

慢性閉塞性肺疾患に対する Whole body vibration training
(全身振動訓練) の臨床的研究

平成 23 年度

筑波技術大学大学院修士課程技術科学研究科
保健科学専攻
稲村 真治

目次

第 I 章 緒言

I-1	慢性閉塞性肺疾患の研究背景と目的	1
-----	------------------	---

第 II 章 COPDの臨床（文献的考察）

II-1	COPDの概念と歴史的変遷	3
II-2	COPDの疫学	5
II-3	COPDの病因	6
	1) タバコ喫煙	6
	2) 酸化ストレスの役割	6
	3) プロテアーゼの役割	6
II-4	COPDの病理と呼吸生理	7
	1) COPDの病理	7
	2) COPDの呼吸生理	7
II-5	COPD患者の臨床症状と検査所見	10
	1) 臨床症状	10
	2) 身体所見	11
	3) 検査所見	11
II-6	COPDの診断	12
II-7	COPDの病期分類	12
II-8	COPDの治療・管理	12
	1) 薬物療法	12
	2) 呼吸リハビリテーション	13
	3) 酸素療法	13
	4) 外科療法	13
	5) 禁煙	13
	6) ワクチンによる感染予防	13

第 III 章 COPDの呼吸リハビリテーション

III-1	総論	14
III-2	全身振動訓練	16
III-3	呼吸器疾患における全身振動訓練の意義	17

第IV章	慢性閉塞性肺疾患に対するwhole body vibration training(WBVT)の臨床的研究	
IV-1	研究目的	18
IV-2	研究方法	20
	1) 対象	20
	2) 倫理	20
	3) COPD患者の呼吸リハビリテーションプログラム	21
	4) 評価方法	23
	5) 統計解析	24
IV-3	結果	
	1) 実験開始前の検査関連項目の群間比較	25
	2) 全身振動訓練の効果の群間比較	25
IV-4	考察	27
第V章	結論	29
	謝辞	30
	参考文献	31
	図、表	36

筑波技術大学

修士（理学療法学）学位論文

第 I 章 緒 言

I - 1 慢性閉塞性肺疾患の研究背景と目的

慢性閉塞性肺疾患 (chronic obstructive pulmonary disease ; COPD) とは、長年の喫煙習慣や大気汚染などによる毒性物質の吸入により、気道の炎症性の狭窄や肺胞の破壊が生じ、換気機能やガス交換障害など、さまざま障害を呈する疾患である。代表的な症状は、慢性的な咳や痰、労作時の息切れである。病初期においては安静時には症状の自覚がなく、階段昇降や少し走った時に軽い息切れを感じる程度であるが、進行すると歩行時や会話中にも息切れを感じるようになる。さらに進行すると息苦しさのために日常生活の行動の自由が制限される。そのため、大変な身体的・精神的苦痛を伴う疾患である。

本邦の疫学調査¹⁾による COPD 有病率は 40 歳代 3%、50 歳代 5% であるに対して、60 歳代 12%、70 歳以上 17% と年齢とともに増加しており、今後、高齢者人口の増加とともに患者数はますます増えるものと予想される。そのため、今後、本症に対するより有効な治療・予防法の確立と QOL (quality of life) 向上のための新たな治療法の開発は急務の課題になっている。

一方、1980 年代には 5 年生存率で、40~50% 程度であった COPD 患者の予後は、1990 年代には 70~80% としだいに改善してきている²⁾。これには、在宅酸素療法^{3, 4)}、吸入ステロイド⁵⁾などの薬物療法、外科療法⁶⁾などの治療法の導入とともに呼吸リハビリテーションが大きく貢献している。

COPD 患者は肺機能障害から惹起される呼吸困難のために日常活動量が減少し、身体機能の失調・低下 (deconditioning) が生じ、さらに呼吸困難を増悪させてしまう悪循環に陥る。呼吸リハビリテーションはその悪循環を断ち切るのに効果があり、EBM の観点から 1997 年のアメリカ胸部医師学会とアメリカ心血管・呼吸リハビリテーション協会によるガイドラインで、COPD 患者の呼吸困難の軽減、運動耐容能の改善、健康関連 QOL の改善の効果は明らかになっている。さらに、COPD 患者では、全身性炎症、栄養障害、骨格筋機能障害、抑うつなどを合併することが多く、全身疾患としての包括的な治療の重要性が指摘されている⁷⁾。これらの症状にも呼吸リハビリテーションは、薬物療法とともに有効な治療とされている^{8)~10)}。

全身振動訓練 (whole body vibration training; WBVT) は、1960 年代に Vladimir Nazarov らによって考案された主に下肢筋に高頻度振動刺激を加える新しい筋力訓練方法である⁶²⁾。これまでの WBVT に関する研究報告は決して多いものではないが、バスケットボール選手で膝伸展筋力とスクワットジャンプ高の増加⁶⁴⁾、女性プロバレーボール選手で筋電図の波形の増大による瞬発力の向上などが報告されている⁵¹⁾。患者を対象とした研究では、慢性脳卒中片麻痺患者およびパーキンソン病患者で歩行能力とバランス機能の改善などが報告されている^{56, 65)}。呼吸器疾患患者を対象とした研究では、呼吸困難を伴う成人嚢胞性線維症

(cystic fibrosis ; CF) 患者で、ジャンプ力、筋収縮速度の改善が報告されている^{57, 58)}。しかし、COPD 患者の WBVT の応用的研究は極めて少ない。そこで WBVT は、労作時呼吸困難を訴えることが多い COPD 患者には、従来の訓練法よりも、より呼吸リハビリテーションの訓練方法として効率的でより負担の少ない訓練方法になりうるのではないかと考え、本研究を行った。

第Ⅱ章 COPD の臨床（文献的考察）

Ⅱ-1 COPD の概念と歴史的変遷

現在の COPD をさすと考えられる労作時息切れと肺の過膨張を特徴とする疾患は、1685 年に Willis により初めて単一疾患概念として記載された¹¹⁾。イタリアの解剖学者ジョバンニ・モルガーニは 1761 年、この疾患患者の肺は剖検時に開胸してもしぼまないことを記載し、1819 年フランスの内科医レンネックは「肺の過膨張状態で肺組織の委縮を伴う疾患」として「肺気腫 emphysema」を命名した。その後、1949 年にティフェノーが開発した呼吸機能検査法により、本症の肺の過膨張や気流制限は定量的に評価されるようになった。

1950 年代、世界的な人口増加と高齢化、大気汚染や喫煙習慣の増加などにより、労作時息切れや喀痰の増加を特徴とする疾患患者が増加した。その疾患はイギリスでは「慢性気管支炎 chronic bronchitis」、アメリカ合衆国では「肺気腫 emphysema」と呼ばれ、ともに気流制限を特徴とするものであるが、呼称の異同が問題となっていた。そのため、慢性気管支炎、肺気腫、気管支喘息などに関する用語、定義、分類の統一を目指し、1958 年 Ciba Guest Symposium が開催された。この会議で、慢性気管支炎は咳や痰の持続期間等の臨床症状に基づくものであり、肺気腫は病理形態学的用語であることが提言された¹²⁾。

アメリカ胸部疾患学会 (American Thoracic Society ; ATS) は 1962 年に慢性気管支炎、肺気腫、気管支喘息の三つの定義について討論したが、統一した見解は得られなかった。しかし、1964 年に Burrows と Fletcher らによる共同研究から、慢性気管支炎・肺気腫を包括した概念として COPD という用語が提唱された¹³⁾。1965 年に ATS で臨床症状や X 線所見、生理学的検査所見に基づいて、従来の COPD は以下の 3 つのタイプに分類された。

- ①A type : 肺気腫型 (pink puffer)
- ②B type : 慢性気管支型 (blue bloater)
- ③X type : A、B の混合型

1970 年代半ば以降、COPD 患者を対象として肺の病変形成や、病変と呼吸機能の詳細な比較研究が続けられた。この過程で、慢性気管支炎の主徴である喀痰症状や気管支腺の肥厚は気流閉塞と有意な関係になく、気流閉塞には細気管支病変と肺気腫が密接に関与していることが明らかにされた。これに準じて 1992 年にカナダで初めて COPD の診断と治療のための診療ガイドライン¹⁴⁾が作成され、その後、世界各国でほぼ同じ内容のガイドラインが作成されるようになった。さらに、1997 年、COPD 患者数が増加傾向にあるため、WHO が中心となり、COPD の予防と治療を目的として、Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD) という国際機関が発足し、2001 年 COPD ガイドラインが発表された¹⁵⁾。このガイドラインから COPD を肺気腫、慢性気管支炎、末梢気道病変な

どの個々の疾患概念に分類したり異同を論じたりはせず、COPD は一つの疾患単位として扱われるようになった。

2007 年の GOLD の定義では COPD は「予防可能・治療可能な疾患であり、個々の患者の病期には肺以外の全身症状も影響する。肺症状は、完全には可逆的でない気流制限を特徴とする。この気流制限は通常進行性で、有害な粒子やガスに対する肺の異常な慢性炎症反応と関連している疾患」とされている。これまでは気流制限は非可逆的と考えられていたが、治療によりある程度改善し、その結果、症状・運動耐容能・QOL などに改善が見られることが分かってきている。ちなみに、日本呼吸器学会の COPD 診断と治療のためのガイドライン第 3 版では、COPD は、「タバコ煙を主とする有害物質を長期に吸入暴露することで生じた肺の炎症に基づく末梢気道病変や気腫性病変が複合的に作用し進行性の気流閉塞を示す疾患である。慢性の咳、痰や労作時の息切れが特徴的症状である」と定義されている。

II-2 COPD の疫学

1997年、WHOと世界銀行による疾病負荷の研究（Global Burden of Disease Study）では、COPDは2020年に世界の死亡原因別死亡率の3位になることが推定されている¹⁶⁾。また、WHOの世界死亡原因統計は、COPDは2005年の世界の死因の第4位（年間約300万人）であるが、今後10年間でさらに30%増加すると予測している¹⁷⁾。

ラテンアメリカの5つの主要都市でのスパイロメトリーを用いた疫学調査では、いずれの都市においても有病率が10%を超えていた（メキシコシティ11.9%、カラカス13.0%、サンパウロ14.9%、サンティアゴ14.5%、モンテビデオ19.4%）と報告されている¹⁸⁾。

2001～2006年の世界12カ国（中国、トルコ、オーストリア、南アフリカ、アイスランド、ドイツ、ポーランド、ノルウェー、カナダ、アメリカ、フィリピン、オーストラリア）の疫学調査では、GOLDのstage II以上のCOPD有病率は平均10.1%（男性11.8%、女性8.5%）であった。喫煙率が高い国ほど有病率も高い傾向にあった¹⁹⁾。

本邦では2000年9月から12月にかけて、福地らによる一般住民を対象とした大規模疫学調査（Nippon COPD Epidemiology; NICE study）が実施された¹⁾。解析の結果、1秒量（forced expiratory volume in 1 sec; FEV₁）/努力性肺活量（forced vital capacity; FVC）<70%以上の診断基準に従うと閉塞性換気障害は10.9%（男性16.4%、女性5.0%）に認められたと報告されている。GOLDガイドラインの重症度分類別では、軽症56%、中等症38%、重症5%、最重症1%であった。閉塞性換気障害の割合は男女別では男性に多く、高齢になるほど増加し、60歳代では15.7%、70歳以上では24.4%であった。この中に気管支喘息が含まれる可能性もあるため、喘息を除外するために、健康調査票で気管支喘息の存在を示唆する4項目のうち1つでも該当する被験者を除外すると、本邦のCOPDの有病率は8.6%（当時の人口構成で40歳以上の530万人）であると報告されている。

