

特 集

急性呼吸不全患者における呼吸生理

呼吸不全における呼吸リハビリテーション

長谷川 聡¹⁾・玉木 彰²⁾・森谷敏夫³⁾

はじめに

近年、呼吸不全に対する急性期からの呼吸リハビリテーションが積極的に導入され、呼吸不全を改善するための治療戦略の一つになっている。関連著書の多くでは排痰法がその役割として重要視されているが、呼吸不全に対する呼吸リハビリテーションはその限りではない。肺合併症の予防・治療、人工呼吸器からの早期離脱、早期離床、そして精神・身体機能的予後の改善を目的に、包括的な呼吸リハビリテーションが行われるべきである。本稿では、当院にて行っている呼吸不全患者に対する呼吸リハビリテーションの実際について、最新の知見を交えて解説する。

呼吸リハビリテーションの適応と禁忌

呼吸リハビリテーションの対象となる疾患には様々なものがある。呼吸不全に関連するものとして、慢性閉塞性肺疾患 (COPD)、拘束性肺疾患、パーキンソン病・筋萎縮性側索硬化症などの神経筋疾患に代表される慢性呼吸不全症例と、胸部・腹部外科手術後や慢性呼吸不全の急性増悪時、人工呼吸管理下にある患者などの急性呼吸不全症例がその対象となる。適応症例とは、表1に示す呼吸リハビリテーションの目的に合致するものであれば全ての患者に適応となり、循環動態や全身状態が安定すれば、可及的早期に介入すべきである。また、不動による筋萎縮の過程は72時間

表1 呼吸リハビリテーションの目的

1. 気道内分泌物の除去
2. 換気と酸素化の改善
3. 気道閉塞の改善
4. 呼吸困難の軽減
5. 肺合併症の予防
6. 運動耐容能の改善
7. 廃用症候群の予防・改善

以内にすでに始まるという報告¹⁾もあり、このことから、少なくとも3日以上安静臥床を強いられる症例では早期介入が必要と考える。一方禁忌となる症例に関しては、呼吸リハビリテーションの手技は身体に何らかの外圧を加えたり、体位変換による重力作用などを利用するもの、また頭位の変化により循環動態に大きな影響を及ぼすものがあり、不安定な循環動態・全身状態の患者は禁忌とすべきである。特に心原性肺水腫などによる低酸素血症の改善を目的とする場合は、呼吸リハビリテーションにより酸素消費量が増大する可能性があるため、ある程度病態が改善するまで介入は控えるべきであると考え (表2)。患者の循環動態によるリハビリテーションの実施基準に関しては、さまざまな報告がされているが、我々は、高橋^{2~3)}が提唱している心疾患患者におけるリスクマネジメントの方法の一部を採用している。当院では、表3に示すように、強心剤などの投薬内容によりリハビリテーションの実施、負荷を選択している。

¹⁾ 京都大学医学部附属病院リハビリテーション部

²⁾ 京都大学大学院医学研究科

³⁾ 京都大学大学院人間・環境学研究科

表2 呼吸リハビリテーションの禁忌

絶対的禁忌
1. コントロール不良なショック
2. 急性心筋梗塞
3. 重症不整脈
4. 肺血栓塞栓症
5. 肺胞出血・咯血
6. 未処置の気胸
相対的禁忌
1. 不安定な循環動態
2. 膿胸
3. 肺挫傷、フレイルチェスト、多発肋骨骨折
4. 頸髄損傷後の損傷部非固定状態
5. 脳外科術後、頭部外傷後の頭蓋内圧亢進状態

(文献3より引用)

表3 投薬内容によるリハビリの実施検討

ノルアドレナリン (ノルエピネフリン) → リハビリ中止
塩酸ドブタミン (ドブトレックス) → 慎重に実施
塩酸ドパミン (イノバン) → 用量によって判断
5～10 μ 以上：ベッド上の関節運動のみ
2～5 μ ：ベッド上から端座位まで
0.5～2.0 μ ：立位・歩行開始

呼吸リハビリテーションの実際

呼吸不全症例では、全身管理のため、安静臥床を強いられていることが多い。安静臥床状態は患者の病態を考えれば必要な処置ではあるが、一方では気道分泌物の貯留、沈下から荷重側肺障害を引き起こしたり、四肢・体幹や自律神経機能の二次的な廃用性症候群を引き起こすリスクが高い状態である。したがって、呼吸リハビリテーションでは、体位・姿勢の変化やさまざまな手技を用いることによる換気やガス交換の改善、さらには気道内分泌物の除去による肺合併症の予防を図ること、早期離床を図ること、そして予後を考慮し、二次的な身体の廃用症候群を予防することを目標に治療戦略を立てていくこととなる。当院では呼吸不全の急性症例に対して、①ポジショニング、②気道管理、③Early Mobilizationの3点を治療戦略上の最重要項目として掲げている。以下にそれらの重要性について述べる。

