

総説：秋田大学保健学専攻紀要25(2)：71-81, 2017

## 慢性閉塞性肺疾患患者における運動トレーニング —上肢トレーニングと付加的介入を伴う全身持久力トレーニング—

佐々木 誠

### 要 旨

慢性閉塞性肺疾患 (chronic obstructive pulmonary disease : COPD) は気道閉塞と気道の慢性炎症に特徴づけられる疾患である。臨床症状には呼吸困難, 疲労, 運動耐容能の低下, 身体活動の減少, 生活の質の低減が含まれる。COPD 患者は, 筋機能不全, 日常生活活動の制限, 睡眠障害, 気分の不調を頻繁に呈し, さらにバランス能力の低下を伴う可能性がある。運動トレーニングは, COPD 患者のこれらの病態と症状を改善し長期的なアウトカムを向上させることが期待される。上肢トレーニングはプログラムの構成要素として組み込まれ, また, 付加的介入 (酸素投与や非侵襲的陽圧換気) は全身持久力トレーニング実施の際に併用が試みられている。本総説の目的は COPD 患者を対象とした上肢を使用した運動・活動の生体への影響, 上肢トレーニングと付加的介入を伴う全身持久力トレーニングについて, 期待される効果, 急性効果, 長期効果, エビデンスに言及することである。それぞれの介入が始まってから2017年までの論文を概観すると, いくつかの未解決の争点が認められた。これらについて, さらなる検討によるエビデンスの構築が重要であると考えられる。

### I. はじめに

慢性閉塞性肺疾患 (chronic obstructive pulmonary disease : COPD) は気道閉塞と気道の慢性炎症に特徴づけられる疾患である。臨床症状には呼吸困難, 疲労, 運動耐容能の低下, 身体活動の減少, 健康に関連する生活の質 (quality of life : QOL) の低減が含まれる。COPD 患者は, 身体組成の変化, 呼吸筋ならびに骨格筋の機能不全, 日常生活活動 (activities of daily living : ADL) の制限, 睡眠障害, 不安や抑うつを頻繁に呈し, さらにバランスや姿勢調節の低下を伴う可能性がある。運動トレーニングは, COPD 患者のこれらの病態と症状を改善すること, 救急外来の受診, 入院回数, 死亡率を減少させることが期待され, 呼吸リハビリテーションの中軸をなすものである。その種類として全身持久力トレーニング (有酸素トレーニング), レジスタンストレーニング (筋力トレーニング), バランストレーニング, これらを組み合わせた併用ト

レーニングが挙げられる。それぞれ強度, 時間または回数, 頻度, 期間が決定され処方される。

本総説では COPD 患者を対象とした上肢を使用した運動・活動による生体反応, これの下肢運動時との比較, 上肢トレーニングと, 補助的酸素投与下ならびに非侵襲的陽圧換気 (noninvasive positive pressure ventilation : NPPV) を付加した場合の全身持久力トレーニングについて, 期待される効果, 急性効果, 長期効果, エビデンスに言及する。

### II. 上肢トレーニング

#### 1. 上肢を使用した運動・活動による生体反応

1973年に Tangri と Woolf<sup>1)</sup> が, COPD 患者において, 上肢を使用する日常活動を行うと不規則で速い呼吸となることを報告して以来, 上肢を使用した運動・活動による生体の反応についての検討がなされるようになった。COPD 患者は, 上肢挙上によって肺活量

が減少し<sup>2)</sup>、上肢運動で最大吸気量が低下する<sup>3)</sup>ことが示されている。気流制限のある患者は、単に上肢を挙上しただけで酸素摂取量、二酸化炭素排出量、分時換気量が増し<sup>4,5)</sup>、横隔膜、呼吸補助筋、呼吸筋の動員が高まる<sup>5)</sup>ことが認められている。Celliら<sup>6)</sup>は、下肢運動では生じないが、支持なしの上肢運動により胸郭と腹部が非同調な呼吸となる COPD 患者がいることを示した。上肢の挙上に伴い、上肢挙上と体幹固定のために上肢よりも近位の筋の活動が動員されるために、体幹の呼吸筋ならびに呼吸補助筋が早く疲労して呼吸への関与が制限され、横隔膜の動員が促されることが要因とされている<sup>6)</sup>。

## 2. 上肢運動の下肢運動との比較

COPD 患者は、下肢を使用した身体活動よりも仕事量が少ないと考えられる上肢を使用した身体活動で著しい制限を受けることが知られている<sup>6,7)</sup>。自転車エルゴメーターでの運動負荷試験と上肢エルゴメーターでの運動負荷試験との比較で、最大運動時の仕事量、酸素摂取量、分時換気量は上肢を使用した場合の方が低いことが示されている<sup>8)</sup>。この理由として、上肢は下肢よりも筋量が少なく、上肢筋は同じ酸素摂取量に到達するのにより大きな筋活動が必要のため<sup>9)</sup>、および、上肢の使用によって呼吸筋や呼吸補助筋の呼吸への関与が阻害され換気制限が生じるため<sup>9)</sup>と考えられている。上肢運動テストと、上肢運動での最大酸素摂取量と同等の値まで負荷をかけた下肢運動テストでの反応を比較した検討<sup>3)</sup>がある。上肢運動は下肢運動よりも、分時換気量の増加、最大換気量に対する分時換気量の比の上昇、呼吸困難感の増大が著しく、最大吸気量の低下が顕著であり、運動による分時換気量の上昇と最大吸気量の低下との間には相関があることが認められている。結果より、上肢運動は換気と呼吸困難感を増ししやすい運動形態であり、これらの変化には動的肺過膨張が関与していると考えられる。しかし、上肢運動中の COPD 患者の胸郭と腹部の動きを分析した検討<sup>10)</sup>では、胸郭の動的過膨張を認めず、時に上部あるいは下部胸郭が内方に偏位することを認めている。そして、胸郭の動的過膨張や非同調な呼吸は呼吸困難感と関連しないことが示されている。

## 3. 上肢の支持なし運動と日常生活活動

COPD 患者は、上肢を使用した ADL (床掃除、黒板消し、ポットの持ち上げ、電球の取り換え) の反復遂行によって、呼吸困難感が増し、酸素摂取量が最大の 43~61%、分時換気量が最大換気量の 51~62% にまで達すると報告されている<sup>11)</sup>。ADL は、上肢エルゴ