図1に示すように、平成10(1998)年から平成22(2010)年の厚生労働省人口動態統計によるCOPD死亡者数は現在も増加傾向にある²⁰⁾。

II-3 COPD の病因

1) タバコ喫煙

COPD の病因に関しては①COPD 患者の90%が喫煙者ないし喫煙経験者であること、②喫煙感受性者では1秒量の経年的低下率が非喫煙者に比べて2~5倍高いこと、③喫煙量に依存して1秒量の経年的低下率が増加すること、④禁煙により1秒量の経年的低下率が減少すること、⑤喫煙量に依存して肺気腫の頻度が高いこと、⑥喫煙者ではCOPDによる死亡率が非喫煙者の10倍高い²¹⁾ことが報告されており、タバコ喫煙が最大の発症因子であることが示唆されている。その他の外因性発症因子としては、大気汚染や職業上の粉塵、窒素酸化物や硫黄酸化物などの化学物質への暴露が考えられている^{22、23)}。

2) 酸化ストレスの役割

肺は直接外界に接している臓器であるため、外因性のさまざまな汚染物質の吸入からは逃れることはできない。タバコ喫煙者においてはタバコの煙由来の酸化物質に曝されている。また、肺は外界からの刺激物質に対しての防御機構が発達しているため、刺激物質に反応して浸潤してきた炎症細胞や肺胞マクロファージなどの細胞から発生するオキシダントも多い。通常は肺の細胞は酵素的・非酵素的システムにより、これらの酸化ストレスから守られているが、過剰なオキシダントやアンチオキシダント不足により、両者のバランスがオキシダント優位に傾くと酸化ストレスが発生する。酸化ストレスは肺を直接損傷するだけでなく、肺の炎症を増悪させるため、COPD の病因に重要であると考えられている²⁴⁾。

3) プロテアーゼの役割

COPD 患者では、肺の構成成分を分解する種々のプロテアーゼとそれを阻害するアンチプロテアーゼのバランスが崩れることにより、肺胞における結合組織の主要構成要素であるエラスチンが分解され、気腫性変化を生じさせるとの説もある。また、プロテアーゼインヒビター的一种である α_1 アンチトリプシンの欠損症ではCOPDを高率に発症することが知られており、その内因性因子としての役割が示唆されている。但し、本邦での発症率は極めて少ない。その他の内因性因子として遺伝素因、気道過敏性、加齢等が報告されている^(25~30)。

II-4 COPD の病理と呼吸生理

1) COPD の病理

COPD 患者の肺組織を観察すると、以下のような所見がみられる。①中枢気道の扁平上皮化、②分泌腺の肥大や過形成による気道内腔の狭窄、③末梢気道の線維化を伴う閉塞性細気管支炎による気道壁の肥厚と狭窄、④肺胞壁の破壊による気腫性病変、これらが混在している。この①～④の病理学的異常により、肺弾性収縮力と気道支持力 (radial traction) が低下するため、気道がつぶれやすくなり、気流が制限されると考えられている³¹⁾。

COPD は、気腫型と非気腫型に分けられるが、病理学的には、従来の疾患名である肺気腫と慢性気管支炎に分けられる。肺気腫肺は肺胞壁が失われ、そのため毛細血管床の多くの部分が破壊される。血管を含んでいる肺実質の連なりが、大きく拡張した気腔を交差して走っている。末梢気道は狭窄し、曲がりくねり、その数が減少している。さらに、気道の壁は薄く、委縮している。また、大きな気道も減少している。図2に気腫型 COPD の気道の病理学的な気道病変を示す。慢性気管支炎の組織学的所見で特徴的なのは、大きな気管支の粘液腺肥大と、末梢気道の明らかな慢性炎症性変化である。①粘液腺の肥大は、腺と壁の厚さの比 (Reid 指数) として表され、正常では 0.4 未満であるが、重症慢性気管支炎では 0.7 を超える。②過量の粘液が気道内に認められ、半固形の粘液栓が小気管支を閉塞する。さらに、③細胞浸潤や壁の浮腫といった炎症性変化により、末梢気道は狭小化する。④肉芽組織がみられ、気管支周囲の線維化がみられる。⑤気管支平滑筋の増加が認められる。

上記のような病理学的変化の結果、図2のように肺弾性収縮力の低下、末梢気道の虚脱を防ぐ radial traction の減少により、気道が閉塞しやすくなる。

2) COPD の呼吸生理

①呼吸機能

COPD 患者にスパイロメータを用いて呼吸機能を測定すると、FEV₁、FVC、1 秒率 (percent of forced expiratory volume in 1 sec ; FEV₁%)、などが減少する。これは、気道内腔の過量粘液、または炎症性変化による気道壁の肥厚、radial traction の減少など、いずれかの原因により気道が閉塞されていることを表している。FVC の減少は、異常に高い肺気量レベルで呼気時に早い段階で気道閉塞が起こることにより、残気量 (residual volume ; RV) が増加するためである。

COPD 患者がスパイログラムの検査をする際、努力呼気時にほとんどの肺気量位で流速が著しく減少し、呼気時間が延長する (図3)。この原因の一部は気腫

肺の肺弾性収縮力の低下である。 COPD 患者は、末梢気道病変による気道狭窄や肺弾性収縮力の低下により、気道抵抗が高く、胸腔内圧が陽圧となる呼気時には、気流制限が顕著となり、呼出時間が延長する。体動時などの換気需要が増加すると呼吸数の増加により、呼気時間が短縮し、呼出が終了する前に吸気が始まる。その結果、肺内の空気を十分に呼出できずに空気捉え込み (air trapping) が生じ、肺が過膨張する。肺の過膨張は RV を増加させて最大吸気量を減少させるため、呼気終末肺気量を増加させて換気量を減少させる。これが動的肺過膨張 (dynamic hyperinflation) である。また、COPD 患者では呼気気流制限により呼気終末時でも気道圧が大気圧より陽圧 (内因性 positive end expiratory pressure ; PEEP) となるため、呼出障害が高度であるほど内因性 PEEP が上昇して、さらに dynamic hyperinflation が高度となる。この dynamic hyperinflation は、横隔膜の平低化を来すため、換気メカニクス上、3つの不効率な点が生ずる。1つは、曲率半径が大きくなるため、ラプラスの法則 ($P=2T/r$; P は経横隔膜圧、 T は横隔膜張力、 r は曲率半径) から、たとえ同じ横隔膜張力であったとしても、肺が過膨張している場合は、半径が大きくなるため、経横隔膜圧は弱くなる。2つ目は、肺の過膨張は横隔膜の長さを短くするため、筋の長さ-張力関係により収縮力が減少する。3つ目は、Zone of apposition (下部胸壁に付着する横隔膜肋骨部) が減るため、ピストン運動の効率が悪くなる。

COPD 患者は、以上の理由により、労作時に換気量が頭打ちとなり、呼吸困難のために運動能力低下を来す場合が多い。

②ガス交換障害

換気血流比不均等分布

COPD 患者では、換気血流比 (ventilation perfusion ratio ; \dot{V}_A/\dot{Q}) 不均等から低酸素血症となる。 \dot{V}_A/\dot{Q} 不均等が動脈血酸素分圧 (partial pressure of arterial oxygen ; PaO_2) の低下を招く理由は図 4 に示すように、高い \dot{V}_A/\dot{Q} をもつ領域からは少ない量の血液が流れ込み、低い \dot{V}_A/\dot{Q} をもっている領域からは多くの血液が流れ込むために 3つの領域からの血液が混合すると、低い \dot{V}_A/\dot{Q} をもつ領域の血液が、酸素含量が少ないために、血中の酸素含量が減少する。これは、図 5 の酸素解離曲線が、非直線的な S 字状の形態をしていることから説明できる。高い \dot{V}_A/\dot{Q} をもつ領域は高い酸素分圧 (PO_2) をもっているが、 PO_2 が増加しても酸素飽和度はわずかしこ増加せず、その血液の酸素含量の増加はあまりみられない。 \dot{V}_A/\dot{Q} 不均等によって、 PaO_2 の低下を引き起こすのは、 \dot{V}_A/\dot{Q} の低い領域の影響である。

\dot{V}_A/\dot{Q} 不均等の理由は、肺気腫における肺構築の破壊 (肺毛細血管床の破壊) によって、血流不均等分布が生じることや慢性気管支炎における気道の異常に

より、換気不均等が生じるためである。

\dot{V}_A/\dot{Q} 不均等によるガス交換障害の影響を減少させる因子が2つある。1つは、近接している肺胞間（Kohn 孔）や末梢気道間（Lambert 管）には、それぞれ相互に連絡経路があり、側副換気が存在している³⁶⁾。そのため、重症な気道病変があつて、気道の一部が完全に閉塞してしまつても、側副換気により、多少換気を確保できるため、シャント血流を少なくすることができる。

2つ目は、低酸素性肺血管攣縮である。肺胞気 PO_2 の低下に対して起こる局所的な反応で、換気不良領域、または無換気領域への血流を減少させることにより、動脈血低酸素血症を是正させる働きをもっている。

拡散障害

拡散能力を低下させる原因として肺胞毛細血管膜の機能障害、肺胞毛細血管膜（ガス交換面積）の減少、肺毛細血管床・肺毛細血管血量の減少、換気血流不均等分布があげられる。COPD 患者の場合は、肺胞隔壁と肺胞毛細血管網の破壊によって拡散面積が減少し、拡散能力が低下する。

II-5 COPD の臨床症状と検査所見

1) 臨床症状

呼吸困難

病初期には労作時にのみ息切れ等の呼吸困難を訴えるが、その程度は病変の進行とともに悪化する。重症になると安静時にも呼吸困難が出現する。呼吸困難の程度は呼吸機能障害の程度と相関し、FEV₁が予測値の30%以下になると安静時にも呼吸困難が出現する³⁷⁾。また、COPD患者では呼吸器感染やストレスによる疲労が原因で呼吸困難が急速に進行する増悪がみられることが多い。軽症のCOPD患者では、急性増悪により本症と診断されることもある。

日常診療で呼吸困難の程度を客観的に評価するのに、MRC(British Medical Research Council)の質問票が国際的によく用いられる。

咳嗽、喀痰

咳嗽、喀痰は、主に慢性気管支炎に随伴する症状で、起床時から午前中にかけて多く、病初期から出現することがある。咳嗽は、通常、粘性痰を伴う湿性咳嗽である。咳嗽、喀痰は、喫煙や大気汚染などの種々の刺激によって誘発される。呼吸器感染を合併すると喀痰が膿性に変化し、量も多くなる。

喘鳴

喘鳴とは、喘息患者でよく聞かれるゼイゼイ、ヒューヒューする異常な呼吸音(連続性ラ音)である。安定期のCOPD患者では安静呼吸時には聴取できないが、強制呼気時や運動時に聞かれることがある。進行したCOPD患者では、安静呼吸時にも聴取されることがある。COPD患者は気道炎症のために気道過敏性が亢進していることが多く、感染や喫煙、大気汚染物質などの刺激物質の吸入で喘鳴を誘発されやすい。

やせ

気腫型COPD患者では非気腫型COPD患者に比べて、有意にやせがみられることが報告されている³⁸⁾。

その他の症状

COPD患者では、呼吸困難のため日常生活動作や運動が制限されるため、下肢筋の筋力や持久力が低下している。また、社会活動への参加が困難なことが多いため、抑うつ傾向が強く、抑うつ状態は呼吸困難を増悪させる。低酸素血症や高CO₂血症を伴う患者では、興奮、不穏など様々な精神神経症状を示すことがある。高CO₂血症では、朝方の頭痛がみられることが多く、昏睡状態の前兆の可能性がある。

2) 身体所見

視診

末梢気道の狭窄と air trapping により、肺は呼気時でも過膨張となり、ピア樽状の胸郭と後彎になる。胸郭横径より前後径が大きくなり、側面における肋骨位置は水平近くとなり、肋骨角も拡大する。過膨張肺により横隔膜の位置が下がり平低化する。重症 COPD 患者では呼吸補助筋の肥大がみられる。

