muscle strength training (RMST) in two patients with late-Pompe disease. *Mol Genet Metab* 104(3) : 417-420, 2011
- 192) 柳澤幸夫, 松尾善美・他: パーキンソン病患者に対する呼吸筋トレーニングの効果—シングルケーススタディー—. *日摂食嚥下リハ会誌* 16(1) : 75-80, 2012
- 193) Ray AD, Udhoji S, et al.: A combined inspiratory and expiratory muscle training program improves respiratory muscle strength and fatigue in multiple sclerosis. *Arch Phys Med Rehabil* 94(10) : 1964-1970, 2013
- 194) Jones HN, Crisp KD, et al.: Effects of respiratory muscle training (RMT) in children with infantile-onset Pompe disease and respiratory muscle weakness. *J Pediatr Rehabil Med* 7(3) : 255-265, 2014
- 195) Aslan GK, Gurses HN, et al.: Effects of respiratory muscle training on pulmonary functions in patients with slowly progressive neuromuscular disease: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil* 28(6) : 573-581, 2014
- 196) Troche MS, Rosenbek JC, et al.: Detraining outcomes with expiratory muscle strength training in Parkinson disease. *J Rehabil Res Dev* 51(2) : 305-310, 2014
- 197) Reyes A, Cruickshank T, et al.: Respiratory muscle training on pulmonary and swallowing function in patients with Huntington's disease: a pilot randomized controlled trial. *Clin Rehabil* 29(10) : 961-973, 2015
- 198) Jones HN, Crisp KD, et al.: Respiratory muscle training (RMT) in late-onset Pompe disease (LOPD) : effects of training and detraining. *Mol Genet Metab* 117(2) : 120-128, 2016
- 199) Plowman EK, Watts SA, et al.: Impact of expiratory strength training in amyotrophic lateral sclerosis. *Muscle Nerve* 54(1) : 48-53, 2016
- 200) Tabor LC, Rosado KM, et al.: Respiratory training in an individual with amyotrophic lateral sclerosis. *Ann Clin Transl Neurol* 3(10) : 819-823, 2016
- 201) Weiner P, Man A, et al.: The effect of incentive spirometry and inspiratory muscle training on pulmonary function after lung resection. *J Thorac Cardiovasc Surg* 113(3) : 552-557, 1997
- 202) Weiner P, Zeidan F, et al.: Prophylactic inspiratory muscle training in patients undergoing coronary artery bypass graft. *World J Surg* 22(5) : 427-431, 1998
- 203) Gosselink R, Schreiver K, et al.: Incentive spirometry does not enhance recovery after thoracic surgery. *Crit Care Med* 28(3) : 679-683, 2000
- 204) Hulzebos EH, van Meeteren NL, et al.: Feasibility of preoperative inspiratory muscle training in patients undergoing coronary artery bypass surgery with a high risk of postoperative pulmonary complications: a randomized controlled pilot study. *Clin Rehabil* 20(11) : 949-959, 2006
- 205) Hulzebos EH, Helders PJ, et al.: Preoperative intensive inspiratory muscle training to prevent postoperative pulmonary complications in high-risk patients undergoing CABG surgery: a randomized clinical trial. *JAMA* 296(15) : 1851-1857, 2006
- 206) Dronkers J, Veldman A, et al.: Prevention of pulmonary complications after upper abdominal surgery by preoperative intensive inspiratory muscle training: a randomized controlled pilot study. *Clin Rehabil* 22(2) : 134-142, 2008
- 207) Ferreira PE, Rodrigues AJ, et al.: Effects of an inspiratory muscle rehabilitation program in the postoperative period of cardiac surgery. *Arq Bras Cardiol* 92(4) : 261-268, 2009
- 208) Barros GF, Santos Cda S, et al.: Respiratory muscle training in patients submitted to coronary arterial bypass graft. *Rev Bras Cri Cardiovasc* 25(4) : 483-490, 2010
- 209) Cattano D, Altamirano A, et al.: Preoperative use of incentive spirometry does not affect postoperative lung function in bariatric surgery. *Transl Res* 156(5) : 265-272, 2010
- 210) Kulkarni SR, Fletcher E, et al.: Pre-operative inspiratory muscle training preserves postoperative inspiratory muscle strength following major abdominal surgery: a randomized pilot study. *Ann R Coll Surg Engl* 92(8) : 700-705, 2010
- 211) Casali CC, Pereira AP, et al.: Effects of inspiratory