1. ポジショニング

ポジショニングには大きく分けて2つの目標がある。1つは、長時間ベッド上安静臥床を余儀なくされることで、筋緊張の亢進や四肢・体幹の関節の疼痛、精神的ストレスを引き起こすため、それらの予防のために患者の安楽肢位を設定する必要がある。もう1つは、荷重側肺障害の予防・改善である。急性呼吸不全患者では肺のうっ血や気道内分泌物貯留等により肺重量が増加するが、この状態で同一肢位での安静臥床を強いられた場合、荷重側（下側）の肺胞は虚脱し、換気・血流比の不均等が生じる。したがって、このような状態の予防・改善を目的に体位変換を行い、換気・血流比を是正し、気道内分泌物の排出を促す。

健常者は睡眠中、約12分毎に体位の変換が行われているといわれ、これはminimum physiological mobility requirementと呼ばれている⁴⁾。しかし、呼吸不全患者の多くは体位の変換を自力で行うことが困難なため、定期的な体位変換やポジショニングが必要となる。ポジショニングとは、安楽な姿勢の確保、局所的な身体にかかる圧力の除去、関節拘縮の予防に加えて、換気やガス交換の改善や気道内分泌物排出の促進を目的に行われる技術である。

ポジショニングや体位変換によって呼吸機能を改善させる方法は体位呼吸療法とも呼ばれ⁵⁻⁷⁾、急性呼吸不全の呼吸管理として非常に重要な治療戦略の一つである。その主な効果は、(1)換気・血流比の改善によるシャントの減少、(2)下側肺への重力を軽減し、コンプライアンスを改善する、(3)下側肺の末梢気道に貯留した分泌物を排出する、(4)横隔膜運動の改善などが挙げられる。

呼吸不全を遷延、悪化させる要因として、人工呼吸器関連肺炎 (Ventilator-Associated Pneumonia ; VAP) や臥床中の唾液の垂れ込みなど、不顕性誤嚥 (silent aspiration) により誘引される誤嚥性肺炎 (Aspiration Pneumonia ; AP) などが問題となる。長期にわたり人工呼吸管理を要する患者や、覚醒レベルが低い高齢患者では、VAPやAPが発生するリスクが非常に高く、生命予後にも大きく影響してくるため、可能な限り予防に努めることが大切である。1日、4～8時間の腹臥位をとることは仰臥位で管理するよりもVAPの発生率が低く^{8,9)}、またセミリカンベント位は仰臥位での管理よりもVAPの発生率が有意に低かったとの報告

がある^{10, 11)}。またAPに関しても、気管と食道の解剖学的構造上、頭部がフラットな状態（ギヤッジアップ30°未満）での仰臥位では唾液などの分泌物は気管側に流入しやすい。したがって、VAPやAPを予防するためのポジショニングとしては腹臥位やセミリカンベント位が効果が高いと考えられる。さらに、体位呼吸療法からの側面からのポジショニングの選択を考えた場合も、腹臥位管理が有効であるといえるが、体位変換に人員と労力が多く必要であるうえ、チューブ類や輸液ラインなどのトラブル、顔面の圧迫などの弊害も発生しやすいため、最近では前傾側臥位が推奨されている。尾崎ら¹²⁾は、 PaO_2/FiO_2 が150mmHg以下のARDSでも体位を前傾側臥位にするだけで十分な酸素化の改善を実現できたと報告している。以上のことから、角度が大きな側臥位、前傾側臥位、セミリカンベント位でのポジショニング・体位変換が望ましいといえる。

2. 気道管理（気道クリアランス）

呼吸リハビリテーションにおける気道管理とは、主に排痰を意味し、気道および肺胞内の分泌物の移動を促し、肺胞換気を改善させることである。特に気道内分泌物が多い症例、自己にて分泌物の喀出が困難な症例、分泌物が気道を閉塞している症例などが対象となる。方法としては、目的とする肺野を高く位置させるような排痰体位をとる体位ドレナージに加えて、徒手的に機械的刺激を与える技術がある。体位ドレナージ