メーターでの運動のような客体に上肢が支持された活動よりも、上肢挙上のような上肢が自由空間で運動するような活動の方が多い。COPD 患者において、支持ありの上肢挙上条件では認めないが、支持なしの上肢挙上条件では、上肢を挙上しない条件よりも下肢運動の実施前ならびに実施中の酸素摂取量、二酸化炭素排出量、分時換気量の増加が大きく、息切れの程度が増す<sup>2)</sup>ことが認められている。COPD 患者を対象に、支持なしの上肢運動、支持ありの上肢運動、下肢運動それぞれの漸増運動負荷試験を行った結果、支持なしの上肢運動負荷試験における最大負荷時の酸素摂取量、分時換気量、最大換気量に対する分時換気量の比が、他の 2 つの運動負荷試験のそれよりも低かった<sup>12)</sup>とされている。活動の内容と量、生体反応の相違から、上肢の支持なし運動は支持あり運動と区別されて処方される。運動の第二の原理、特異性の原理(運動トレーニングの効果は、行った運動様式および使用された筋に依存する)に基づけば、上肢を使用した ADL の障害の改善のためには支持なしの上肢運動トレーニングを実施するのが最も効果的と考えられる。一方、上肢エルゴメーターでの運動トレーニングは、定量的に負荷をかけられる利点がある。トレーニングの目的と利点・欠点を勘案して運動処方する必要がある。

## 4. 上肢トレーニングの生理学的測定項目に対する効果

上肢トレーニングの効果に関して、Couserら<sup>4)</sup>は、自転車エルゴメーターによる下肢トレーニングに加えて上肢トレーニングを行った気流制限のある患者では、上肢挙上時の代謝と換気の充進が低下することを示した。Belman と Kendregan<sup>13)</sup>は、上肢でのクラック運動トレーニングは上肢使用の持久力を高め、下肢でのエルゴメータートレーニングは下肢持久力を向上させ、これらの交互の波及効果はなかったとしている。Romagnoliら<sup>14)</sup>は、自転車漕ぎに伴って行った支持なしの上肢トレーニングによって、胸郭と腹部の動きが変化しないままで、上肢運動の持続時間が延長し代謝と換気反応が低下することに加えて、呼吸努力感と上肢努力感が減少することを報告した。Gigliottiら<sup>15)</sup>は、歩行トレーニングと上肢の支持あり・支持なしトレーニングを組み合わせた群と、トレーニングを行わない対照群を比較している。トレーニング群は、上肢漸増運動負荷試験における最大仕事量が増し、最大吸気量の低下が改善(減少)し、上肢での同一運動負荷中の心拍数、分時換気量、呼吸困難感、上肢努力感が減少したとの結果を得ている。また、トレーニングによる運動時の最大吸気量低下の改善は、呼吸困難感・上肢努力感の変化および酸素摂取量の増加と相関

があったとしている。上肢トレーニングによる自覚症状や運動能力の改善の背景には動的肺過膨張の是正の影響があることが示唆されている。

Martinez ら<sup>16)</sup> は、下肢トレーニングと呼吸筋トレーニングに 2 種類のいずれかの上肢トレーニングを加えて、支持ありの上肢トレーニング群と支持なしの上肢トレーニング群の効果を比較している。上肢エルゴメトリーの結果は両群で同等であったが、重量物の移動テストの持久時間の延長と酸素摂取量上昇の低下、2 分間上肢挙上テストにおける酸素摂取量上昇の抑制は、支持なし群の方が顕著であったとしている。そして、支持なしの上肢運動は ADL で典型的に用いられるので、その変化は臨床的意義が大きいと考察している。

McKeough ら<sup>17)</sup> は、上肢での持久カトレトレーニング群、上肢での筋カトレトレーニング群、これらの併用群と対照群を比較している。いずれのトレーニング群も上肢運動負荷試験の持続時間が延長したが、持久カトレトレーニング群のみが対照群と有意な差があったとしている。また、運動負荷試験終了時の呼吸困難感と自覚的運動強度は、他の群と比較して併用群で大きく低下したことを報告している。

## 5. 上肢トレーニングの日常生活活動に対する効果

COPD 患者での上肢トレーニングの ADL に対する効果について検討した報告として、Ries ら<sup>7)</sup> は、上肢トレーニング群では、上肢挙上テストの回数が増加し等速性上肢エルゴメトリーの持続時間が延長したが、吸気筋持久力、模擬的に行かせた ADL の能力に変化がなかったと報告している。Velloso ら<sup>18)</sup> は、固有受容性神経筋促進法 (proprioceptive neuromuscular facilitation : PNF) に基づく肩甲帯の対角線運動トレーニングを実施している。上肢筋力が増強し、上肢漸増運動負荷試験における呼吸数、呼吸困難感、上肢疲労感が低下したとの結果を得ているが、ADL 遂行課題中の生理学的ならびに自覚的パラメータの改善は認めていない。これらの報告に対して、Marrara ら<sup>19)</sup> は、下肢トレーニングと上肢トレーニングの日常的活動 (黒板消し、重量物の持ち上げ、階段昇段、トレッドミル歩行) に対する効果について臨床試験を行い、下肢トレーニング群は歩行課題における最大換気量に対する分時換気量の比が低下、上肢トレーニング群は黒板消し課題と歩行課題におけるそれが減少し、呼吸困難感は下肢トレーニング群の歩行課題のみで改善を認めたとしている。上肢トレーニングは上肢を使用した日常的活動の能力を改善するので、上肢トレーニングを加えることは有益であることが示唆されるとしてい

る。Costi ら<sup>20)</sup> も、支持なしの上肢トレーニングの結果、6 分間輪を移動するテストの成績、上肢を使用した ADL の能力、疲労感が改善し、前 2 者の効果は 6 カ月後も持続していたと報告している。

## 6. 上肢トレーニングの健康に関連した生活の質に対する効果

COPD 患者における上肢トレーニングの健康関連 QOL に対する効果に言及した報告として、Holland ら<sup>21)</sup> は、下肢持久カトレトレーニング群と下肢持久カトレトレーニングに上肢持久カトレトレーニングを加えた群とで効果を比較している。上肢トレーニングを併用した群のみで上肢運動の持久時間は改善したが、6 分間歩行距離の改善と運動負荷試験における自覚症状、QOL の向上に群間差を認めなかったとしている。Rao と Sahoo<sup>22)</sup> は、上肢トレーニング群、歩行群、上下肢トレーニング併用群の 3 群でトレーニングの効果を比較している。上肢トレーニング群は 6 分間歩行距離が変化せず上肢漸増運動負荷試験の成績が向上し、下肢トレーニング群は上肢運動負荷試験の成績が変化せず 6 分間歩行試験における歩行距離が延長し、併用群では両試験の成績が改善したとしている。健康関連 QOL はいずれの群でも同程度の向上を認めている。