COPD に肺高血圧が合併すると肺性心から右心不全を惹起し、頸静脈が怒張する。進行した気腫型 COPD 患者ではその他、フーバー徴候や口すぼめ呼吸、奇異性呼吸がみられる。

触診

重症気腫型 COPD 患者では過膨張肺による横隔膜平低化と縦隔下方偏位により剣状突起下に心拍最強点がよく触知される。

打診

肺気腫病変があり過膨張になると鼓音となる。臓器が胸壁より離れるため、心輪郭は不鮮明となる。肺肝境界は低位となる。

聴診

肺気腫病変による含気の増加、ブラ(径 1cm を超える薄い隔壁をもつ嚢胞)の増加に応じて全肺野で呼吸音が減弱する。また、呼気の延長、呼気時の連続性ラ音や気道内に分泌物が貯留すると水泡音が聴取される。

3) 検査所見

呼吸機能検査

気管支喘息を除外診断するため、気管支拡張薬吸入後のスパイロメトリーを測定し、FEV₁%が 70%未満であることを確認する。さらに、最大吸気位からできるだけ速く最大呼気位まで呼出させたフローボリューム曲線を記録し、下に凸の曲線と呼気量、気流速度を確認する。(図 3 参照) また、肺拡散能低下や肺コンプライアンスの上昇も気腫型 COPD で重要な所見である。

画像所見

胸部単純 X 線写真は COPD を診断する際に他疾患の除外と、比較的進行した肺気腫病変や気道病変を検出するために用いられるが、病初期の診断的意義は少ない。肺気腫の進行例では、肺野の透過性の亢進、横隔膜の低位・平低化、心臓が滴状心となり、心胸郭比が減少する。また、肺野末梢血管影は狭小化する。側面像では、胸骨後腔の拡大、心臓後腔の拡大、横隔膜の平低化が認められる。

CT 画像は、肺気腫病変では隔壁の見られない無構造の低吸収域として描出される。また、ブラの検出率が高い。

高分解能 CT では、肺気腫の最小単位である数 mm 径の病変内の構造まで判別できる解像度があるため、比較的早期の肺気腫病変を検出することが可能になっている。

血液所見

COPD 患者は呼吸器感染症により、症状が増悪する。血沈、末梢血中の C-反応性蛋白 (C-reactive protein ; CRP) などの炎症反応物質の増加、白血球数の増加は感染による気道炎症の増強を意味しており、入院治療や抗生物質治療を開始する判断基準となる。また、低酸素血症を認める患者ではエリスロポエチンが分泌され多血症を伴っている場合があり、重症例の指標となる。

II-6 COPD の診断

COPD の診断には、日本呼吸器学会 COPD 診断と治療のためのガイドラインが広く用いられている⁽³⁹⁾ (表 1)。

COPD は呼吸困難、咳嗽、喀痰、喘鳴を主徴とする疾患であるが、①気管支拡張薬吸入後でも FEV₁% が 70% 未満であり、②X 線画像検査や呼吸機能検査、心電図等により、表 2 に示すような気流閉塞をきたす疾患が除外できれば本症と診断される。

II-7 COPD の病期分類

COPD の診断には、FEV₁/FVC が用いられるのに対して、病期分類で FEV₁ を用いるのは、進行した COPD 患者では、努力呼気時に、air trapping が起こるために、FVC も低下してしまうためである。

COPD の重症度は個人によって大きく異なる。また、重症度の違いによって治療法の選択肢も大きく異なる。そのために、COPD は表 3 のように病期分類される。

II-8 COPD の治療・管理

安定期の COPD 患者の治療・管理は呼吸機能と臨床症状の両者を考慮して、重症度を総合的に判断したうえで治療法を選択する。

1) 薬物療法

COPD 患者に対して、気管支拡張薬は症状を軽減させ、運動耐容能を向上させ、QOL を改善させる。さらに、吸入ステロイドは比較的重症の COPD 患者で増悪の頻度や重症度を低下させることが報告されており^{40, 41)}、GOLD や本邦のガイドラインでは重症以上で増悪を繰り返す症例に推奨されている。また、FEV₁ などの呼吸機能に明らかな改善が認められない場合でも、気管支拡張薬により肺の過膨張が軽減されると、運動耐容能や QOL の改善が認められる。

気管支拡張薬には、抗コリン薬、 β_2 刺激薬、テオフィリン薬があり、おのこの作用機序は異なる。薬剤の選択は、個々の患者での薬剤の反応性と副作用で決定されるが、通常多剤併用で用いられる。

2) 呼吸リハビリテーション

次項で述べる。

3) 酸素療法

長期酸素療法は生命予後の改善、肺高血圧の改善などについて高いエビデンスが示されている。酸素療法の適応の決定は、 PaO_2 が55Torr以下の場合、および PaO_2 60Torr以下であっても睡眠時または運動負荷時に著しい低酸素血症を来し、医師が在宅酸素療法を必要であると認めた場合、適応となる。適応患者の判定にはパルスオキシメータを用いてもよい。

4) 外科療法

COPD患者に対する外科治療には肺容量減少手術と巨大肺嚢胞切除術、肺移植がある。

5) 禁煙

禁煙はCOPD患者の FEV_1 の低下率を非喫煙者と同程度に改善し、症状の進行を最も効果的に抑え（図6）、患者のQOLと予後を改善しうる治療法である。

禁煙指導の方法には、薬物療法、行動療法またその併用があるが、受診時に毎回短い問診をし、依存性がみられる例ではニコチン置換療法を行うとよい。

6) ワクチンによる感染予防

ワクチン接種の目的は、感染防御に必要な免疫を誘導し、感染発症の予防ないしは感染重症化の予防をすることである。COPD患者が、呼吸器感染症に罹患すると重症化することが多いことから、インフルエンザワクチンと肺炎球菌ワクチンの接種は特に重要であり、患者自身はもちろんのこと、家族や介助者も接種することが望ましい。

第Ⅲ章 COPD の呼吸リハビリテーション

Ⅲ-1 総論

呼吸リハビリテーションとは、「呼吸器の病気によって生じた障害をもつ患者に対して、可能な限り機能を回復、あるいは維持させ、これにより、患者自身が自立できるように継続的に支援していくための医療である」⁴³⁾と定義されており、呼吸困難、日常活動量の減少、社会的孤立、抑うつなどの悪循環を形成している COPD 患者に対して、日常生活を心身にわたり良好な状態に改善させることが目的である。

COPD 患者の多くは、呼吸生理の項で述べたように、運動誘発低酸素血症による化学受容器刺激や乳酸の早期産生などの多くの換気需要があるにも関わらず、dynamic hyperinflation による吸気筋の機械的負荷の増加や内因性 PEEP のため、換気量を増やすことができず、呼吸困難のために運動が制限される。その結果、身体活動量低下から deconditioning 状態となり、少しの労作で呼吸困難を生じる悪循環を形成する。

呼吸リハビリテーションは、運動耐容能の改善、呼吸困難の軽減などの効果が 2003 年より GOLD でエビデンスレベル A と最も高く証明されている。また、呼吸リハビリテーションは非薬物療法として独立した治療法とされ、より早期からの介入が支持されており、その効果は薬物療法に上乘せすることができる。とされている。

呼吸リハビリテーションの内容は、コンディショニング、全身持久力訓練、筋力増強訓練、日常生活動作(activities of daily living ; ADL)訓練から構成されるが、COPD 患者は同じ呼吸機能でも呼吸困難の強さ、運動耐容能が個々で大きく異なることもあり、開始に際しての訓練構成は患者の重症度により異なる。

コンディショニング

特に重症 COPD 患者では、呼吸パターンの異常や胸郭を含む全身の筋肉や関節の柔軟性の低下、筋の短縮や過緊張などが認められるため、コンディショニングを実施する。その内容は、口すぼめ呼吸や横隔膜呼吸を行う呼吸訓練、呼吸補助筋のストレッチやマッサージを行うリラクゼーション、呼吸筋力が低下している症例への呼吸筋トレーニング、呼吸筋ストレッチ体操や徒手胸郭圧迫法、関節モビライゼーションなどの胸郭可動域運動、排痰法からなる。

全身持久力訓練

運動療法の指導に際しては、FITT [実施頻度(Frequency ; F)、負荷強度(Intensity ; I)、運動時間(Time ; T)、種類(Type ; T)] を明らかにして指導することが重要である。実施頻度は 3 回/週以上が望ましく、負荷強度は 2007 年のアメリカ胸部医師学会とアメリカ心血管・呼吸リハビリテーション協会によ

るガイドラインから低強度負荷と高強度負荷の両者とも有用とされている。運動時間は最初 5 分程度から開始し、徐々に時間を延ばして 20 分以上を目標として、実施期間は 6～8 週間以上継続することが推奨されている⁴⁴⁾。訓練の種類には平地歩行、階段昇降、踏み台昇降、自転車エルゴメータ、トレッドミルなどがあり、GOLD では、歩行に関係する下肢の訓練を強く推奨している。

筋力増強訓練

COPD 患者における筋力増強訓練の効果として、筋力、筋持久力の増大、筋横断面積の拡大、筋肉内の代謝機能の改善(酸化酵素活性の増大など)による有酸素的エネルギー供給過程の改善がある。筋力増強訓練の種類には、自重、フリーウェイト、弾性ゴムバンド、トレーニングマシンを用いた訓練がある。歩行に関与する大腿四頭筋や下腿三頭筋および、上肢を使用する ADL と関連が大きい肩関節周囲筋や肘関節筋群を訓練の対象とする。

ADL 訓練

ADL 訓練は、起居・移動動作、基本動作能力の回復をめざしたプログラムと、基本および応用動作における具体的動作法の工夫と獲得、ADL 遂行のための道具や生活環境の改善などの応用的なプログラムに分かれる。

息切れが強い場合は、動作は基本的に呼吸と同調して行うようにし、呼気にあわせて動作するように指導することが重要である。階段、トイレ、浴室などへの手すりの設置、椅子の設置や高さの調整、屋内外の段差の解消、シャワーの位置の調整、酸素チューブの延長なども考慮する。

Ⅲ-2 全身振動訓練

ロシアの科学者である Vladimir Nazarov は宇宙飛行士の体力低下を治療する方法の一つとして全身振動 (whole body vibration : WBV) を開発し、柔軟性と筋力が大幅に増加するとの結果を得ていたが、公表はしていなかった⁴⁵⁾。1960年に開催されたローマオリンピックでロシアが金メダル獲得数で初めてアメリカを抜いて首位になったことでその効果が後に明らかとなった。

全身振動訓練 (WBV training ; WBVT) とは、振動板上で立位姿勢をとり、足腰を強化させるトレーニング方法である。最近では臨床レベルで応用されるようになってきた (図 7)。WBVT の原理は、鉛直方向の振動刺激を発生させる板上に立ち、機械的振動により筋紡錘を刺激し、 α 運動ニューロンを活性化させ、伸張反射により高頻度で筋収縮を発現させるものである。この筋の収縮と弛緩を素早く交互させるような通常の運動負荷にはない刺激は、神経筋系の動作経路の強化と調整をもたらす、より多くの筋および神経線維を動員させる。Issurin らは、全身振動刺激による運動学習効果は、それまで動員されていなかった運動単位が動員されたことによるものであると報告している⁴⁶⁾。つまり、十分に使われていない神経経路への刺激によって、より高い運動能力が可能になるということである。

本研究で使用した機器は、シーソーの動きのように左右交互に振動するもので、振動周波数と振幅が変更可能なため、運動強度を調整することができる。Hans らの先行研究によると低周波数 (約 5~12Hz) では、クールダウンやリラクゼーション効果、中間周波数 (約 12~20Hz) では、筋収縮の学習や筋や腱のストレッチ効果、高周波数 (20~30Hz) では筋力増強効果があると報告されている⁴⁷⁾。