に関しては、現在では体位変換の制限が多い患者にも対応可能な修正排痰体位（図1）を用い、分泌物が貯留した肺区域をアセスメントした上で、その区域に応じた排痰体位を設定する。この排痰体位において徒手的な排痰手技を実施する。主な手技としては、呼気に合わせて胸郭を圧迫する squeezing、胸郭を叩く percussion、呼気に合わせて胸郭を振動させる vibration などがあるが、percussion や vibration は末梢気道からの排痰効果は少ないことが報告されており¹³⁾、逆に、疼痛の誘発、重症不整脈、気管支攣縮、頭蓋内圧の亢進、無気肺などの悪影響が起こることが指摘されている¹⁴⁻¹⁶⁾。したがって、病態や循環動態が不安定な急性呼吸不全患者に対しては percussion や vibration は行うべきでなく、安全で効果的とされる squeezing を行う。

squeezing とは、胸郭を呼気に合わせて圧迫することにより呼気流速を高め、分泌物の移動を促進するとともに、続く吸気量が増加することで、末梢気道に空気を送り込むことを可能とする方法である。末梢気道からの痰の移動には気流が大きく関与するが、squeezing を施行することによって、critical opening pressure のメカニズムを利用し、排痰を実現することができる¹⁷⁾。

呼吸不全を引き起こす病態の一つに無気肺がある。無気肺とは、気管・気管支・肺胞が気道内分泌物あるいは機械的圧迫により閉塞し、肺内の空気が消失し虚脱

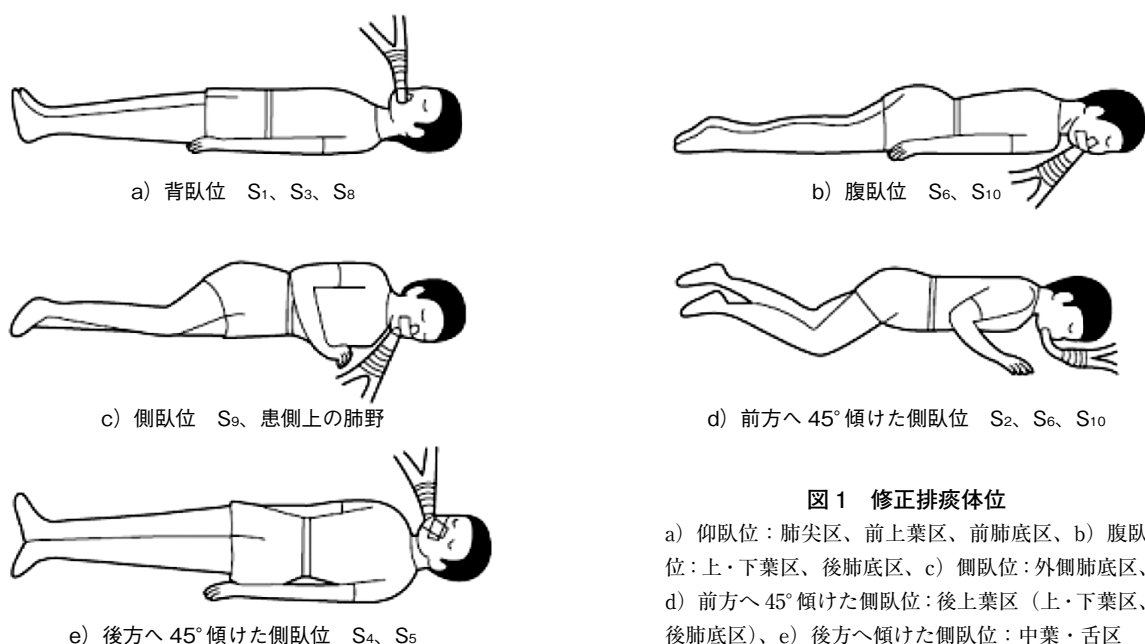


図1 修正排痰体位

- a) 仰臥位：肺尖区、前上葉区、前肺底区、b) 腹臥位：上・下葉区、後肺底区、c) 側臥位：外側肺底区、d) 前方へ45°傾けた側臥位：後上葉区（上・下葉区、後肺底区）、e) 後方へ傾けた側臥位：中葉・舌区