## 7. 上肢トレーニングの効果についての小括

以上より、COPD 患者において、上肢トレーニングは上肢での運動能力を特異的に向上すること、この効果は支持ありよりも支持なしの上肢トレーニングの方が顕著なこと、上肢での持久カトレトレーニングは上肢の筋カトレトレーニングや両トレーニングを組み合わせた場合よりも上肢での運動能力を高め、併用トレーニングは上肢運動に伴う自覚症状を特に減少させること、限られた報告が上肢を使用した ADL の能力を改善する効果があるとしていること、健康関連 QOL については上肢トレーニングの下肢トレーニングへの追加的効果はないことが示唆される。

## 8. 上肢トレーニングのエビデンス

COPD 患者における上肢トレーニングの効果のエビデンスについて、1997年の American College of Chest Physicians (ACCP) と American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation (AACVPR) のガイドライン<sup>23)</sup> では、「上肢の筋力と持久力のトレーニングにより、COPD 患者の上肢機能が改善する。上肢の運動は安全であり、COPD 患者のリハビリテーションプログラムに含めるべきである。」とされ、科学的根拠の強さは B とされた。2006年の American

Thoracic Society (ATS) と European Respiratory Society (ERS) のステートメント<sup>24)</sup> は、上肢トレーニングの活用を勧めている。2007年の ACCP/AACVPR のガイドライン<sup>25)</sup> では、「支持なしの上肢持久カトレは COPD 患者において有効であり、呼吸リハビリテーションプログラムに含めるべきである。」と勧告され、科学的根拠の強さは A とされている。2009年の Costi らのシステマティックレビュー<sup>26)</sup> では、気流制限のある患者における上肢トレーニングの最大運動能力、呼吸困難感、健康関連 QOL に対する効果について一致した見解が得られておらず、上肢の疲労感に対する効果はないとされている。同年の Janaudis-Ferreira らのシステマティックレビュー<sup>27)</sup> は、COPD 患者の上肢トレーニングは上肢の運動能力に対して効果があるが、呼吸困難感、上肢の疲労、健康関連 QOL に対する効果は明らかにされていないとしている。2010年の Kathiresan らのメタアナリシス<sup>28)</sup> では、支持なしの上肢トレーニングは上肢の持久性を高め、上肢のレジスタンストレーニングは上肢の筋力を増大し、支持なしのトレーニングと支持ありの上肢トレーニングを併用すると、上肢の最大運動能力に対して大きな効果があるとされている。2012年の Pan らのメタアナリシス<sup>29)</sup> では、COPD 患者における支持なし運動は、ADL 中の呼吸困難感と上肢の疲労感を緩和するが臨床的意味はないこと、運動負荷試験中の呼吸困難感と上肢の疲労感に対しては効果がないことが示されている。2013年の ATS/ERS のステートメント<sup>30)</sup> では、上肢トレーニングは上肢での遂行能力を高めるが、ADL 中の呼吸困難感や健康関連 QOL への影響は不明であることが記述されている。2016年のコクランライブラリー<sup>31)</sup> では、上肢トレーニング群はトレーニングなし群と比較して、呼吸困難感がわずかに改善すること、健康関連 QOL に差はないが支持なし運動能力が向上することが示されている。下肢トレーニングに上肢トレーニングを加えた場合には、下肢トレーニング単独と比べて、呼吸困難感と QOL に差がないものの、支持なし運動能力を高めることが記されている。また、上肢の持久カトレは上肢のレジスタンストレーニングよりも上肢の持久力が高まるとされている。一方、上肢トレーニングは呼吸筋力、身体活動量、ADL、ヘルスケアの利用に対して効果がないことが示されている。

### III. 全身持久カトレへの補助的酸素投与の効果

#### 1. 運動に伴う生体反応と酸素投与により期待される効果

運動時には換気需要の増大が生じるが、COPD 患者ではその際に呼気流量制限が増大される。呼気時間の制限は内因性呼気終末陽圧を増加させ動的肺過膨張を来し、これに伴い 1 回換気量の制限、横隔膜の平坦化による収縮効率の低下、さらに呼吸仕事量の増大を引き起こす。これらの機序によって呼吸筋疲労、換気不全とこれに伴う低酸素血症がもたらされ、呼吸困難を自覚し運動耐容能が低減される。

COPD 患者に対して、運動中に酸素投与を行うと、運動に伴う動脈血酸素分圧の低下が軽減され、低酸素状態が改善されるとともに、頸動脈小体の反応の抑制によって呼吸ドライブが低下し換気需要が減少する。これに伴う分時換気量の減少は、1 回換気量の減少よりも呼吸数の減少で達成される。この結果、速く浅い呼吸パターンが改善される可能性がある。また、各呼吸の呼気流速が低下し、高い肺気位での呼気の早い終了が改善され、これによって動的肺過膨張の程度が減じられることが期待される。呼吸パターンの改善と動的肺過膨張の是正は、横隔膜の収縮効率を上昇し呼吸仕事量を減少させる。これにより呼吸筋疲労が生じづらくなり、低酸素状態と呼吸パターンの改善と相まって運動時の呼吸困難感を緩和し、運動の持久力を向上すると考えられる。

#### 2. 運動時酸素投与の急性効果

COPD 患者における運動に対する酸素投与の急性効果に関して、O'Donnell ら<sup>32)</sup> は、最大運動能力の約 50%での運動を実施させ、室内空気と 60%酸素投与下で比較している。室内空気の場合と比べて酸素投与下の運動では、酸素飽和度が高く、運動時間が長く、最大吸気量と予備吸気量が高値で吸気終末肺容量が低値であったこと、運動の最中の呼吸困難感と下肢疲労感が低く抑えられたことを報告し、酸素投与による運動時間の延長は、換気需要の減少と肺気位の改善、ならびに呼吸困難感の緩和の複合的作用で部分的に説明されると結論づけている。Revill ら<sup>33)</sup> は、一定負荷シャトル・ウォーキングテストへの効果について、酸素投与は運動持続時間を延長するが、呼吸困難感と努力感に関しては室内空気での施行と差がなかったとしている。Maltais ら<sup>34)</sup> は、症候限界下運動時の酸素投与の効果、下肢の血流などを含めて検討している。75%酸素投与により、酸素飽和度が高値で最大運動能力が高まり、下肢の血流、下肢への酸素運搬、下肢におけ