WBVT の有効性については、様々な報告がある。健常高齢者では吉田らが下肢筋力増強を報告し⁴⁸⁾、Iwamoto らはバランス機能改善効果を報告している⁴⁹⁾。また、Bosco らは、垂直跳びの能力と筋パワーについて、振動刺激を取り入れた群と対照群とで比較を行い、振動刺激を取り入れた群において、筋力および最大跳躍高、連続跳躍の記録が有意に向上したと報告している⁵⁰⁾。さらに、Cardinale らは女性プロバレーボール選手で全身振動刺激の周波数を変化させた際の大腿四頭筋活動について検討し、振動板上でスクワットの姿勢を保持したほうが、従来型のスクワット姿勢よりも筋電図の波形が増大し、全身振動刺激は瞬発力を向上させるプライオメトリックトレーニングに似た刺激を与えることが可能であると報告し⁵¹⁾、Ruiter らは健常の大学生に 2 週間の WBVT を行い、膝伸展筋力の増加を報告している⁵²⁾。さらに、Bosco らは、振動刺激を用いた下肢筋訓練は、神経筋系のパフォーマンスや筋パワーの向上、筋力強化の点で、スポーツ選手では、従来のトレーニングよりも効率的で、より短時間で筋パワーの向上が可能であると報告している⁵³⁾。その他の WBVT の効果としては、

高齢者の下肢筋力増強⁵⁴⁾、筋の血行促進⁵⁵⁾、慢性脳卒中片麻痺患者のバランス能力の改善などが報告されている⁵⁶⁾。しかし、WBVTの呼吸器疾患患者の呼吸機能を含めた検討は極めて少ない。

本研究で使用した振動刺激訓練装置のメーカーマニュアルに記載されている禁忌事項を表4に示す。また、マニュアルにはWBVTにより、皮膚の損傷や水泡、トレーニング部位のかゆみ、吐き気やめまい、一時的な低血圧などがみられる場合があると記載されている。

Ⅲ-3 呼吸器疾患における全身振動訓練の意義

変形性膝関節症患者やパーキンソン病患者などでのWBVTの報告はごく一部みられるが、呼吸器疾患患者に対する全身振動訓練の報告は少ない。Rietschelらは10例の成人嚢胞性線維症(cystic fibrosis; CF)患者を対象に、20~25Hzで1回3分3セットを1日2回、週5日間で3カ月間実施し、5回立ち座り時間、ジャンプ力の改善を報告している⁵⁷⁾。Rothらは11例の同じく成人CF患者で自宅での訓練を6カ月間実施し、筋収縮速度、片脚と二脚ジャンプ高の増加を報告している⁵⁸⁾。また、小林らは5例の慢性呼吸器疾患患者にPower Plate®というWBVTの機器で使用経験を報告している⁵⁹⁾。呼吸器疾患におけるWBVTは従来の自重による下肢筋訓練よりも受動的要素が含まれるため、ドロップアウトせずに継続可能な訓練方法と推定される。しかし、COPD患者のWBVTの応用的研究は極めて少ない。

さらに、最近、Web上のデータであるが、ドイツでCOPD患者を対象に本研究と類似したRainerらの臨床研究が報告されている⁶⁰⁾。その研究は、本研究で用いた振動刺激装置と同様の作用をもつ機器を使用しており、主要評価項目として6MWDを用いている。大きく異なるのは、本研究の介入期間が週2日の12週間であるのに対して、Rainerらの研究は週5日の3週間でより短期集中でWBVTを行ったという点である。

第IV章 慢性閉塞性肺疾患に対する whole body vibration training(WBVT)の臨床的研究

IV-1 研究目的

慢性閉塞性肺疾患 (chronic obstructive pulmonary disease ; COPD) とは、長年の喫煙習慣や大気汚染などによる毒性物質の吸入により、気道の炎症性の狭窄や肺胞の破壊が生じ、換気機能やガス交換障害など、さまざまな障害を呈する疾患である。代表的な症状は、慢性的な咳や痰、労作時の息切れである。病初期においては安静時には症状の自覚がなく、階段昇降や少し走った時に軽い息切れを感じる程度であるが、進行すると歩行時や会話中にも息切れを感じるようになる。さらに進行すると、息苦しさのために日常生活の行動の自由が制限される。そのため、大変な身体的・精神的苦痛を伴う疾患である。

さらに、COPD 患者の多くは労作時呼吸困難が原因で、日常生活動作や運動が制限され、日常的な活動性が低下する。長期間の身体活動性の低下は deconditioning 状態を招き、以前より少ない労作で呼吸困難が生じるため、図 8 に示すような呼吸困難の悪循環を形成する。加えて、COPD 患者は労作時呼吸困難のため、家に引きこもりがちになり、社会的孤立感や疎外感などを感じやすく、抑うつ症状を合併しやすく、こうした精神的な要素も QOL 低下の原因となる。

本邦の疫学調査¹⁾による COPD 有病率は、40 歳代 3%、50 歳代 5%であるに対して、60 歳代 12%、70 歳以上 17%と年齢とともに増加しており、今後、高齢者人口の増加とともに患者数はますます増えるものと予想される。そのため、今後、本症に対するより有効な治療・予防法の確立と QOL (quality of life) 向上のための新たな治療法の開発は急務の課題になっている。

呼吸リハビリテーションは COPD 患者の労作時呼吸困難を軽減させ、運動耐容能を向上させる効果が明らかにされている⁶¹⁾。一方、全身持久力訓練や筋力増強訓練である運動療法施行中の COPD 患者は、dynamic hyperinflation や内因性 PEEP のため、運動負荷が増加するほど呼吸困難が増大しやすい。そのため、呼吸リハビリテーションの現場では、運動療法の一つである自重を利用した下肢筋訓練中に呼吸困難を強く訴えることがあり、運動療法の継続を困難にすることが少なくない。

全身振動訓練 (whole body vibration training; WBVT) は 1960 年代に Vladimir Nazarov らによって考案された高頻度振動刺激を加える新しい筋力訓練方法である⁶²⁾。これまでの WBVT に関する研究報告は決して多いものではないが、スポーツ選手を対象とした研究では、バスケットボール選手で膝伸展筋力とスクワットジャンプ高の増加⁶³⁾、女性プロバレーボール選手で筋電図の波形の増大による瞬発力の向上などが報告されている⁵¹⁾。患者を対象とした研究では、慢性

脳卒中片麻痺患者、およびパーキンソン病患者で歩行能力とバランス機能の改善などが報告されている^{56, 64)}。呼吸器疾患患者を対象とした研究では、呼吸困難を伴う成人嚢胞性線維症患者で、ジャンプ力、筋収縮速度の改善などが報告されている^{57, 58)}。しかし、COPD 患者のWBVT の応用的研究は極めて少ない。WBVT は、労作時呼吸困難を訴えることが多い COPD 患者には、従来の筋力訓練法よりも呼吸リハビリテーションの訓練方法として効率的でより負担の少ない訓練方法になりうるのではないかと考え、本研究を行った。

IV-2 研究方法

1) 対象

対象は2011年1月から10月までに茨城東病院呼吸器内科で外来治療中の男性COPD患者である。COPDの診断は日本呼吸器学会の診断基準³⁹⁾(表1)に従って、気管支拡張薬吸入後の1秒率(FEV₁%)が70%未満で、他の気流閉塞をきたし得る疾患を除外した。表4のWBVTの除外基準に当てはまらず、24回(週2回×12週)の呼吸リハビリテーションプログラムに参加可能な30例を選び、介入前に封筒法により、WBVT群とcontrol群の2群にわけて本研究に用いた。

30例中26例からインフォームドコンセントが得られ、そのうち4例が同意撤回、中断が2例(心疾患1例、脳疾患1例)で、最終的に24回の呼吸リハビリテーションプログラムを最後まで完遂したのは、WBVT群は14例中9例(64.3%)、Control群は12例中11例(91.7%)の合計20例であった。

2) 倫理

本研究は、国立大学法人筑波技術大学研究倫理委員会(平成22年12月14日承認)と、国立病院機構茨城東病院倫理委員会(平成22年10月14日承認)の承認を得て実施した。任意性と同意撤回の自由、利益・不利益、研究結果の公表、個人情報保護について、説明文書と口頭による説明を行い、以下の事項について同意を得た。

- ①文章による同意を行い、途中で同意を撤回しても不利益は生じない。参加された方の秘密は守られ、名前や個人を識別する情報は一切公表しない。
- ②この臨床研究で得られた情報は茨城東病院および筑波技術大学大学院を通じて、関連学会や医学雑誌などへの投稿を予定している。個人を識別する情報は一切公表しない。
- ③この臨床研究に係わる関係者、この臨床研究を審査する当院の委員会担当者が対象患者のカルテ等を閲覧する可能性があるが、この場合であってもプライバシーは保護される。

3) COPD 患者の呼吸リハビリテーションプログラム

茨城東病院機能訓練室で約 40 分間、以下に示す①～⑤の順で呼吸リハビリテーションプログラムを行った。訓練スケジュールを図 9 に示した。

- ①呼吸筋ストレッチ体操
- ②呼吸補助筋のストレッチ・リラクゼーション
- ③上・下肢の訓練
- ④自転車エルゴメータ
- ⑤自重を利用した下肢筋訓練 (WBVT の応用または従来の方法)

最初に椅子座位で呼吸筋ストレッチ体操を行った。以下の 6 種類の体操をいずれも 4 回ずつ行った。その間、吸気は鼻呼吸で、呼気は口すぼめ呼吸を用いた。まず、両上肢を開いて胸の筋肉を伸ばしながら深呼吸を行い、次に吸気時に肩を上げ、呼気時に肩を下げる体操、息を吸う胸の呼吸筋のストレッチ、息を吐く呼吸筋のストレッチ、息を吸う背中と胸の呼吸筋のストレッチ、息を吐く腹部・体側の呼吸筋のストレッチを行い、最後に深呼吸を行った。

その後、同じく椅子座位で胸部と背部、頸部の呼吸筋のストレッチを他動的に行った後、僧帽筋を中心に頸・肩の呼吸補助筋のマッサージを実施した。

続いて上肢筋の訓練を立位姿勢でやや強めの弾性ゴムバンドを使用し、両上肢約 90 度屈曲位から水平外転させる運動と片端を足底で踏み、肘関節伸展位で肩関節最大屈曲位までの運動を左右 10 回ずつ行った (図 10)。次に下肢筋の訓練を椅子座位で 2kg の重錘バンドを足関節付近に装着し、膝関節約 90 度屈曲位で股関節の屈曲運動と膝関節伸展運動を左右 10 回ずつ行った (図 11)。

引き続き自転車エルゴメータは、修正 Borg scale (表 7) 3~5 で、最大心拍数 130 未満、SpO₂ は 90% 以上になるように最大負荷強度を設定し、15 分間実施した。

最後に自重を利用した下肢筋訓練は、WBVT 群は振動板上で Control 群は非振動の床上で行った。初日の訓練を 1 回として 23 回自重による下肢筋訓練を行った。訓練は、図 12 に示すように、基本姿勢 (膝関節軽度屈曲位で足幅は肩幅より狭く、つま先は約 7 度外向きにし、上肢は下垂させ、視線は前方) を 1 分間保持→軽度股・膝関節屈伸を 1 分間→2 分間パイプ椅子に座り休憩→1 分間基本姿勢保持→1 分間カーフレイズの順に行った。足幅は 11cm で行い、膝関節軽度屈伸とカーフレイズを繰り返す動作速度は、SEIKO デジタルメトロノーム (DM-70) を使用し、2 秒間に 1 回のペースとした。足幅は両群とも同じにするため、床にマーカーをした (図 13)。6 回目以降は、軽度股・膝関節屈伸とカーフレイズを行う時間を両群とも 1 分増やして 2 分間行い、足幅は両群とも 22cm で、動作速度は両群とも 5 回目までと同様のペースで行った。