- muscle training on muscular and pulmonary function after bariatric surgery in obese patients. *Obes Surg* 21(9) : 1389-1394, 2011
- 212) Savci S, Degirmenci B, et al.: Short-term effects of inspiratory muscle training in coronary artery bypass graft surgery: a randomized controlled trial. *Scand Cardiovasc J* 45(5) : 286-293, 2011
- 213) Barbalho-Moulim MC, Miguel GP, et al.: Effects of preoperative inspiratory muscle training in obese women undergoing open bariatric surgery: respiratory muscle strength, lung volumes, and diaphragmatic excursion. *Clinics* 66(10) : 1721-1727, 2011
- 214) Agrelli TF, de Carvalho Ramos M, et al.: Preoperative ambulatory inspiratory muscle training in patients undergoing esophagectomy. A pilot study. *Int Surg* 97(3) : 198-202, 2012
- 215) Matheus GB, Dragosavac D, et al.: Postoperative muscle training improves tidal volume and vital capacity in the postoperative period of CABG surgery. *Rev Bras Cir Cardiovasc* 27(3) : 362-369, 2012
- 216) Kodric M, Trevisan R, et al.: Inspiratory muscle training for diaphragm dysfunction after cardiac surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg* 145(3) : 819-823, 2013
- 217) Agostini P, Naidu B, et al.: Effectiveness of incentive spirometry in patients following thoracotomy and lung resection including those at high risk for developing pulmonary complications. *Thorax* 68(6) : 580-585, 2013
- 218) Dettling DS, van der Schaaf M, et al.: Feasibility and effectiveness of pre-operative inspiratory muscle training in patients undergoing oesophagectomy: a pilot study. *Physiother Res Int* 18(1) : 16-26, 2013
- 219) Valkenet K, de Heer F, et al.: Effect of inspiratory muscle training before cardiac surgery in routine care. *Phys Ther* 93(5) : 611-619, 2013
- 220) van Adrichem EJ, Meulenbroek RL, et al.: Comparison of two preoperative inspiratory muscle training programs to prevent pulmonary complications in patients undergoing esophagectomy: a randomized controlled pilot study. *Ann Surg Oncol* 21(7) : 2353-2360, 2014
- 221) Hermes BM, Cardoso DM, et al.: Short-term inspiratory muscle training potentiates the benefits of aerobic and resistance training in patients undergoing CABG in phase II cardiac rehabilitation program. *Braz J Cardiovasc Surg* 30(4) : 474-481, 2015
- 222) Brocki BC, Andreasen JJ, et al.: Postoperative inspiratory muscle training in addition to breathing exercise and early mobilization improves oxygenation in high-risk patients after lung cancer surgery: a randomized controlled trial. *Eur J Cardiothorac Surg* 49(5) : 1483-1491, 2016
- 223) Cordeiro AL, de Melo TA, et al.: Inspiratory muscle training and functional capacity in patients undergoing cardiac surgery. *Braz J Cardiovasc Surg* 31(2) : 140-144, 2016
- 224) Crisafulli E, Venturelli E, et al.: Respiratory muscle training in patients recovering recent open cardiothoracic surgery: a randomized-controlled trial. *Biomed Res Int* : 2013
- 225) Caruso P, Denari SDC, et al.: Inspiratory muscle training is ineffective in mechanically ventilated critically ill patients. *Clinics* 60(6) : 479-484, 2005
- 226) Aldrich TK, Karpel JP, et al.: Weaning from mechanical ventilation: Adjunctive use of inspiratory muscle resistive training. *Crit Care Med* 17(2) : 143-147, 1989
- 227) Martin AD, Devenport PD, et al.: Use of inspiratory muscle strength training to facilitate ventilator weaning: a series of 10 consecutive patients. *Chest* 122(1) : 192-196, 2002
- 228) Cader SA, Vale RG, et al.: Inspiratory muscle training improves maximal inspiratory pressure and may assist weaning in older intubated patients: a randomized trial. *J Physiother* 56(3) : 171-177, 2010
- 229) Martin AD, Smith BK, et al.: Inspiratory muscle strength training improves weaning outcome in failure to wean patients: a randomized trial. *Crit Care* 15(2) : R84, 2011
- 230) Cader SA, de Souza Vale RG, et al.: Extubation process in bed-ridden elderly intensive care patients receiving inspiratory muscle training: a randomized clinical trial. *Clin Interv Aging* 7 : 437-443, 2012
- 231) Bissett B, Leditschke IA, et al.: Specific inspiratory muscle training is safe in selected patients who are ventilator-dependent: a case series. *Intensive Crit Care Nurs* 28(2) : 98-104, 2012
- 232) Condessa RL, Brauner JS, et al.: Inspiratory muscle training did not accelerate weaning from mechanical ventilation but did improve tidal volume and maximal respiratory pressures: a randomised trial. *J Physiother* 59(2) : 101-107, 2013
- 233) Bissett BM, Leditschke IA, et al.: Inspiratory muscle training to enhance recovery from mechanical ventila-