る酸素摂取が上昇し、呼吸困難感、分時換気量が低下したとの結果を得ている。運動能力の増大は、下肢への酸素運搬、下肢での酸素摂取、呼吸困難感と相関があることが示されている。Somfay ら<sup>35)</sup> は、酸素投与の濃度をいくつか設定し運動負荷試験の成績に対する効果をみている。酸素投与により運動持続時間が延長し（吸入気酸素濃度が30%よりも50%の方が、程度が大きい）、呼吸困難感が軽減し、酸素飽和度が高値となり、心拍数と分時換気量が低下（1回換気量が室内空気での運動時と同値、呼吸数が低値）し、最大吸気量と予備吸気量が高値、吸気終末肺容量と呼気終末肺容量が低値であったことを報告している。運動持続時間の延長は吸気終末肺容量ならびに呼気終末肺容量と相関があり、呼吸困難感は呼吸数と相関があったとしている。運動時間の延長と呼吸困難感の軽減は、動的肺過膨張の改善やゆっくりした呼吸パターンによってもたらされ、これらの効果は50%酸素投与で最も高いとしている。Somfay ら<sup>36)</sup> は別の報告で、COPD 患者と健常者における40%酸素投与下での運動時の生理学的パラメータについて、室内空気でのそれと比較している。COPD 患者では、運動終了時の分時換気量が低値であること、酸素摂取量の動態の速度を増さないが、両群で二酸化炭素排出量と分時換気量の反応動態を遅らせること、運動によって乳酸値のわずかな増加を認めたが、この増加は酸素摂取量の時定数と相関がなかったことを認めている。結果から、酸素投与によってもたらされる換気需要の低下は、筋機能の改善と関連せず、直接的な化学受容体の抑制により生じるとしている。Fujimoto ら<sup>37)</sup> は、2 L/min の酸素吸入が COPD 患者の6分間歩行距離を長くし酸素飽和度を高いままで保つこと、さらに運動に伴う肺動脈圧の上昇を減じることを見出している。Dreher ら<sup>38)</sup> は、処方されている酸素吸入量とその倍量での酸素投与下で12分間歩行試験を施行させ、歩行距離、歩行中の動脈血酸素分圧の低下、呼吸困難感と下肢努力感の程度に差がないことを示している。Amann ら<sup>39)</sup> は、COPD 患者は60%酸素投与により一定負荷の自転車漕ぎ運動の持久時間に改善を認めなかったが、吸気筋と呼気筋の仕事量が低下し、酸素飽和度が高値、心拍数が低下、呼吸困難感と下肢疲労感が緩和され、分時換気量と呼吸数の減少、最大吸気量の上昇と吸気終末肺容量の低下が生じ、運動後に筋出力に変化がなかったが最大随意収縮値の低下が改善したとしている。Voduc ら<sup>40)</sup> は、一定負荷運動試験に対する酸素投与の効果として、運動持続時間が延び、換気量が増し、最大吸気量が増加したとしている。Jarosch ら<sup>41)</sup> は、2 L/min の酸素投与により6分間歩行距離が延長すること、こ

の効果は低酸素状態にならない群では認められず、安静時低酸素血症ならびに運動誘発性低酸素血症を有する COPD 患者群で認められることを報告している。

これらの検討結果から、一部の報告を除いて COPD 患者に対する酸素投与による即時的な運動能力の改善が示され、その機序が多元的であることが明らかとなっている。

### 3. 酸素投与下トレーニングの長期効果

COPD 患者の運動時における酸素投与の様々な好ましい急性効果が認められており、一定期間酸素投与下でトレーニングした場合の長期効果についても臨床試験が行われている。Garrod ら<sup>42)</sup> は、4 L/min の酸素投与下で持久力トレーニングを6週間行った COPD 患者は、室内空気下でトレーニングした群と比較して、運動負荷試験中の呼吸困難感が軽減されるものの、シャトル・ウォーキングテストの歩行距離、ADL、健康関連 QOL、不安と抑うつ改善に差がなかったとしている。Wadell ら<sup>43)</sup> は、5 L/min の酸素投与下での8週間にわたる歩行トレーニングの結果、室内空気下での6分間歩行試験における歩行距離の延長は対照群と同程度であり、酸素投与下での6分間歩行試験では、室内空気下でのトレーニング群では認めなかった歩行距離の改善、努力感と呼吸困難感の低下が認められたとしている。Emtner ら<sup>44)</sup> は、COPD 患者に自転車エルゴメーターでのトレーニングを行わせ、酸素投与群は酸素投与なしでトレーニングした対照群と比較して、期間中のトレーニング強度が高く保たれ、7週間のトレーニング後、最大仕事量と最大の分時換気量が上昇し、同一負荷の運動試験の持続時間が延び、1回換気量の増加と呼吸数の減少（呼吸パターンの改善）を認め、呼吸困難感が緩和されたとしている。Helgerud ら<sup>45)</sup> は、酸素投与下での歩行によるインターバルトレーニングを8週間実施させ、最大酸素摂取量と最大仕事量が増加し、仕事量に対する酸素摂取量の比および換気当量が低下、健康関連 QOL が改善したことを示している。Scorsone ら<sup>46)</sup> は、COPD 患者を室内空気、60%ヘリウムと40%酸素、60%酸素をそれぞれ吸入する群に振り分け、8週間の下肢トレーニングを行わせ、運動負荷試験に対する効果を検討している。最大仕事量が増加し、運動持続時間が延長、同一負荷強度での呼吸困難感と下肢不快感が緩和されたが、いずれも群間差を認めなかったとしている。Dyer ら<sup>47)</sup> は、6～7週間、歩行に加えて筋力トレーニングを実施させた結果、一定負荷シャトル・ウォーキングテストでの歩行距離が延び、これは室内空気下でのトレーニング群よりも酸素投与下での

トレーニング群の方が顕著であったこと、QOLの一部が酸素投与群のみで向上したことを報告している。Neunhäusererら<sup>48)</sup>は、全身持久力のインターバルトレーニングにレジスタンストレーニングを加えて6週間酸素投与下のトレーニングを施行したCOPD患者は、筋力、不安と抑うつに変化を認めなかったが、最大仕事量が増したとしている。