振動刺激装置は、Novotec Medical 社製（Pforzheim 市）のガリレオ G-900 を用いた。WBVT 群は、表 8 に示すように、順次周波数を上げていき、5 回目までは最大周波数を 20Hz までとした。6 回目以降、最大周波数を 24Hz として行ったが、3 名の患者が 20Hz を超えて周波数を上げると負荷が強いと訴えたため、その 3 名はその後の訓練を 20Hz で行った。その他の患者は 22Hz または 24Hz で行った。

4) 評価方法

平成 23 年 1 月 5 日から平成 23 年 10 月 11 日までの期間に評価及び介入を行った。

実験の評価は初日の訓練開始前に行い、週 2 回で 12 週の最終日である 24 回目の終了後に再度行った。WBVT の効果は以下の 6 項目で評価した。

① 6 分間歩行試験の歩行距離 (six-minute walk distance ; 6MWD)

運動耐容能を評価するのに 6MWD を用いた。片道 50m の直線コースを使用し、呼吸リハビリテーションマニュアルの 6 分間歩行試験の方法に基づいて実施した⁶⁵⁾。

② 6MWT 終了後の修正 Borg Scale

表 7 に示す修正 Borg Scale⁶⁶⁾は、0 の「何も感じない」から 10 の「非常にきつい」の 12 段階で表現されており、被験者に 6MWT 終了直後に自身の呼吸困難について数字で表現してもらい、最大努力歩行直後の息切れの強さについて主観を聴き取り、定量化し評価した。

③ 30 秒椅子立ち上がりテスト (The 30-second chair-stand test ; CS-30 テスト)

下肢筋力の評価は、Jones らによって考案された CS-30 テストを用いた⁶⁷⁾。テスト法は、高さ 40cm のパイプ椅子を使用し、椅子からの立ち座りを 30 秒間全力で反復させた。開始肢位は椅子座位とし、両足の間隔は肩幅程度で膝と膝の間は握りこぶしひとつ分とした。測定中は、上肢の影響を避けるために腕を胸の前で組ませた。開始の合図で立ち上がり、膝・股関節は完全伸展するように指示した。その後、再び椅子に殿部が接するまでを 1 回とし、この動作の 30 秒間での反復回数を測定した。立ち上がり動作の途中で 30 秒に達した場合には測定値として算入しなかった。

④ MRC (British Medical Research Council) 質問票

表 9 に示す MRC 質問票⁶⁸⁾は、0~4 の 5 段階で日常生活上の呼吸困難の程度を評価した。日常生活の活動において経験する息切れ、あるいは遂行できない活動を 0~4 のうち 1 つ選択してもらい評価した。

⑤ SGRQ (St. George' s Respiratory Questionnaire)

SGRQ は、COPD に特異的な健康関連 QOL を測定する自己記入式の質問票⁶⁹⁾で、症状 (Symptoms) に関する質問が 8 問、活動 (Activity) に関する質問が 16 問、衝撃 (Impacts) に関する質問が 26 問の 3 領域合計 50 問と総スコアからなる。0~100 に点数化され、点数が高いほど健康関連 QOL が低いことを示す。Symptoms、Activity、Impacts、Total のそれぞれ 4 項目の点数を用いた。

⑥肺機能検査（肺活量、予測肺活量、1秒量、1秒率、対標準1秒量）

チェスト社製の電子スパイロメータ（CHESTGRAPH ジュニア HI-101）を用いて、肺活量（slow vital capacity ; SVC）、予測肺活量、1秒量、1秒率、対標準1秒量を測定した。

5) 統計解析

被験者毎に介入前後の差を求め、各群の平均値±標準偏差及び、群間比較を行った。介入前後の両群間の差の比較は、コンピュータソフトウェア IBM SPSS Statistics 20 の t-検定（独立サンプルの検定）を用いて行った。危険率 5%未満を統計的有意とした。

IV-3 結果 (表 5、表 6、表 10)

1) 実験開始前の検査値の群間比較

検査値に影響を与える基本的な項目である年齢、身長、体重、BMI を WBVT 群と Control 群で群間比較した。表 5 に示すようにいずれの項目も両群間内に有意な差は認められなかった。また、評価項目についても表 6 に示すように実験開始前の両群間の値を比較したが、いずれの項目も両群間に有意差は認められなかった。

2) 全身振動訓練の効果の群間比較

実験終了後の全 13 項目の評価結果を表 10 にまとめて示した。

6 MWD の介入前後の値の差 (介入後-介入前) は、WBVT 群で 64 ± 26 m、Control 群の差は 31 ± 27 m で、WBVT 群では Control 群に比べて歩行距離の有意な増加を認めた ($p=0.014$)。

修正 Borg Scale の介入前後の差は、WBVT 群で -0.06 ± 1.01 、Control 群の差は -0.41 ± 1.02 で、両群間に有意差は認められなかった ($p=0.440$)。

CS-30 テストによる立ち上がり回数の介入前後の差は、WBVT 群で 5.2 ± 3.3 回、Control 群の差は 1.2 ± 1.7 回で、WBVT 群では Control 群に比べて立ち上がり回数の有意な増加を認めた ($p=0.007$)。

MRC 質問票による呼吸困難の 5 段階評価値の介入前後の差は、WBVT 群で -0.8 ± 0.7 、Control 群の差は -0.1 ± 0.5 で、WBVT 群では Control 群に比べて日常生活上の呼吸困難の程度の有意な減少を認めた ($p=0.024$)。

SGRQ の Symptoms の介入前後のスコアの差は、WBVT 群で -16.9 ± 27.6 、Control 群の差は -9.4 ± 14.2 で、両群間に有意差は認められなかった ($p=0.474$)。

SGRQ の Activity の介入前後のスコアの差は、WBVT 群で -19.7 ± 16.0 、Control 群の差は -1.3 ± 13.2 で、WBVT 群では Control 群に比べて Activity に関する健康関連 QOL の有意な改善が認められた ($p=0.014$)。

SGRQ の Impacts の介入前後のスコアの差は、WBVT 群で -8.3 ± 9.5 、Control 群の差は -1.8 ± 8.9 で、両群間に有意差は認められなかった ($p=0.139$)。

SGRQ の Total の介入前後のスコアの差は、WBVT 群で -13.1 ± 11.4 、Control 群の差は -2.9 ± 7.4 で、WBVT 群では Control 群に比べて総合的な健康関連 QOL の改善が認められた ($p=0.036$)。

肺活量の差は、WBVT 群で 0.23 ± 0.42 L、Control 群の差は -0.02 ± 0.24 L で、両群間に有意差は認められなかった ($p=0.140$)。

予測肺活量の介入前後の差は、WBVT 群で $7.13 \pm 13.21\%$ 、Control 群の差は $-0.75 \pm 8.34\%$ で、両群間に有意差は認められなかった ($p=0.144$)。

1 秒量の介入前後の差は、WBVT 群で 0.12 ± 0.11 L、Control 群の差は $0.05 \pm$

0.13L で、両群間に有意差は認められなかった ($p=0.194$)。

1 秒率の介入前後の差は、WBVT 群で $0.75 \pm 2.21\%$ 、Control 群の差は $0.96 \pm 4.95\%$ で、両群間に有意差は認められなかった ($p=0.897$)。

対標準 1 秒量の介入前後の差は、WBVT 群で $4.4 \pm 3.9\%$ 、Control 群の差は $2.3 \pm 7.4\%$ で、両群間に有意差は認められなかった ($p=0.424$)。

全 13 の評価項目中、Control 群の肺活量と予測肺活量でわずかな低下がみられたが、他の評価では悪化した項目はなかった。

IV-4 考察

本研究では、外来通院中の COPD 患者の呼吸リハビリテーションプログラムにおいて、自重を利用した下肢筋訓練に振動板上で行う WBVT 訓練を応用し、その効果を対照群と比較検討した。運動耐容能を 6MWD、下肢筋力を CS-30、呼吸困難を修正 Borg Scale と MRC 質問票、健康関連 QOL を SGRQ、呼吸機能は肺活量、予測肺活量、1 秒量、1 秒率、対標準 1 秒量で評価した。Control 群に比べて WBVT 群で有意な改善を認めた項目は、6MWD、CS-30、MRC 質問票、SGRQ の Activity と Total であり、有意差を認めなかった項目は、修正 Borg Scale、SGRQ の Symptoms と Impacts、呼吸機能の全項目であった。

本研究では、運動耐容能の評価方法として 6MWD が用いられた。6MWD は、6 間にできるだけ長い距離を歩かせて、そのときの歩行距離を測定する検査法である。本来、運動耐容能の検査としてはトレッドミルやシャトル歩行テストが用いられるが、COPD 患者は労作時呼吸困難を伴いやすいので 6MWD はそうした患者にも安心して応用できる検査であると考えられた。一方、6MWD の歩行スピードは患者自身の努力に影響されるため、最大努力を引き出し、それを維持するため試験中の声かけの重要性が指摘されている⁷⁰⁾。本研究においては、マニュアルに沿って声かけを行った。

本研究では、6MWD は、WBVT 群では Control 群に比べて 33m の有意な歩行距離の改善が認められた ($p=0.014$)。これまでに COPD 患者の WBVT の効果に関する研究は著者が調べる限り報告されていなかったが、最近、Web 上で Ralner らは COPD 患者を WBVT 群 36 例、Control 群 36 例に分け、WBVT の効果を 2 群で比較検討した最新の結果を報告している (WBVT 群: 64 ± 59 m、Control 群: 37 ± 52 m、27m の差で $p=0.046$)⁶⁰⁾。本研究の結果をそれと支持するものであった。

下肢筋力の評価は、Jones らによって考案された CS-30 テストを用いた。CS-30 テストは、起立機能を中心とした検査であり、高齢者にも容易に使用できると報告されている⁶⁷⁾。本研究では Control 群に比べて WBVT 群に有意な立ち上がり回数が増加が認められた ($p=0.007$)。6MWD とともに CS-30 テストが WBVT 群で有意な改善を示したことは、振動刺激は下肢中心のものであったことを反映していると考えられる。Cardinale らは女性バレーボール選手でハーフスクワット肢位での外側広筋の筋電図による筋活動は WBVT 群に有意に高かったと報告している⁵¹⁾。また、小山内らは整形外科疾患を伴わない健常成人男性で、静止立位とスクワットで WBVT なしに比べて WBVT ありの方が有意に大きな筋活動を報告している⁷¹⁾。これらが報告された生理学的機序としては、微細振動刺激 (本研究では最大振幅 5.5mm) により下肢骨格筋が急速に引き伸ばされると筋紡錘が興奮し、筋紡錘からの求心性 impulse は、Ia 群求心性線維により、単シナプス性に脊髄前角にある α 運動ニューロンを興奮・活動させ、 α 運動ニューロンの活動は遠心性に軸索を通過して同名筋の錘外筋線維に伝えられ、筋を収縮させる。WBVT に

よる振動刺激は筋紡錘を刺激し、伸張反射を促通することにより、筋活動が増加したため、WBVT 群に下肢筋力の有意な増加が認められたと考える。

本研究では、下肢骨格筋の筋収縮回数は平均周波数約 20Hz、振動刺激時間の平均時間は 5.6 分 (336 秒) であったため、WBVT 群は 1 回の訓練で約 6,700 回、WBVT を 23 回実施したため、合計で約 154,000 回の下肢骨格筋の緊張性振動反射による不随意的な筋収縮を起こした計算になる。これにより、6MWT 時に活性化された運動単位が増加し、筋が力を発揮するのに必要な力が小さな筋力で可能になり、神経と筋の協調が改善し、効率が良くなった可能性も考えられた。