が起こり、そのため当該領域の容積が縮小した状態である。その結果、肺動脈中の静脈血は酸素化されることなく動脈血に混合する。したがって、無気肺が発生した場合は可及的早急に積極的な排痰手技の介入が有効な治療となる。とくに、喀痰の貯留により気道を閉塞している無気肺の場合は、患部に陽圧を加えることで閉塞部分を広げ、末梢への換気を促すことで肺容量を拡張させる。当院では、体位ドレナージに squeezing を加える排痰手技に加えて、bagging や非侵襲的陽圧換気 (noninvasive positive pressure ventilation ; NPPV) を併用する方法 (図 2A・B) を用いて改善効果を得ている。bagging や NPPV にて気道に陽圧を加えた場合、空気は気道の閉塞がない方向へと進む傾向があるため健側肺への換気が促される。そこで、健側胸郭を圧迫することで患側肺への換気シフトを促し、患側肺に対しては陽圧換気に合わせて squeezing や springing を行うことで air entry を改善する。この方法によって比較的短時間でも無気肺の改善を経験している。

さらに、気道管理において非常に重要な呼吸リハビリテーションの一つに口腔ケアがある。全身衰弱や様々な原因により咳嗽力が低下している患者においては、中枢気道から痰を喀出することが困難なことが多いため、最終的には吸引操作が必要となる。呼吸不全では効果的な吸引操作が病態やその予後を左右するといっても過言ではない。そして吸引操作の効率化のため

に呼吸リハビリテーションの一環としての口腔ケアが重要な役割を担う。平山ら¹⁸⁾は、排痰手技や吸引操作前の口腔ケアの実施が気道内分泌物除去に及ぼす影響について検討した結果、口腔ケアを実施した場合としていない場合を比較した場合、口腔ケア実施時に吸引分泌物重量が有意に増加し、吸引操作の行い易さも有意に改善したとしている。さらに、その傾向は、口腔内乾燥度が高いほど、また分泌物の粘性が高いほど顕著であったと報告している。つまり、口腔内が乾燥し、分泌物の粘稠性が高い患者は、口腔ケアを実施せずに排痰手技や吸引操作を行っても、排痰効果としては非常に低いということである。特に分泌物の自己喀出が困難な患者は、肺合併症の治療遷延や発生のリスクが非常に高いが、呼吸リハビリテーションや吸引操作の前に口腔ケアを実施することで、口腔内、咽頭ならびに上気道の乾燥を防ぎ、有効な分泌物の除去を図ることができる。また、定期的な口腔内の評価やケアは重篤な呼吸不全の要因となる誤嚥性肺炎の予防にもつながるため、非常に重要なリハビリテーションプログラムの一つであると考えべきである。

3. Early Mobilization

長期臥床は呼吸機能にとって不利になることは勿論、全身の筋力低下や関節拘縮などの廃用性症候群、また精神機能の低下などを助長することになり、病態



A : bagging の併用

bagging による陽圧に合わせ、左上葉無気肺に対して squeezing を施行し、肺の拡張を促す。右胸郭を圧迫固定し、左肺への air shift を促す。



B : NPPV の併用

NPPV による陽圧に合わせ、右上葉無気肺に対して squeezing と springing を用いて肺の拡張を促す。左胸郭を圧迫固定し、右肺への air shift を促す。

図 2 無気肺に対する治療場面

改善後のADL回復の遷延や身体機能面での予後不良にもつながる。したがって、先述したように、循環動態に問題がなければ可及的早期にリハビリテーションの介入を進めるべきである。具体的には、体位変換、ギャジアップ、座位練習、立位練習、四肢関節可動域トレーニング、四肢筋力トレーニングなどを段階的に行っていく。最近では、early mobilizationの必要性の科学的根拠を示した報告が数多く提示されている。Schweickertら¹⁹⁾のearly mobilizationの効果に関する最新の報告では、24～72時間人工呼吸管理を受けた鎮静状態の成人104名を対象に、鎮静薬の減量

時期に、理学療法や作業療法の介入によって早期からの運動や、離床を実施する群 (intervention group) とプライマリーケアのみを行う群 (control group) とにランダムに分け、退院時のADL自立度や歩行能力、さらに、せん妄の持続期間、人工呼吸器の離脱期間などを指標にearly mobilizationの効果を検証している (図3)。退院時のADL自立度に関して、退院時に自立レベルに戻った患者が、intervention groupで59%であったのに対して、control groupでは35%であり、両群間に有意な差を認めた。さらに、intervention groupはcontrol groupよりもせん妄持