#### 4. 酸素投与下トレーニングのエビデンス

COPD患者における酸素投与下の運動トレーニングが運動能力、呼吸困難感、健康関連QOL、その他に及ぼす影響について、肯定的な結果と否定的な結果の両者が提示されている。このエビデンスに関して、2004年のPuhanらのメタアナリシス<sup>49)</sup>では、運動トレーニングに酸素投与を付加すると、QOLを改善する傾向があるが臨床的に有意ではなく、一定負荷試験で運動の時間が長い傾向にあるが、歩行距離の延長は室内空気下の方が顕著であるとされている。2007年のコクランライブラリー<sup>50)</sup>は、酸素投与下での運動トレーニングは、一定負荷試験の運動時間を延長し、運動終了時の呼吸困難感を低下させるが、6分間歩行距離、シャトル・ウォーキングテストの歩行距離、健康関連QOL、あるいは酸素飽和度を改善する効果は認められないとしている。2007年のACCP/AACVPRのガイドライン<sup>25)</sup>では、「補足的な酸素投与は、重篤な運動誘発性の低酸素症を呈する患者において、リハビリテーションにおける運動トレーニング中に使用されるべきである。」「高強度の運動プログラム中に活用される補足的な酸素投与は、運動持久性を改善するかもしれない。」と勧告され、推奨のグレードはCとされている。2013年のATS/ERSのステートメント<sup>30)</sup>は、COPD患者の運動トレーニング中の追加的な酸素の使用に触れているが、その効果に対する賛否について明確には言及していない。2013年のBritish Thoracic Society (BTS)のガイドライン<sup>51)</sup>では、「補足的な酸素投与は、呼吸リハビリテーションを行っているすべての患者でルーチンに使用すべきではない。(推奨のグレードB)」「代替りの基準を使用する臨床上的理由がない限り、呼吸リハビリテーション中の補足的な酸素投与は、長期または歩行時に酸素投与をするための評価基準を満たす者に提供されるべきである。(推奨のグレードD)」とされている。

#### IV. 全身持久カトレーニングへの非侵襲的陽圧換気の付加の効果

##### 1. 運動時の非侵襲的陽圧換気により期待される効果

COPD患者において、運動中のNPPVの適用は、機械的に換気を補助することで呼吸仕事量を減少させ、気流制限を緩和させる。そして、動的肺過膨張や呼吸筋疲労の発生を軽減させることで呼吸困難感を改善し、換気不全を減少させることで低酸素状態を緩和させることが期待される。

##### 2. 運動時の非侵襲的陽圧換気使用の急性効果

COPD患者における運動中のNPPV使用の急性効果について、O'Donnellら<sup>52)</sup>は、持続的気道陽圧 (continuous positive airway pressure: CPAP) が運動時の呼吸困難感を軽減することを認めている。呼吸困難感の改善は、continuous positive expiratory pressure (CPEP) では示されず continuous positive inspiratory pressure (CPIP) で生じたことから、主に吸気筋の負荷を軽減することで得られたと考察している。Maltaisら<sup>53)</sup>は、圧支持換気 (pressure supported ventilation: PSV) は運動中の分時換気量を増加させ (1回換気量と呼吸数の増加)、吸気努力を減じ (食道内圧と経横隔膜圧の低下)、呼吸困難感を軽減している。対してAnekweら<sup>54)</sup>は、PSVの使用により安静時に改善した呼吸パターン、代謝パラメータは運動中に無効となり、最大仕事量もPSVなしの条件と差がなかったと報告している。DolmageとGoldstein<sup>55)</sup>は、proportional assist ventilation (PAV) とCPAP、これらの併用によって運動時の呼吸困難感が軽減されなかったとし、併用群のみで運動時間の延長と分時換気量の増加を認めている。Bianchiら<sup>56)</sup>は、CPAP、PSV、PAVのいずれも運動時間の延長、運動時の呼吸困難感と酸素投与の流量の減少が示され、この効果は特にPAVで大きかったとしている。Revillら<sup>33)</sup>は、inspiratory pressure support (IPS) は一定負荷シャトル・ウォーキングテストの運動時間を延長せず、テスト中の呼吸困難感も努力感が軽減しなかったとしている。Hernandezら<sup>57)</sup>は、運動時にPAVを用いることで運動持続時間は延び、呼吸パターン、動脈血酸素分圧、呼吸困難感が改善したことを報告している。van 't Hulら<sup>58)</sup>は、IPSの設定を5cmH<sub>2</sub>O、10cmH<sub>2</sub>Oとした場合の効果を検討している。両条件で1回換気量が増し呼吸数が減少したこと、5cmH<sub>2</sub>Oの条件では認めなかったが10cmH<sub>2</sub>Oの条件で運動持続時間が長くなったことを示している。Dreherら<sup>59)</sup>は、運動へのNPPVの追加は動脈血酸素分圧の低下

を抑制し、呼吸困難感を軽減、6分間歩行距離を延長するとしている。Borghi-Silvaら<sup>60)</sup>は、PAVを運動に付加すると、酸素摂取量を増加、乳酸値を低下させ、呼吸困難感と下肢努力感を低減させること、心拍数を変化させず(1回拍出量、心拍数が不変)、動脈血酸素飽和度がPAVなしの条件と差がないこと、筋の酸素化能が高まることを明らかにしている。Menadueら<sup>61)</sup>は、NPPVが、支持なしの上肢漸増負荷試験の成績に対して効果があった(動脈血酸素飽和度が高値、呼吸困難感と努力感が低値、運動時間が延長)が、一定負荷シャトル・ウォーキングテストでは一部のパラメータに対して有効(動脈血酸素飽和度が高値、心拍数が高値)であったものの、運動持続時間は変化がなかったと報告している。Dreherら<sup>38)</sup>は、2種類の用量の酸素投与群と酸素投与にNPPVを併用した群を設定し、12分間歩行試験を行っている。併用群は、動脈血酸素分圧が高く保たれたが、呼吸困難感と下肢努力感他は他の群と差がなく、歩行距離は逆に短くなったとしている。この検討では酸素投与とNPPVの装置を患者自身に背負わせており、併用群は酸素投与群よりも外的な重量負荷が大きかった可能性がある。Amannら<sup>39)</sup>は、PAVにより、一定負荷エルゴメトリーの運動持続時間は延長されなかったが、運動中の呼吸筋の仕事が少なく、動脈血酸素飽和度が高く、呼吸困難感と下肢疲労感が低値、分時換気量が高値であり、大腿四頭筋の筋出力は差がなかったが最大随意収縮の低下が改善したと報告している。