また、この反射的な筋収縮は循環系にも影響を与えると考えられる。歩行や走行などの下肢の運動時には、静脈弁と骨格筋収縮の協調による筋ポンプ作用によって静脈環流量が増加⁷²⁾し、心臓拡張期容積を増大させ Frank-Starling の法則によって 1 回拍出量が増加する。そのため WBVT 群では心血管系と活動筋間の血液循環効率がよくなり、運動耐容能の改善に貢献した可能性も考えられる。

本研究の結果では、修正 Borg Scale のスコアは両群間に有意差は認められなかったが、MRC 質問票のスコアで WBVT 群に有意な改善が認められた。修正 Borg Scale は運動負荷による直接的な呼吸困難の程度を反映しており、MRC 質問票のスコアは日常生活上の息切れの程度を反映する評価方法である。さらに SGRQ は国際的に広く用いられている健康関連 QOL を反映する評価法である。本研究では、SGRQ 中の Activity と Total で WBVT 群に有意な改善が認められた。WBVT 群の健康関連 QOL の改善は、運動耐容能が改善したことにより身体活動量が増し、日常生活上の呼吸困難を軽減できたためと考えられる。さらに、呼吸困難の改善には心理学的な要素も関係しており、運動機能の改善は COPD 患者の呼吸困難の日常的ストレスを軽減できたのではないかと考える。加えて、呼吸困難のために不活動となり、deconditioning を形成する悪循環 (図 8) が断ち切られたことも改善を示した理由ではないかと考える。一方、修正 Borg Scale が WBVT 群で改善しなかった理由は、呼吸筋に対する訓練が少なかったことが推察される。本研究では、下肢筋の機能改善を目的とした訓練を中心に行ったため、呼吸筋に関しては呼吸筋ストレッチ体操を行ったのみである。泉崎らは、COPD 患者で呼吸筋シクソトロピーという呼吸筋訓練を行い、呼吸困難の軽減を報告している⁷³⁾。

呼吸機能に関しては、肺活量、予測肺活量、1 秒量、1 秒率、対標準 1 秒量のすべての項目において両群間に有意差は認められなかった。多くの呼吸リハビリテーション実施例でも呼吸機能が改善することは困難であるといわれている。本研究においても呼吸機能の有意な改善はみられなかった。呼吸リハビリテーションのガイドラインでは、呼吸機能についてのエビデンスはないが、今後の研究で、上肢や体幹への振動訓練や呼吸筋訓練、胸郭可動域訓練などの呼吸リハビリテーションにより、呼吸機能が変化するという生理的データが集められ、エビデンスになっていくことが望まれる。また、6MWD 測定時に記録した心拍数、

経皮的酸素飽和度、下肢疲労（修正 Borg Scale）の安静時と最大負荷時の各項目のデータ解析の結果、両群間で有意差は認められなかった。

本研究では、呼気ガス分析を用いた心肺運動負荷試験を行える条件が整っていなかったため、介入前後の運動耐容能を最大酸素摂取量で群間比較することができなかった。今後の課題として最大酸素摂取量に加えて、最大換気量や O_2 -pulse、無酸素性作業閾値等の心肺機能の詳細の評価も取り入れ、上肢や体幹への振動刺激を加えることにより、呼吸機能を改善させる応用的研究が望まれる。

まとめ

1. 6MWD は WBVT 群では Control 群に比べて歩行距離の有意な増加を認めた ($p=0.014$)。
2. 修正 Borg Scale は、両群間に有意差は認められなかった ($p=0.440$)。
3. CS-30 テストは、WBVT 群では Control 群に比べて立ち上がり回数の有意な増加を認めた ($p=0.007$)。
4. MRC 質問票は、WBVT 群では Control 群に比べて日常生活上の呼吸困難の程度の減少を認めた ($p=0.024$)。
5. SGRQ の Symptoms は、両群間に有意差は認められなかった ($p=0.474$)。
6. SGRQ の Activity は、WBVT 群では Control 群に比べて活動性に関する健康関連 QOL の改善が認められた ($p=0.014$)。
7. SGRQ の Impacts は、両群間に有意差は認められなかった ($p=0.139$)。
8. SGRQ の Total は、WBVT 群では Control 群に比べて総合的な健康関連 QOL の改善が認められた ($p=0.036$)。
9. 呼吸機能検査はすべての項目において両群間に有意差は認められなかった。肺活量 ($p=0.140$)、予測肺活量 ($p=0.144$)、1 秒量 ($p=0.194$)、1 秒率 ($p=0.897$)、対標準 1 秒量 ($p=0.424$)

第 V 章 結論

本研究では、COPD 患者の呼吸リハビリテーションプログラムの自重を利用した下肢筋訓練に、振動板上で行う WBVT を応用し、その効果を対照群と比較検討した。その結果、WBVT 群で運動耐容能の改善、日常生活上の呼吸困難の軽減、健康関連 QOL の改善が認められ、COPD 患者の新たな治療法として WBVT の有用性が示唆された。しかし、WBVT の呼吸機能の改善効果に関しては課題が残された。

謝辞

本研究を行うにあたり、多くの方々のご支援を頂きました。まず本研究施行に際し、ご協力頂きました国立病院機構茨城東病院 副院長 齋藤 武文 先生に心より感謝申し上げます。

研究指導を頂きました筑波技術大学技術科学研究科 柴崎 正修 教授、薄葉 眞理子 教授には、謹んで感謝の意を表したいと思います。

筑波技術大学大学院技術科学研究科 主査 高橋 憲一 教授、副査 大沢 秀雄 准教授にはご指導ならびにご鞭撻をいただき心より厚くお礼申し上げます。

患者様の予約の管理などで大変お世話になりました治験コーディネーターの加藤 こずえさん、小野瀬 八千代さん、佐藤 和佳子さん、現場で協力して頂いた伊東 光修 運動療法主任、山田 将夫 理学療法士、古川 雅徳 理学療法士に心よりお礼申し上げます。

また、エルクコーポレーションの進藤 薫さんには機器貸与の他に WBVT に関しても助言を頂き、心より感謝申し上げます。

最後に、休職し大学院へ通うことを理解し、支えてくれた両親と妻子に深く感謝します。

参考文献

- 1) Fukuchi Y, Nishimura M, Ichinose M, et al. COPD in Japan: the Nippon COPD Epidemiology Study. *Respirology*. 2004;9:458-65
- 2) Rennard,S et al : Management of chronic obstructive pulmonary disease: are we going anywhere? *Eur Respir J* 16 :2006,p.1035-1036
- 3) Nocturnal Oxygen Therapy group : Continuous or nocturnal oxygen therapy in hypoxemic chronic obstructive pulmonary disease. *Ann Intern Med* 93:1980, p.391-398
- 4) Medical Research Council Working Party : Report of long term domiciliary oxygen therapy in chronic hypoxic cor pulmonale complicating chronic bronchitis and emphysema. *Lancet* 1 : 1981,p.681-685
- 5) Sin,DD et al : Inhaled corticosteroids and mortality in chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax* 60 : 2005,p.992-997
- 6) National Emphysema Treatment Trial Research Group : A randomized trial comparing lung-volume-reduction surgery with medical therapy for severe emphysema. *N Engl J Med* 348 : 2003,p.2059-2073
- 7) Global Initiative for Chronic Obstructive Lung disease(GOLD)-2006:National Heart, Lung and Blood Institute of Health,2006
- 8) Global Initiative for Chronic Obstructive Pulmonary Disease.Global strategy for the diagnosis, management and prevention of chronic obstructive pulmonary disease.2006 Available at www.goldcopd.com
- 9) 日本呼吸器学会 COPD ガイドライン第 2 版作成委員会編 : COPD (慢性閉塞性肺疾患) 診断と治療のためのガイドライン、第 2 版、メディカルレビュー社、東京、2004
- 10) 日本呼吸器学会 COPD ガイドライン第 3 版作成委員会編 : COPD (慢性閉塞性肺疾患) 診断と治療のためのガイドライン、第 3 版、メディカルレビュー社、東京、2009
- 11) Kilian KJ. Limitation to muscular activity in chronic obstructive pulmonary disease. *European Respiratory Journal*,24,2004,p.6-7
- 12) Ciba Guest Symposium Report. Terminology, definition, and classification of chronic pulmonary emphysema and related conditions. *Thorax* 1964; 14:286-99
- 13) Burrows B , Niden AH, Fletcher CM, et al :Clinical types of chronic obstructive lung disease in London and in Chicago. A study of one hundred patients. *Am Rev Respir Dis* 1964;90:14-27

- 14) Canadian Thoracic Society Workshop Group : Guidelines for the assessment and management of chronic obstructive pulmonary disease. CMAJ 147:420-428,1992
- 15) Pauwels RA, Buist AS, Calverley PM, Jenkines CR, Hurd SS; GOLD Scintific Committee. Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease. NHLBI/WHO Global Initiative for Chronic Obstructive Pulmonary Disease(GOLD)Workshop summary. American Journal of Critical Care and Respiratory Medicine, 163,2001,p.1256-1276
- 16) Murray, CJ et al : Alternative profections of mortality and disability by cause 1990-2020 : Global Burden of Disease Study.Lancet 349 : 1498-1504, 1997
- 17) <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs315/en/index.html>
- 18) Menezes AM, Perez - Padilla R, Jardim JR, et al : PLATINO Team. Chronic obstructive pulmonary disease in five Latin American cities(the PLANTINO study):a prevalence study. Lancet 2005;366:1875-81
- 19) Buist AS, McBurnie MA, Vollmer WM, et al :BOLD Collaborative Research Group.International variation in the prevalence of COPD(the BOLD study):a populationvased prevalence study. Lancet2007;370:741-750
- 20) 厚生労働省大臣官房統計情報部、編 : 患者調査(平成 8、11、14、17 年).財団法人厚生統計協会
- 21) 青柴和徹 : 喫煙と COPD.呼吸器科 6 : 2004、562-556
- 22) Buist AS, Vollmer WM :Smoking and other risk factors. In : Murray JF, Nadel JA (eds). Textbook of respiratory medicine. WB Saunders, Philadelphia, 1994; pp. 1259-1287
- 23) Balmes, J et al : American Thoracic Society Statement : Occupational contribution to the burden of airway disease. Am J Respir Crit Care Med 167(5):2003,787-797
- 24) Nagai, K et al : Long term somoking wit age builds up excessive oxidative stress in bronchoalveolar lavage fluid. Thorax 61 : 2006,496-502
- 25) McCloskey, SC et al : Siblings of patients with severe chronic obstructive pulmonary disease have a significant risk of airflow obstruction. Am J Respir Crit Care Med 164 : 2001,1419-1424
- 26) Silverman, EK et al : Genetic epidemiology of severe, early-onset chronic obstructive pulmonary disease. Risk to relatives for airflow obstructon and chronic bronchitis. Am J Respir Crit Care Med 157:1998,1770-1778