図3A：intervention (早期理学療法・作業療法介入群) とcontrol (プライマリーケアのみの群) の臨床データの差

	Intervention (n=49)	Control (n=55)	p value
Return to independent functional status at hospital discharge	29 (59%)	19 (35%)	0.02
ICU delirium (days)	2.0 (0.0-6.0)	4.0 (2.0-7.0)	0.03
Time in ICU with delirium (%)	33% (0-58)	57% (33-69)	0.02
Hospital delirium (days)	2.0 (0.0-6.0)	4.0 (2.0-8.0)	0.02
Hospital days with delirium (%)	28% (26)	41% (27)	0.01
Barthel Index score at hospital discharge	75 (7.5-95)	55 (0-85)	0.05
ICU-acquired paresis at hospital discharge	15 (31%)	27 (49%)	0.09
Ventilator-free days *	23.5 (7.4-25.6)	21.1 (0.0-23.8)	0.05
Duration of mechanical ventilation (days)	3.4 (2.3-7.3)	6.1 (4.0-9.6)	0.02
Duration of mechanical ventilation, survivors (days)	3.7 (2.3-7.7)	5.6 (3.4-8.4)	0.19
Duration of mechanical ventilation, non-survivors (days)	2.5 (2.4-5.5)	9.5 (5.9-14.1)	0.04
Length of stay in ICU (days)	5.9 (4.5-13.2)	7.9 (6.1-12.9)	0.08
Length of stay in hospital (days)	13.5 (8.0-23.1)	12.9 (8.9-19.8)	0.93
Hospital mortality	9 (18%)	14 (25%)	0.53

Data are n (%), median (IQR), or mean (SD), ICU = intensive care unit.
 * Ventilator-free days from study day 1 to day 28. Barthel Index scale 0-100, APACHE II scale 0-71.

図3B：在院日数とその時点でのADL自立患者の割合 (在院14日以降にADLの自立患者の割合に差が現れる)

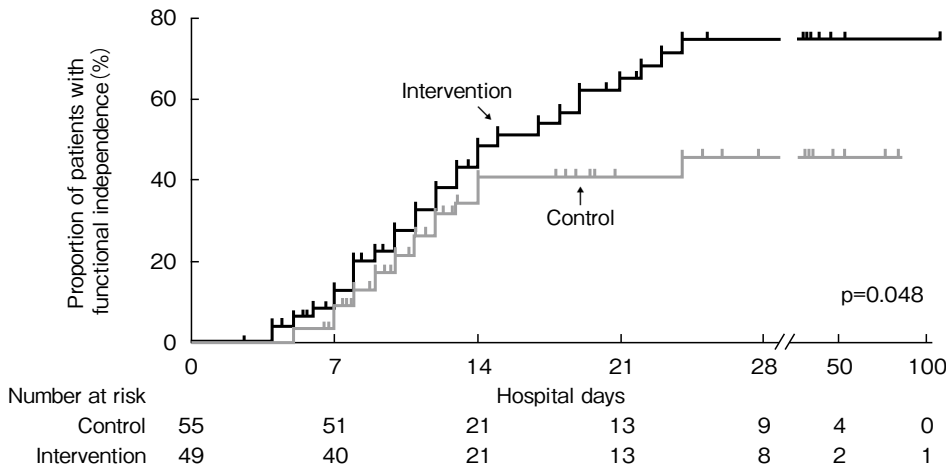


図3 early mobilizationの効果検証 (文献19より引用)

続期間が2日短く、人工呼吸器装着期間も短かったと報告している。さらに、**図3B**は両群の在院日数におけるその時点でのADL自立患者の割合を示したグラフであるが、early mobilizationの効果は在院14日以上で顕著に現れ、早期のリハビリテーションの効果は身体機能的予後に大きく影響を及ぼすことがわかる。

また、胸腹部を主とした外科術後の肺合併症や呼吸不全の予防においてもearly mobilizationの必要性は非常に高い。当院では、胸部外科術後の肺合併症を予防する目的でチームアプローチに重点を置いたearly mobilizationの介入を開始し、その効果を検証した。当初は医師、看護師、理学療法士の連携が不十分で、患者の状態の認識が統一されておらず、それによって離床開始やADLのステップアップが遅れ、肺合併症の発生や入院期間の延長がみられていた。そこで、チームアプローチに重点を置いたクリニカルパスを作成し、early mobilizationの重要性に対する共通理解のもと、術前と術後可及的早期の呼吸リハビリテーションの介入を実現した。医師の的確なリスク管理の下、理学療法士と看護師による手術翌日からの早期離床の促進、定期的な体位変換と排痰の促進、運動療法の早期開始を行った結果、無気肺・肺炎などの肺合併症の発生率は、介入前23.9%から介入後7.2%へ低下し、平均在院日数も20.0日から14.7日に短縮した²⁰⁾。