### 3. 非侵襲的陽圧換気併用下トレーニングの長期効果

急性効果の検討に加えて、COPD患者を対象に運動にNPPVを併用して一定期間トレーニングをした場合の効果に関する臨床試験が行われている。ランダム化比較試験(randomized controlled trial: RCT)で検討した嚆矢は2000年のGarrodらの報告<sup>62)</sup>である。Garrodら<sup>62)</sup>は、COPD患者にNPPV下で歩行と自転車漕ぎ、上下肢トレーニングを8週間行わせ、トレーニング期間後、シャトル・ウォーキングテストの距離が延び、テスト中の動脈血酸素分圧が高値であり、健康関連QOLが向上したこと、ADL能力ならびに不安と抑うつ改善は対照群と差がなかったことを示した。その後の報告には、運動持続時間が延長したとするもの<sup>63-65)</sup>とNPPVなしでトレーニングをした対照群と差がなかったとするもの<sup>66-68)</sup>の両者があり、6分間歩行試験で帰結評価をした臨床試験は、酸素投与下でトレーニングした対照群と比較して歩行距離が延長した<sup>69)</sup>としている。最大仕事量も対照群よりも著しく増加した<sup>64-66)</sup>との報告と、比較対照群と差がなかつ

た<sup>63,68)</sup>とする検討がある。また、最大運動時の酸素摂取量の増加、換気当量、死腔換気率の減少が対照群よりも顕著であった<sup>67,70,71)</sup>と報告されている。一定負荷での運動において、酸素摂取量、二酸化炭素排出量、分時換気量が減少した<sup>64)</sup>との報告がある。運動に伴う動脈血酸素飽和度の低下の改善は対照群と同等であるとされ<sup>67,71)</sup>、乳酸値は低下したとの報告<sup>71)</sup>と変化しなかったとの報告<sup>66,67)</sup>がある。運動中の呼吸困難感の軽減については対照群と差がなかった<sup>66)</sup>、あるいは向上した<sup>65)</sup>とされ、日常の活動中の呼吸困難感に群間差を認めていない<sup>68)</sup>。健康関連QOLの改善は、群間差がなかった<sup>39,64)</sup>と報告されている。なお、体重<sup>66)</sup>、呼吸機能<sup>66,68,70)</sup>には変化を認めておらず、呼吸筋力は増加したとの報告<sup>71)</sup>と変化しなかったとする報告<sup>68)</sup>がある。

### 4. 非侵襲的陽圧換気を併用した全身持久カトレーニングのエビデンス

COPD患者に対するNPPVを付加した運動トレーニングの効果に関するエビデンスについて、2002年のvan 't Hulらのメタアナリシス<sup>72)</sup>は、NPPVの付加は、即時効果として運動持久力と呼吸困難感に有効であるとしている。2007年のACCP/AACVPRのガイドライン<sup>25)</sup>では、「選択された重症なCOPD患者に対する運動トレーニングへの付加として、NPPVは運動遂行能力の幾分か追加的な改善をもたらす。」と勧告され、推奨のレベルはBとされている。2013年のATS/ERSのステートメント<sup>30)</sup>では、NPPVは、呼吸困難感の軽減、ガス交換の改善、分時換気量の増加、運動時間の延長に対して急性効果をもたらすので、呼吸リハビリテーションへの追加的療法として活用されるかもしれないとされている。2014年のRicciらのメタアナリシス<sup>73)</sup>は、さらなるRCTが必要としながらも、COPD患者でのNPPVはトレーニング後に心拍数、仕事負荷、酸素摂取量を改善するとしている。2014年のコクランライブラリー<sup>74)</sup>では、COPD患者における下肢トレーニング中のNPPVは、より高いトレーニング強度で運動すること、より大きな生理学的効果を得ることを可能にするが、運動能力への効果は不明瞭であるとされている。また、いくつかのエビデンスが、トレーニング中のNPPVが最大運動能力と持久性運動能力を改善することを示唆しているが、これらの知見は運動能力の他の測定項目にわたる一貫した結論を得ておらず、さらに、健康関連QOLに対する明確なエビデンスを見出せないとされている。

## V. おわりに

COPD 患者における上肢使用時の生体反応, 上肢トレーニングの効果とエビデンス, 補助的酸素投与下ならびに NPPV 併用下での全身持久カトレトレーニングによる, 期待される効果, 急性効果, 長期効果, エビデンスについて述べた. 上肢トレーニングでは, 上肢を使用した運動の能力以外のアウトカムに対する効果が不明なままであり, 酸素投与下と NPPV 併用下でのトレーニングでは, 臨床的に意味のある効果があるかないか明確ではない. これらの争点についてのさらなるエビデンスの構築が望まれる.

## 文 献

- 1) Tangri S, Woolf CR: The breathing pattern in chronic obstructive lung disease during the performance of some common daily activities. *Chest* 63(1): 126-127, 1973
- 2) Dolmage TE, Maestro L, et al.: The ventilator response to arm elevation of patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Chest* 104(4): 1097-1100, 1993
- 3) Porto EF, Castro AA, et al.: Exercises using the upper limbs hyperinflate COPD patients more than exercises using the lower limbs at the same metabolic demand. *Monaldi Arch Chest Dis* 71(1): 21-26, 2009
- 4) Couser JI Jr, Martinez FJ, et al.: Pulmonary rehabilitation that includes arm exercise reduces metabolic and ventilator requirements for simple arm elevation. *Chest* 103(1): 37-41, 1993
- 5) Martinez FJ, Couser JI, et al.: Respiratory response to arm elevation in patients with chronic airflow obstruction. *Am Rev Respir Dis* 143(3): 476-480, 1991
- 6) Celli BR, Rassulo J, et al.: Dyssynchronous breathing during arm but not leg exercise in patients with chronic airflow obstruction. *N Engl J Med* 314(23): 1485-1490, 1986
- 7) Ries AL, Ellis B, et al.: Upper extremity exercise training in chronic obstructive pulmonary disease. *Chest* 93(4): 688-692, 1988
- 8) Franssen FM, Wouters EF, et al.: Arm mechanical efficiency and arm exercise capacity are relatively preserved in chronic obstructive pulmonary disease. *Med Sci Sports Exerc* 34(10): 1570-1576, 2002
- 9) Castagna O, Boussuges A, et al.: Is impairment similar between arm and leg cranking exercise in COPD patients? *Respir Med* 101(3): 547-553, 2007
- 10) Romagnoli I, Gigliotti F, et al.: Chest wall kinematics and breathlessness during unsupported arm exercise in COPD patients. *Respir Physiol Neurobiol* 178(2): 242-249, 2011
- 11) Velloso M, Stella SG, et al.: Metabolic and ventilatory parameters of four activities of daily living accomplished with arms in COPD patients. *Chest* 123(4): 1047-1053, 2003
- 12) McKeough ZJ, Alison JA, et al.: Arm exercise capacity and dyspnea ratings in subjects with chronic obstructive pulmonary disease. *J Cardiopulm Rehabil* 23(3): 218-225, 2003
- 13) Belman MJ, Kendregan BA: Exercise training fails to increase skeletal muscle enzymes in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis* 123(3): 256-261, 1981
- 14) Romagnoli I, Scano G, et al.: Effects of unsupported arm training on arm exercise-related perception in COPD patients. *Respir Physiol Neurobiol* 186(1): 95-102, 2013
- 15) Gigliotti F, Coli C, et al.: Arm exercise and hyperinflation in patients with COPD: effect of arm training. *Chest* 128(3): 1225-1232, 2005
- 16) Martinez FJ, Vogel PD, et al.: Supported arm exercise vs unsupported arm exercise in the rehabilitation of patients with severe chronic airflow obstruction. *Chest* 103(5): 1397-1402, 1993
- 17) McKeough ZJ, Bye PTP, et al.: Arm exercise training in chronic obstructive pulmonary disease: a randomized controlled trial. *Chron Respir Dis* 9(3): 153-162, 2012
- 18) Velloso M, do Nascimento NH, et al.: Evaluation of effects of shoulder girdle training on strength and performance of activities of daily living in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* 8: 187-192, 2013
- 19) Marrara KT, Marino DM, et al.: Different physical therapy interventions on daily physical activities in chronic obstructive pulmonary disease. *Respir Med* 102(4): 505-511, 2008
- 20) Costi S, Crisafulli E, et al.: Effects of unsupported upper extremity exercise training in patients with COPD: a randomized clinical trial. *Chest* 136(2): 387-395, 2009
- 21) Holland AE, Hill CJ, et al.: Does unsupported upper limb exercise training improve symptoms and quality of life for patients with chronic obstructive pulmonary disease? *J Cardiopulm Rehabil* 24(6): 422-427, 2004