- 27) Sandford, AJ et al : Susceptibility genes for rapid decline of lung function in the lung health study. *Am J Respir Crit Care Med* 163:2001,469-473
- 28) Orié NGM, Sluiter HJ, De Vreis K, et al : The host factor in bronchitis. In : Orié NGM, Sluiter HJ(eds). *Bronchitis, an international symposium*. Royal Vangorcum, Assen, Netherlands, 1961,43-59
- 29) Tsuji T, Aoshiba K, Nagai A : Alveolar cell senescence in patients with pulmonary emphysema. *Am J Respir Crit Care Med* 2006;174:886-893
- 30) Karrasch S, Holz O, Jorres RA : Aging and induced senescence as factors in the pathogenesis of lung emphysema. *Respir Med* 2008;102:1215-1230
- 31) Barnes PJ. Small airways in COPD. *N Engl J Med*. 2004;350:2635-2637
- 32) 赤柴恒人. 呼吸の仕組みとその管理. 東京 : 照林社 ; 1999. P.112
- 33) John B. West. ウェスト 呼吸生理学入門 疾患肺編. 東京 : メディカル・サイエンス・インターナショナル ; 2009. p.13
- 34) John B. West. ウェスト 呼吸生理学入門 正常肺編. 東京 : メディカル・サイエンス・インターナショナル ; 2009. p.75
- 35) 桑平一郎、編. COPD ハンドブック. 東京 : 中外医学社 ; 2008. p.121
- 36) Macklem PT. Airway obstruction and collateral ventilation. *Physiol Rev* 1971;51:368-436
- 37) European Respiratory Society: Optimal assessment and management of chronic obstructive pulmonary disease(COPD). *Eur Respir J* 8 1995;1398-1420
- 38) Fujimoto K, Kitaguchi Y, Kubo K, et al. Clinical analysis of chronic obstructive pulmonary disease phenotypes classified using high-resolution computed tomography. *Respirology*. 2006;11:731-740
- 39) 日本呼吸器学会 COPD ガイドライン第3版作成委員会編 : COPD (慢性閉塞性肺疾患) 診断と治療のためのガイドライン第3版、メディカルレビュー社、東京、2009、p.32
- 40) Global Initiative for Chronic Obstructive Pulmonary Disease. Global strategy for the diagnosis, management and prevention of chronic obstructive pulmonary disease. 2006 Available at www.goldcopd.com
- 41) Sin, DD et al : Contemporary management of chronic obstructive pulmonary disease. *JAMA* 290:2003,2301-2312
- 42) 桑平一郎、編. COPD ハンドブック. 東京 : 中外医学社 ; 2008. p.97
- 43) 日本呼吸器学会 COPD ガイドライン作成委員会編 : COPD (慢性閉塞性肺疾患) 診断と治療のためのガイドライン第3版、メディカルレビュー社、東京、2009 ; p.87
- 44) 日本呼吸管理学会、日本呼吸器学会、日本理学療法士協会、編. 呼吸リハビリテーションマニュアル - 運動療法 -. 東京 : 照林社 ; 2003p.7-8

- 45) Wikipedia, the free encyclopedia whole body vibration
- 46) Issurin, V.B., and G. Tenenbaum: Acute and residual effects of vibratory stimulation on explosive strength in elite and amateur athletes. *Journal of Sports Sciences*. 1999;17:177-182
- 47) Hans H.C.M. Savelberg; Hans A Keizer; Kenneth Meijer: Whole-body vibration induced adaptation in knee extensors; consequences of initial strength, vibration frequency, and joint angle. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2007, 21(2), 589-593
- 48) 吉田英世 他、; 振動刺激トレーニング装置を用いた転倒予防トレーニングの有効性の検討 ; 第2回転倒予防医学研究会; 2005、京都
- 49) J. Iwamoto et al. ; Effect of whole-body vibration exercise and muscle strengthening, balance and walking exercise on walking ability of the elderly. ; *Keio J Med* 2007; 56 (1): 28-33
- 50) Bosco C, Cardinale M, Colli R, Tihanyi J, von Duvilars SP, Viru A. The influence of whole body vibration on jumping performance. *Biol Sport*; 1998; 15:157-164
- 51) Cardinale, M., and J. Lim: Electromyography activity of vastus lateralis muscle during whole-body-vibrations of different frequencies. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 17(3); 2003:621-624
- 52) C.J de Ruiter et al. Short-term effects of whole-body-vibration on maximal voluntary isometric knee extensor force and rate of force rise *Eur J Appl Physiol*, 2003; 88:472-475
- 53) Bosco, C., M. Cardinale, O. Tsarpela, and E. Locateli: New trends in training science: the use of vibrations for enhancing performance. 1999 *New Studies in Athletics*. 4.99
- 54) Verschueren et al. Effect of 6-month Whole Body Vibration Training on Hip Density, Muscle Strength, and Postural Control in Postmenopausal Women: A Randomized Controlled Pilot Study ; Published online on December 22, 2003: 352-359
- 55) K. Kwrschan-Schindl, et al Whole-body-vibration exercise leads to alterations in muscle blood volume. *Clin Physiol*, 21(3), 2001:377-382
- 56) 榑野浩司ほか、慢性脳卒中片麻痺患者に対する全身振動 (Whole Body Vibration) トレーニングの効果 ; *理学療法学*, Vol.34 No. Supplement 2, 2007: Page.6
- 57) Rietschel, Ernst; van Koningsbruggen et al Whole body vibration: a new therapeutic approach to improve muscle function in cystic fibrosis? *Int J Rehabil Res* 2008 Vol.31 No.3 253-256

- 58) Roth J et al Whole body vibration in cystic fibrosis—a pilot study J Musculoskelet Neuronal Interact 2008 Apr-Jun;8(2):179-187
- 59) 小林美穂ほか、慢性呼吸器疾患患者に対する Power Plate の使用経験、日本呼吸ケア・リハビリテーション学会誌、2009、Vol.19、Page.198
- 60) [http://www.resmedjournal.com/article/S0954-6111\(11\)00385-4/](http://www.resmedjournal.com/article/S0954-6111(11)00385-4/)
- 61) NHLB/WHO global initiative for chronic obstructive lung disease(GOLD)workshop summary. Global strategy for the diagnosis, management and prevention for chronic obstructive pulmonary disease. Am J Respir Crit Care Med 2001; 163(5):1256-1276
- 62) Melania Campeanu et al The influence of whole body vibration training on the enhancement of quadriceps' force in rugby players. Acceptat spre publicare;2010(10) :315-319
- 63) Colson, SS, Pensini et al Whole-body vibration training effects on the physical performance of vasketball players. J Strength Cond Res 24(4),2010:999-1006
- 64) Schmidtbleicher Dietmar et al Mechanical stimulation in neuromuscular diseases Institute of Sport Sciences, University of Frankfurt,2003,vol.11 1-4
- 65) 日本呼吸管理学会、日本呼吸器学会、日本理学療法士協会、編.呼吸リハビリテーションマニュアル - 運動療法 - .東京：照林社；2003p.76-79
- 66) Borg GAV:Psychophysical basis of perceived exertion. Med Sci Sports Exerc 1982; 14(5):377-381
- 67) Jones CJ, Rikli RE, Beam WC: A 30-s chair-stand test as a measure of lower body strength in community-residing older adults. Res Quart Exerc Sports, 1999, 70:113-119
- 68) Brooks SM : Surveillance for respiratory hazards. ATS News 1982;8:12-16
- 69) Jones PW, Quirk FH, Baveystock CM, et al : A self-complete measure of health status for chronic airflow limitation. The St.George's Respiratory Questionnaire. Am Rev Respir Dis 1992;145:1321-1327
- 70) Guyatt GH, Pugsley SO, Sullivan R, et al : Effect of encouragement on walking test performance. Thorax 1984;39(11):818-822
- 71) 小山内良太ほか、全身振動トレーニングによる下肢筋活動の分析、新潟理学療法学 第三巻：2007、52-56
- 72) Laughlin MH: Skeletal muscle blood flow capacity: role of muscle pump in exercise hyperemia. Am J Physiol, 1987,253: 993-1004
- 73) Izumizaki M, Satake M, Takahashi H, et al : Effects of inspiratory muscle thixotropy on the 6-min walk distance in COPD. Respir Med 2008;102:970-977

図、表

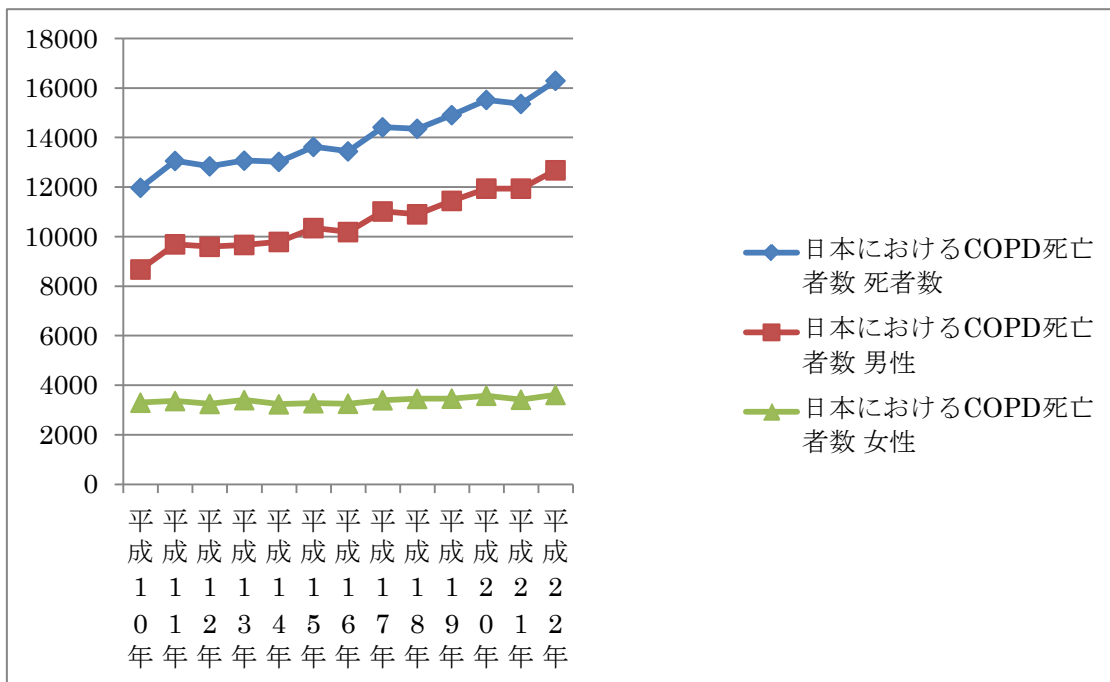
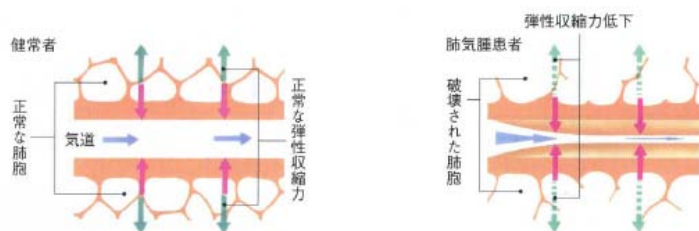


図1 厚生労働省人口動態統計 COPD 死亡者数



A. 正常な肺胞と気道

B. 気腫型 COPD 患者の肺胞と気道

図2 呼気時の気道と肺胞の弾性との関係 (文献 32 より引用)

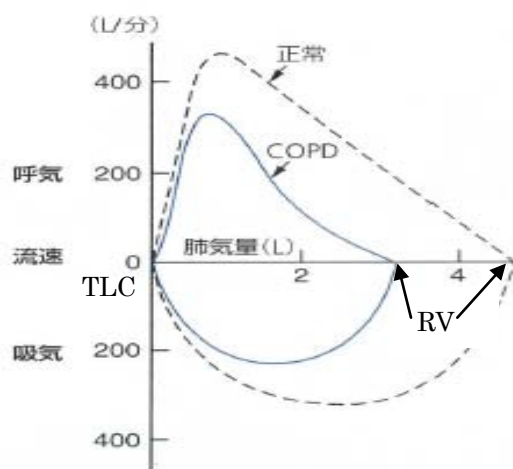


図3 呼気・吸気フローボリューム曲線 (文献 33 より引用)