これらの臨床データからも、early mobilizationの必要性は非常に高いものであることが理解できる。循環動態の正確な管理の下、そして医療チーム内および患者のearly mobilizationの重要性に対する統一理解のもと、可及的早期の離床促進が呼吸不全の改善と予防に効果的であると思われる。

人工呼吸器・NPPV管理下における 呼吸リハビリテーション

人工呼吸器管理下にある患者は、手術直後の場合や全身状態が悪化した状態のため、安静臥床を強いられている。また、人工呼吸器管理下の場合、機器やチューブの保全のため、どうしても離床に関して消極的になりがちである。人工呼吸管理下にある患者は全身状態が不安定であるため、リハビリテーションの介入にはリスクを十分考慮すべきであるが、先述したような循環動態に問題がなければ積極的に離床や運動療法を進めるべきである。離床によって身体を動かすことで酸

素需要が増加し、換気量の増大が起こる。その結果、肺胞換気量も増大するため、換気血流比不均等の改善が期待される。さらに、換気量の増大によって気道内分泌物の移動も促進される。

また、人工呼吸器離脱直後には、体動によるdesaturationや呼吸困難の出現が多く認められる。運動に際しては、多くの酸素、換気量が必要とされるが、人工呼吸器依存期間が長かったことによって、呼吸筋力の低下や自力での換気量の確保が困難な場合、NPPVを使用して離床や運動療法を行う方法がある。CPAP (continuous positive airway pressure) は、吸気時の抵抗を減らし、呼気時における閉塞を防止することにより、運動時においても呼吸困難を軽減する。O'Donnellら²¹⁾は、慢性閉塞性肺疾患(COPD)患者に対する運動療法時にCPAPを併用することにより、運動時の呼吸困難が減少し、運動持続時間が47%増加したと報告している。またKeityら²²⁾は、重症COPD患者に対して、CPAPにPSを併用したNPPVを運動療法時に併用することによって、トレッドミルによる準最大運動時の呼吸困難を減少させ、歩行距離が62%増加したと報告している。急性呼吸不全患者の運動療法におけるNPPVの併用に関する報告はまだほとんどみられないが、呼吸不全患者に対しては、換気を補助し、呼吸困難やdesaturationを防止した上で、早期から運動機能を改善させるための運動療法を行うことも有用であると考えられる。

呼吸不全患者に対する 新たなリハビリテーションツール ～ Electrical Muscle Stimulation Training ～

呼吸不全患者の運動療法においては、特に重症例では、運動による呼吸困難やdesaturationのために運動の実施自体が困難であることが多い。そこで我々は、新たな試みとして、能動的なトレーニングが十分に遂行できない症例に対して、京都大学人間・環境学研究所の森谷ら²³⁾が開発したElectrical Muscle Stimulation System (EMS)を用いたトレーニングを実施している。これは、患者に仰臥位の状態で、電極が備え付けられたトレーニング用スパッツを装着させ、大腿部および下腿部に周波数20Hz、パルス幅250 μ sec、duty cycle 5秒 on 2秒 offの刺激条件で電気刺激を20分間実施し、下肢の筋力増強およびそれによってもたらさ

れる運動耐容能の向上を狙ったトレーニングである。近年、呼吸不全患者に対する骨格筋電気刺激トレーニングの効果やその有用性についての報告がみられるようになってきた^{24~27)}。我々の臨床研究では、COPDに対する4週間のリハビリテーションにおいて、重錘や自転車エルゴメーターを用いてトレーニングしたcontrol (CON) 群とEMSトレーニングを実施したEMS群に対する4週間のリハビリテーション効果を検証した結果、大腿直筋、外側広筋、下腿筋の筋厚がCON群ではほとんど変化しなかったのに対し、EMS群では、それぞれ43.7%、21.9%、10.3%増加した。また、膝伸展筋力はEMS群で16.6%増加、CON群は7.9%増加し、その増加率は両群間で有意な差を認めた(図4A)。さらに6分間歩行距離は、EMS群で