- 22) Rao SV, Sahoo VP: Effect of upper limb, lower limb and combined training on health-related quality of life in COPD. *Lung India* 27(1): 4-7, 2010
- 23) ACCP/AACVPR Pulmonary Rehabilitation Guidelines Panel: Pulmonary rehabilitation: Joint ACCP/AACVPR evidence-based guidelines. *Chest* 112(5): 1363-1396, 1997
- 24) 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
- 25) Ries AL, Bauldoff GS, et al.: Pulmonary rehabilitation: Joint ACCP/AACVPR evidence-based clinical practice guidelines. *Chest* 131(5 Suppl): 4S-42S, 2007
- 26) Costi S, Bari MD, et al.: Short-term efficacy of upper-extremity exercise training in patients with chronic airway obstruction: a systematic review. *Phys Ther* 89(5): 443-455, 2009
- 27) Janaudis-Ferreira T, Hill K, et al.: Arm exercise training in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review. *J Cardiopulm Rehabil Prev* 29(5): 277-283, 2009
- 28) Kathiresan G, Jeyaraman SK, et al.: Effect of upper extremity exercise in people with COPD. *J Thorac Dis* 2(4): 223-236, 2010
- 29) Pan L, Guo YZ, et al.: Does upper extremity exercise improve dyspnea in patients with COPD? A meta-analysis. *Respir Med* 106(11): 1517-1525, 2012
- 30) 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
- 31) McKeough ZJ, Velloso M, et al.: Upper limb exercise training for COPD (review). *Cochran Database Syst Rev*: 2016
- 32) O'Donnell DE, D'Arsigny C, et al.: Effects of hyperoxia on ventilatory limitation during exercise in advanced chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med* 163(4): 892-898, 2001
- 33) Revill SM, Singh SJ, et al.: Randomized controlled trial of ambulatory oxygen and an ambulatory ventilator on endurance exercise in COPD. *Respir Med* 94(8): 778-783, 2000
- 34) Maltais F, Simon M, et al.: Effects of oxygen on lower limb blood flow and O<sub>2</sub> uptake during exercise in COPD. *Med Sci Sports Exerc* 33(6): 916-922, 2001
- 35) Somfay A, Pórszász J, et al.: Dose-response effect of oxygen on hyperinflation and exercise endurance in nonhypoxaemic COPD patients. *Eur Respir J* 18(1): 77-84, 2001
- 36) Somfay A, Pórszász J, et al.: Effect of hyperoxia on gas exchange and lactate kinetics following exercise onset in nonhypoxemic COPD patients. *Chest* 121(2): 393-400, 2002
- 37) Fujimoto K, Matsuzawa Y, et al.: Benefits of oxygen on exercise performance and pulmonary hemodynamics in patients with COPD with mild hypoxemia. *Chest* 122(2): 457-463, 2002
- 38) Dreher M, Doncheva E, et al.: Preserving oxygenation during walking in severe chronic obstructive pulmonary disease: noninvasive ventilation versus oxygen therapy. *Respiration* 78(2): 154-160, 2009
- 39) Amann M, Regan MS, et al.: Impact of pulmonary system limitations on locomotor muscle fatigue in patients with COPD. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 299(1): R314-R324, 2010
- 40) Voduc N, Tessier C, et al.: Effects of oxygen on exercise during in chronic obstructive pulmonary disease patients before and after pulmonary rehabilitation. *Can Respir J* 17(1): e14-e19, 2010
- 41) Jarosch I, Gloeckl R, et al.: Short-term effects of supplemental oxygen on 6-min walk test outcome in patients with COPD. *Chest* 151(4): 795-803, 2017
- 42) Garrod R, Paul EA, et al.: Supplemental oxygen during pulmonary rehabilitation in patients with COPD with exercise hypoxaemia. *Thorax* 55(7): 539-543, 2000
- 43) Wadell K, Henriksson-Larsén K, et al.: Physical training with and without oxygen in patients with chronic obstructive pulmonary disease and exercise-induced hypoxaemia. *J Rehab Med* 33(5): 200-205, 2001
- 44) Emtner M, Porszasz J, et al.: Benefits of supplemental oxygen in exercise training in nonhypoxemic chronic obstructive pulmonary disease patients. *Am J Respir Crit Care Med* 168(9): 1034-1042, 2003
- 45) Helgerud J, Bjørgen S, et al.: Hyperoxic interval training in chronic obstructive pulmonary disease patients with oxygen desaturation at peak exercise. *Scand J Med Sci Sports* 20(1): e170-e176, 2010
- 46) Scorsone D, Bartolini S, et al.: Does a low-density gas mixture or oxygen supplementation improve exercise training in COPD? *Chest* 138(5): 1133-1139, 2010
- 47) Dyer F, Callaghan J, et al.: Ambulatory oxygen improves the effectiveness of pulmonary rehabilitation