- tion: a randomized trial. *Thorax* 71(9) : 812-819, 2016
- 234) Sutbeyaz ST, Koseoglu F, et al.: Respiratory muscle training improves cardiopulmonary function and exercise tolerance in subjects with subacute stroke: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil* 24(3) : 240-250, 2010
- 235) Britto RR, Rezende NR, et al.: Inspiratory muscle training in chronic stroke survivors: a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil* 92(2) : 184-190, 2011
- 236) Jung JH, Shim JM, et al.: Effects of abdominal stimulation during inspiratory muscle training on respiratory function of chronic stroke patients. *J Phys Ther Sci* 26(1) : 73-76, 2014
- 237) Kim J, Park JH, et al.: Effects of respiratory muscle and endurance training using an individualized training device on pulmonary function and exercise capacity in stroke patients. *Med Sci Monit* 20: 2543-2549, 2014
- 238) Kim CY, Lee JS, et al.: Effects of the combination of respiratory muscle training and abdominal drawing-in maneuver on respiratory muscle activity in patients with post-stroke hemiplegia: a pilot randomized controlled trial. *Top Stroke Rehabil* 22(4) : 262-270, 2015
- 239) Kulnik ST, Birring SS, et al.: Does respiratory muscle training improve cough flow an acute stroke? Pilot randomized controlled trial. *Stroke* 46(2) : 447-453, 2015
- 240) Jung JH, Kim NS: The effect of progressive high-intensity inspiratory muscle training and fixed high-intensity inspiratory muscle training on the asymmetry of diaphragm thickness in stroke patients. *J Phys Ther Sci* 27(10) : 3267-3269, 2015
- 241) Oh D, Kim G, et al.: Effects of inspiratory muscle training on balance ability and abdominal muscle thickness in chronic stroke patients. *J Phys Ther Sci* 28(1) : 107-111, 2016
- 242) Chen PC, Liaw MY, et al.: Inspiratory muscle training in stroke patients with congestive heart failure: A CONSORT-compliant prospective randomized single-blind controlled trial. *Medicine* 95(37) : 2016
- 243) 山下弘二, 菊池信愛・他: 脳卒中患者に対する呼吸筋トレーニングが呼吸筋力と咳嗽力に及ぼす効果. *理学療法科学* 25(6) : 849-853, 2010
- 244) Messaggi-Sarror M, Guillen-Salà A, et al.: Inspiratory and expiratory muscle training in subacute stroke. *Neurology* 85(7) : 564-572, 2015
- 245) Guillén-Solà, Messagi Sartor M, et al. Respiratory muscle strength training and neuromuscular electrical stimulation in subacute dysphagic stroke patients: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil*: 2016 (Epub ahead of print)
- 246) Hegland KW, Davenport PW, et al.: Rehabilitation of swallowing and cough functions following stroke: an expiratory muscle strength training trial. *Arch Phys Med Rehabil* 97(8) : 1345-1351, 2016
- 247) Jo MR, Kim NS: The correlation of respiratory muscle strength and cough capacity in stroke patients. *J Phys Ther Sci* 28(10) : 2803-2085, 2016
- 248) Molassiotis A, Charalambous A, et al.: The effect of resistance inspiratory muscle training in the management of breathlessness in patients with thoracic malignancies: a feasibility randomized trial. *Support Care Cancer* 23(6) : 1637-1645, 2015
- 249) Dos Santos Silva M, Ramos LR, Influence of inspiratory muscle training on changes in fasting hyperglycemia in the older adult: the epidoso project. *J Diabetes Sci Technol* 9(6) : 1352-1353, 2015
- 250) Zeren M, Demir R, et al.: Effects of inspiratory muscle training on pulmonary function, respiratory muscle strength and functional capacity in patients with atrial fibrillation: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil* 30(12) : 1165-1174, 2016
- 251) Wirth B, Ferreira TD, et al.: Respiratory muscle endurance training reduces chronic neck pain: A pilot study. *J Back Musculoskeletal Rehabil* 29(4) : 825-834, 2016
- 252) Silva VG, Amaral C, et al.: Effects of inspiratory muscle training in hemodialysis patients. *J Bras Nefrol* 33(1) : 45-51, 2011
- 253) Pellizzaro CO, Thomé FS, et al.: Effect of peripheral and respiratory muscle training on the functional capacity of hemodialysis patients. *Ren Fail* 35(2) : 189-197, 2013
- 254) Cebrià i Iranzo Md, Arnall DA, et al.: Effects of inspiratory muscle training and yoga breathing exercise on respiratory muscle function in institutionalized frail older adults: a randomized controlled trial. *J Geriatr Phys Ther* 37(2) : 65-75, 2014
- 255) Corrêa AP, Ribeiro JP, et al.: Inspiratory muscle training in type 2 diabetes with inspiratory muscle weakness. *Med Sci Exerc* 43(7) : 1135-1141, 2011
- 256) Edwards AM, Maguire GP, et al.: Four weeks of inspiratory muscle training improves self-paced walking