32.3%増加、CON群は5.4%増加し、EMS群の増加率が有意に高かった(図4B)。以上のことから、EMSトレーニングは、筋に十分な過負荷を与えることができ、効果的な筋力・持久力増大をもたらすことが示唆された。EMSトレーニングが呼吸困難や desaturation を出現させずにこのような効果を得ることが出来る要因としては、EMSトレーニングは、他動的な運動であるため、呼吸困難出現因子の一つとされる中枢性疲労が存在しないことや、末梢筋の電気刺激を行うことで、静脈還流を促進し、心負荷を軽減するなどのメカニズムによることなどが考えられる。したがって、慢性呼吸不全には非常に有用なリハビリテーションツールであると考えられる。今後は、急性呼吸不全に対しても応用し、その効果の検証を進めていきたい。

おわりに

呼吸不全に対する呼吸リハビリテーションについて、positioning、気道クリアランス、early mobilization の3点を中心に述べた。最近の知見では、特に early mobilization が換気の改善、気道クリアランスの促進、換気血流比の改善、廃用性症候群の予防、そしてそれらによる身体機能およびADLの予後の改善の観点から非常に重要視されている。急性期からのリハビリテーションは、その時点での呼吸機能や身体機能の問題点を改善させることだけが目的ではなく、急性期を過ぎた後の、将来的な機能予後を悪化させないことも目的の一つである。したがって、実際には、医師による正確な循環動態を中心としたリスク管理の下、看護師や理学療法士などを含めたチームアプローチによって、可及的早期からの離床や運動を促進していくことが、呼吸不全の治療戦略の中の呼吸リハビリテーションが果たす重要な役割であるといえる。

参考文献

- 1) Tesch PA ,von Walden F , Gustafsson T, et al : Skeletal muscle proteolysis in response to short-term unloading in humans. J Appl Physiol. 2008 ; 105 : 902-906.
- 2) 高橋哲也：スキルアップセミナー。心疾患患者に対する理学療法。理学療法学。2008；35（4）：150-158.
- 3) 高橋哲也：ベッドサイドでの患者評価。心疾患。理学療法ジャーナル。2006；40：555-564.
- 4) Keane F：Roto-rest. Paraplegia. 1970；7：464.
- 5) 尾崎孝平：体位呼吸療法。標準集中治療医学。天羽敬祐編。東京、真興交易（株）医書出版部、2000、pp141-144.

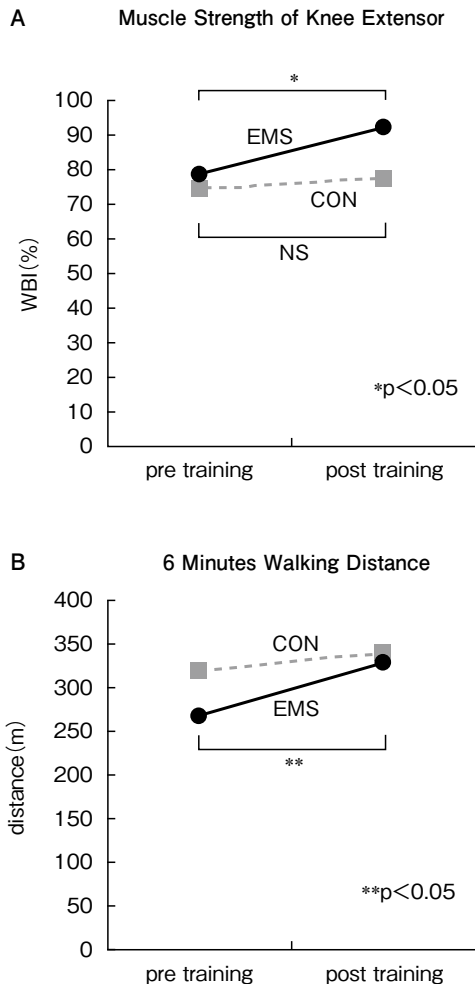


図4 EMSトレーニングの効果

4週間のリハビリテーション効果の比較

A：膝伸展筋力 B：6分間歩行距離

(文献28より引用)