- in selected patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Chron Respir Dis* 9(2): 83-91, 2012
- 48) Neunhäuserer D, Steidle-Kloc E, et al.: Supplemental oxygen during high-intensity exercise training in nonhypoxemic chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Med* 129(11): 1185-1193, 2016
- 49) Puhan MA, Schünemann HJ, et al.: Value of supplemental interventions to enhance the effectiveness of physical exercise during respiratory rehabilitation in COPD patients: a systematic review. *Respir Res* 5: 2004
- 50) Nonoyama M, Brooks D, et al.: Oxygen therapy during exercise training in chronic obstructive pulmonary disease (review). *Cochrane Database Syst Rev*: 2007
- 51) Bolton CE, Bevan-Smith EF, et al.: British Thoracic Society guideline on pulmonary rehabilitation in adults. *Thorax* 68: ii 1- ii 30, 2013
- 52) O'Donnell DE, Sani R, et al.: Effect of continuous positive airway pressure on respiratory sensation in patients with chronic obstructive pulmonary disease during submaximal exercise. *Am Rev Respir Dis* 138(5): 1185-1191, 1988
- 53) Maltais F, Reissmann H, et al.: Pressure support reduces inspiratory effort and during exercise in chronic airflow obstruction. *Am J Respir Crit Care Med* 151(4): 1027-1033, 1995
- 54) Anekwe D, de Marchie M, et al.: Effects of pressure support ventilation may be lost at high exercise intensities in people with COPD. *COPD* 14(3): 284-292, 2017
- 55) Dolmage TE, Goldstein RS: Proportional assist ventilation and exercise tolerance in subjects with COPD. *Chest* 111(4): 948-954, 1997
- 56) Bianchi L, Foglio K, et al.: Effects of proportional assist ventilation on exercise tolerance in COPD patients with chronic hypercapnia. *Eur Respir J* 11(2): 422-427, 1998
- 57) Hernandez P, Maltais F, et al.: Proportional assist ventilation may improve exercise performance in severe chronic obstructive pulmonary disease. *J Cardiopulm Rehabil* 21(3): 135-142, 2001
- 58) van 't Hul A, Gosselink R, et al.: Acute effects of inspiratory pressure support during exercise in patients with COPD. *Eur Respir J* 23(1): 34-40, 2004
- 59) Dreher M, Storre JH, et al.: Noninvasive ventilation during walking in patients with severe COPD: a randomized cross-over trial. *Eur Respir J* 29(5): 930-936, 2007
- 60) Borghi-Silva A, Oliveira CC, et al.: Respiratory muscle unloading improves leg muscle oxygenation during exercise in patients with COPD. *Thorax* 63(10): 910-915, 2008
- 61) Menadue C, Alison JA, et al.: Non-invasive ventilation during arm exercise and ground walking in patients with chronic obstructive respiratory failure. *Respirology* 14(2): 251-259, 2009
- 62) Garrod R, Mikelsons C, et al.: Randomized controlled trial of domiciliary noninvasive positive pressure ventilation and physical training in severe chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med* 162(4 Pt 1): 1335-1341, 2000
- 63) Johnson JE, Gavin DJ, et al.: Effects of training with heliox and noninvasive positive pressure ventilation on exercise ability in patients with severe COPD. *Chest* 122(2): 464-472, 2002
- 64) van 't Hul A, Gosselink R, et al.: Training with inspiratory pressure support in patients with severe COPD. *Eur Respir J* 27(1): 65-72, 2006
- 65) Barakat S, Michele G, et al.: Effect of a noninvasive ventilator support during exercise of a program in pulmonary rehabilitation in patients with COPD. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* 2(4): 585-591, 2007
- 66) Hawkins P, Johnson LC, et al.: Proportional assist ventilation as an aid to exercise training in severe chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax* 57(10): 853-859, 2002
- 67) Costes F, Agresti A, et al.: Noninvasive ventilation during exercise training improves exercise tolerance in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *J Cardiopulm Rehabil* 23(4): 307-313, 2003
- 68) Bianchi L, Foglio K, et al.: Lack of additional effect of adjunct of assisted ventilation to pulmonary rehabilitation in mild COPD patients. *Respir Med* 96(5): 359-367, 2002
- 69) Borghi-Silva A, Mendes RG, et al.: Adjuncts to physical training of patients with severe COPD: oxygen or noninvasive ventilation? *Respir Care* 55(7): 885-894, 2010
- 70) Reuveny R, Ben-Dov I, et al.: Ventilatory support during training improves training benefit in severe chronic airway obstruction. *IMAJ* 7(3): 151-155, 2005
- 71) Toledo A, Borghi-Silva A, et al.: The impact of noninvasive ventilation during the physical training in patients with moderate-to-severe chronic obstructive

- pulmonary disease (COPD). *Clinics* 62(2): 113-120, 2007
- 72) van 't Hul A, Kwakkel G, et al.: The acute effects of noninvasive ventilatory support during exercise on exercise endurance and dyspnea in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review. *J Cardiopulm Rehabil* 22(4): 290-297, 2002
- 73) Ricci C, Terzoni S, et al.: Physical training and noninvasive ventilation in COPD patients: a meta-analysis. *Respir Care* 59(5): 709-717, 2014
- 74) Menadue C, Piper AJ, et al.: Non-invasive ventilation during exercise training for people with chronic obstructive pulmonary disease (review). *Cochrane Database Syst Rev*: 2014

## Exercise training in patients with chronic obstructive pulmonary disease: Upper limb training and endurance training with additional intervention

Makoto SASAKI

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

### Abstract

Chronic obstructive pulmonary disease (COPD) is marked by respiratory tract obstruction and chronic respiratory tract inflammation. Dyspnea, fatigue, exercise intolerance, decreased physical activity and a decline in the quality of life are included among its clinical symptoms. Patients with COPD frequently present with muscle dysfunction, limitation of activities of daily living and sleep and emotion disorders, as well as a worsening of balance in some cases. Exercise training is expected to improve these clinical conditions and symptoms of patients with COPD, thereby improving the long-term outcome. Upper limb training is included as a component of such programs, and additional intervention (oxygen prescription or noninvasive positive pressure ventilation) in combination with endurance training regimens has been attempted. The purpose of this review is to reference the physical responses during upper limb movement/activity and to describe the expected effects, both acute and long-term, and evidence of the efficacy of upper limb training and endurance training with additional intervention in patients with COPD. Several unresolved or new issues were recognized in our overview of papers regarding the respective interventions up through 2017. The accumulation of further evidence in future studies in this field is important.