- performance in overweight and obese adults: a randomized controlled trial. *J Obes*: 2012
- 257) Tenório LH, Santos AC, et al.: The influence of inspiratory muscle training on diaphragmatic mobility, pulmonary function and maximum respiratory pressures in morbidly obese individuals: a pilot study. *Disabil Rehabil* 35(22) : 1915-1920, 2013
- 258) Edwards AM, Graham D, et al.: Efficacy of inspiratory muscle training as a practical and minimally intrusive technique to aid functional fitness among adults with obesity. *Respir Physiol Neurobiol* 234: 85-88, 2016
- 259) Budweiser S, Moertl M, et al.: Respiratory muscle training in restrictive thoracic disease: a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil* 87(12) : 1559-1565, 2006
- 260) 安藤可織, 西崎真理・他: 肺高血圧症患者に対する呼吸筋トレーニングの有用性. *心臓リハビリテーション* 18(1) : 124-129, 2013
- 261) Sağlam M, Arikan H, et al.: Inspiratory muscle training in pulmonary arterial hypertension. *J Cardiopulm Rehabil Prev* 35(3) : 198-206, 2015
- 262) Laoutaris ID, Dritsas A, et al.: Benefits of inspiratory muscle training in patients with pulmonary hypertension: A pilot study. *Hellenic J Cardiol* 57: 289-291, 2016
- 263) Barđi G, Güçlü MB, et al.: Inspiratory muscle training in allogeneic hematopoietic stem cell transplantation recipients: a randomized controlled trial. *Support Care Cancer* 24(2) : 647-659, 2016
- 264) Kaminski DM, Schaan BD, et al.: Inspiratory muscle training in patients with diabetic autonomic neuropathy: a randomized clinical trial. *Clin Auton Res* 25(4): 263-266, 2015
- 265) Karadalli MN, Boşnak-Güçlü M, et al.: Effects of inspiratory muscle training in subjects with sarcoidosis : a randomized controlled clinical trial. *Respir Care* 61 (4) : 483-494, 2016
- 266) Drăgoi RG, Amaricai E, et al.: Inspiratory muscle training improves aerobic capacity and pulmonary function in patients with ankylosing spondylitis: a randomized controlled study. *Clin Rehabil* 30(4) : 340-346, 2016

The effects and evidence of respiratory muscle training in patients with various diseases

Makoto SASAKI

Department of Physical Therapy, Graduate School of Health Sciences, Akita University

Abstract

Patients with respiratory diseases and certain other diseases experience a reduction in respiratory muscle strength. The decline of inspiratory muscle strength, which is caused by various factors that are associated with these diseases, causes breathlessness, reduces the exercise capacity and the ability to perform activities of daily living (ADL), and is associated with a decline in the quality of life (QOL). In addition, expiratory muscle weakness may increase the risk of pulmonary complications by limiting the cough capacity, causing the retention of internal respiratory tract secretions or cause aspiration. Expiratory muscle fatigue due to expiratory muscle weakness may increase the effort associated with breathing during exercise and ADL. Consequently, this may reduce the exercise capacity, the ability to perform ADL, and the QOL. This suggests that inspiratory muscle training (IMT) should be considered in pulmonary rehabilitation. There have been numerous clinical trials, several systematic reviews, a meta-analysis and a Cochrane review on the effects of IMT, and guidelines and statements about IMT have been developed. On the other hand, there are relatively few reports on the effects of the expiratory muscle training (EMT), and the supporting evidence is currently insufficient. This review investigates the effects of IMT and EMT in various diseases and provides evidence of the influence of IMT and EMT on the strength and endurance of the respiratory muscles, symptoms, the pulmonary function, the cough capacity, the exercise capacity, the ability to perform ADL, the QOL, and other factors.