- 6) 山内順子、丸川征四郎、尾崎孝平ほか：下側肺障害に対する短時間腹臥位のガス交換に及ぼす効果. 日本集中治療医学会雑誌. 1994 ; 2 : 101-105.
- 7) 丸川征四郎：体位呼吸療法. 呼吸管理の基本手技. 天羽敬祐編. 東京、中外医学社、1995、pp232-243.
- 8) Beuret P, Carton M, Nourdine K, et al : Prone position as prevention of lung injury in comatose patients : a prospective, randomized, controlled study. *Intensive Care Med.* 2002 ; 28 : 564-569.
- 9) Guerin C, Gaillard S, Lemasson S, et al : Effect of systematic prone positioning in hypoxemic acute respiratory failure : a randomized controlled trial. *JAMA.* 2004 ; 292 : 2379-2387.
- 10) Ibanez J, Penafiel A, Raurich JM, et al : Gastroesophageal reflux in intubated patients receiving enteral nutrition : effect of supine and semirecumbent positions. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 1992 ; 16 : 419-422.
- 11) Drakulovic MB, Torres A, Bauer TT, et al : Supine body position as a risk factor for nosocomial pneumonia in mechanically ventilated patients : a randomized trial. *Lancet.* 1999 ; 354 : 1851-1858.
- 12) 尾崎孝平、松本栄始、李家文ほか：急性期肺理学療法の Update. *Modern Physician.* 2007 ; 27 (2) : 135-140.
- 13) King M, Zidulka A, Phillips DM, et al : Tracheal mucus clearance in high frequency oscillation : Effect of peak flow rate bias. *Eur Respir J.* 1990 ; 3 : 6-13.
- 14) Brimiouille S, Moraine JJ, Norrenberg D, et al : Effects of positioning and exercise on intracranial pressure in a neurosurgical intensive care unit. *Phys Ther.* 1997 ; 77 : 1682-1689.
- 15) Tyler ML : Complication of positioning and chest physiotherapy. *Respir Care.* 1982 ; 27 : 458-466.
- 16) Hammon WE, Connors AF Jr, Mckaffree DR : Cardiac arrhythmias during postural drainage and percussion of critically ill patients. *Chest.* 1992 ; 102 : 1836-1841.
- 17) 宮川哲夫：効果的な排痰の実際. スクイーミング. 月刊ナーシング. 2005 ; 25 (11) : 54-62.
- 18) 平山友恵、神津玲、藤島一郎ほか：呼吸理学療法前の口腔ケアが気道分泌物除去に及ぼす影響. 日本摂食嚥下リハ会誌. 2007 ; 11 (2) : 123-129.
- 19) Schweickert WD, Pohlman MC, Pohlman AS, et al : Early physical and occupational therapy in mechanically ventilated, critically ill patients : a randomized controlled trial. *Lancet.* 2009 ; 373 : 1874-1882.
- 20) 長谷川聡、玉木彰、新宮信之ほか：当院呼吸器外科肺切除術における術前術後理学療法介入の取り組みとその効果. 理学療法学. 2007 ; 34 : 413.
- 21) O'Donnell DE, Sanni R, Giesbrecht G, et al : Effect of continuous positive airway pressure on respiratory sensation in patients with chronic obstructive pulmonary disease during sub maximal exercise. *Am Rev Respir Dis.* 1988 ; 138 : 1185-1191.
- 22) Keity SE, Ponte J, Fleming TA, et al : Effect of inspiratory pressure support on exercise tolerance and breathlessness in patients with severe stable chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax.* 1994 ; 49 : 990-994.
- 23) Moritani T, Muro M, Kijima A, et al : Electromechanical changes during electrically induced and maximal voluntary contractions : surface and intramuscular EMG responses during sustained maximal voluntary contraction. *Exp Neurol.* 1985 ; 88 (3) : 484-499.
- 24) Neder JA, Sword D, Ward SA, et al : Home based neuromuscular electrical stimulation as a new rehabilitative strategy for severely disabled patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD) . *Thorax.* 2002 ; 57 : 333-337.
- 25) Bourjeily-Habr G, Rochester CL, Palermo F, et al : Randomised controlled trial of transcutaneous electrical muscle stimulation of the lower extremities in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax.* 2002 ; 57 : 1045-1049.
- 26) Sillen MJ, Speksnijder CM, Eterman RM, et al : Effects of neuromuscular electrical stimulation of muscles of ambulation in patients with chronic heart failure or COPD. *Chest.* 2009 ; 136 : 44-61.
- 27) Isabelle V, Jean-Louis P, Gabrielle V, et al : Improvement in quadriceps strength and dyspnea in daily tasks after 1 month of electrical stimulation in severely deconditioned and malnourished COPD. *Chest.* 2006 ; 129 : 1540-1548.
- 28) 長谷川聡、新宮信之、玉木彰ほか：慢性閉塞性肺疾患に対する筋電気刺激トレーニングの効果. 日呼ケアリハ学会誌. 2009 ; 19 : 198s.