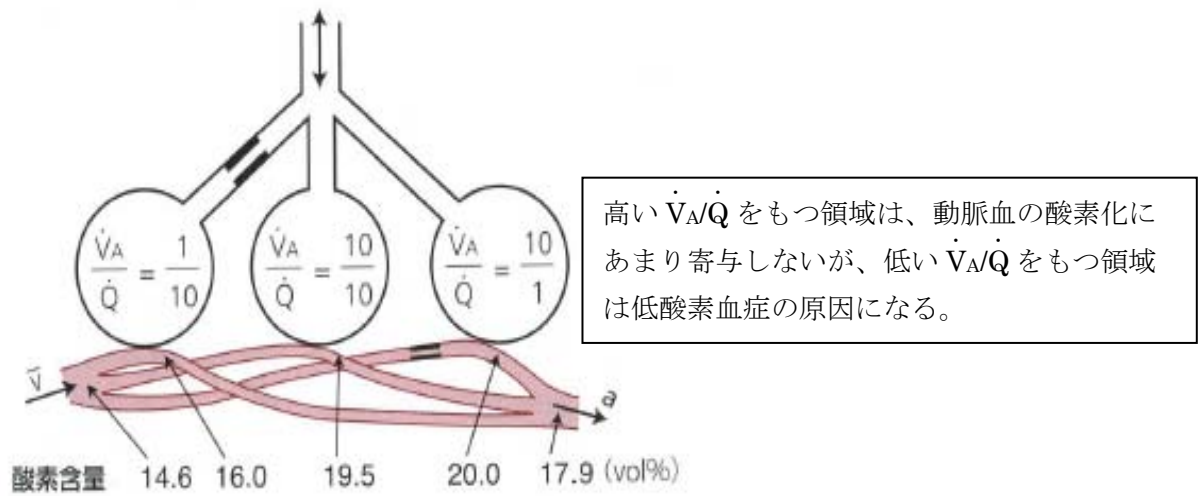


図 4 換気血流不均等により、動脈血酸素含量低下の理由 (文献 34 より引用)

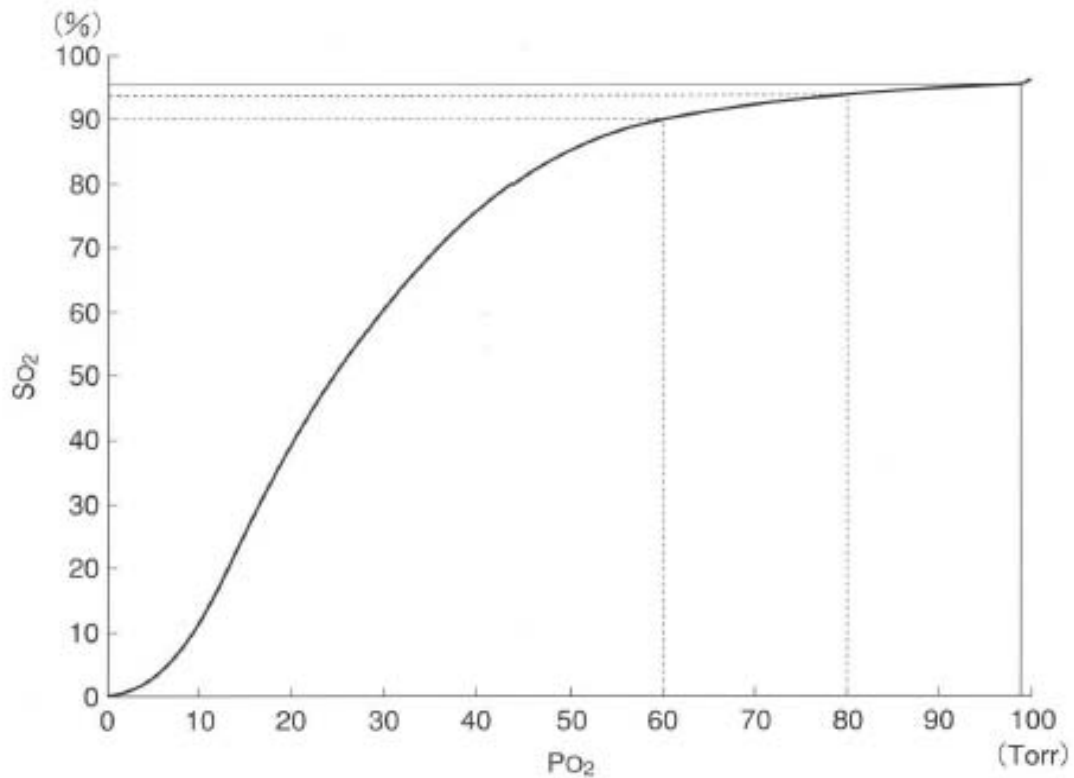


図 5 体温 37°C、 P_{aCO_2} 40Torr、pH 7.40 および Hb 15g/dl のときのヘモグロビン酸素解離曲線 (文献 35 より引用)

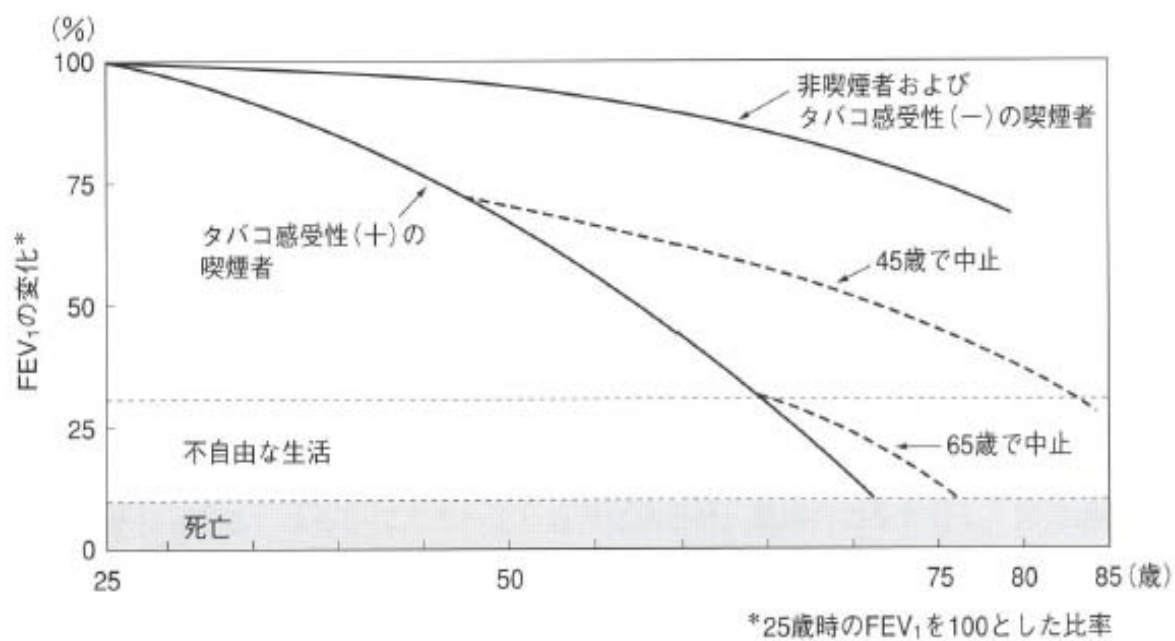


図6 喫煙による肺機能低下状況 (文献 42 より引用)



図7 振動刺激トレーニング装置 (G-900)



図 8 COPD 患者にみられる呼吸困難の悪循環

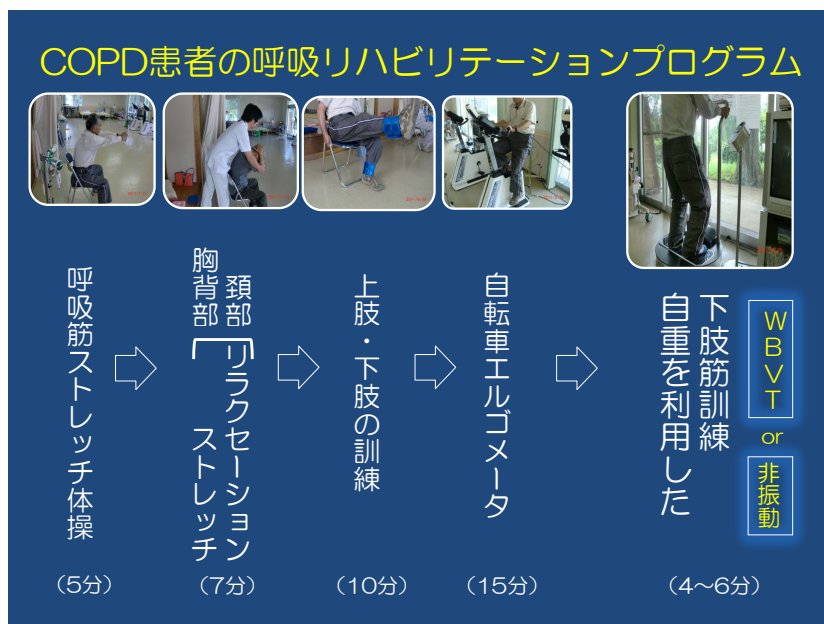


図 9 本研究での COPD 患者の呼吸リハビリテーションプログラム



図 10 上肢筋訓練の様子



図 11 下肢筋訓練の様子

自重の下肢筋訓練



軽いスクワット
基本姿勢1分後
(1~2分)

➡



座り2分間休憩
パイプ椅子に

➡



軽いスクワット
基本姿勢1分後
(1~2分)






図 12 本研究での自重を利用した下肢筋訓練



図 13 足幅のマーカー WBVT 群



Control 群

表 1 COPD の診断基準

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. 気管支拡張薬投与後のスパイロメトリーで $FEV_1/FVC < 70\%$ を満たすこと 2. 他の気流閉塞をきたし得る疾患を除外すること |
|--|

日本呼吸器学会 COPD 診断と治療のためのガイドライン第 3 版による⁽³⁹⁾

表 2 COPD と鑑別を要する疾患

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> ① 気管支喘息 ② びまん性汎細気管支炎 ③ 先天性副鼻腔気管支症候群 ④ 閉塞性細気管支炎 ⑤ 気管支拡張症 ⑥ 肺結核 ⑦ 塵肺症 ⑧ 肺リンパ脈管筋腫症 ⑨ うっ血性心不全 ⑩ 間質性肺疾患 ⑪ 肺癌 |
|---|

表 3 COPD の病期分類

病 期		特 徴
I 期	軽症	「咳・痰が出やすい」、「階段昇降などの軽い労作で息切れを感じる」 $FEV_1/FVC < 70\%$ 、 $\%FEV_1 \geq 80\%$
II 期	中等症	「咳・痰が止まらなくなる」、「入浴や着替えなどのちょっとした動作の際にも息切れを感じる」、「外出がしづらくなる」など、日常生活に支障を来すような訴えが多い $FEV_1/FVC < 70\%$ 、 $50\% \leq \%FEV_1 < 80\%$
III 期	重症	「日常生活動作能力が低下し、寝たきりになる」、「慢性呼吸不全や心不全、体重減少などの合併症が生じる」などの全身的な症状が現れることが多い $FEV_1/FVC < 70\%$ 、 $30\% \leq \%FEV_1 < 50\%$
IV 期	最重症	$FEV_1/FVC < 70\%$ 、 $\%FEV_1 < 30\%$ または $\%FEV_1 < 50\%$ で慢性呼吸不全 ($PaO_2 60\text{Torr}$ 未満)

表 4 WBVT の除外基準

重度の心臓・神経・整形外科疾患 ペースメーカー 股・膝の人工関節 コントロール不良の糖尿病 てんかんや片頭痛 骨粗鬆症 転移性骨折 急性椎間板ヘルニア 椎間板症 脊椎炎

表 5 対象症例の群間比較 (平均±標準偏差)

	WBVT 群 (n=9)	Control 群 (n=11)	p-value
年齢 (歳)	72.1±7.1	73.7±3.8	0.549
身長 (cm)	159.9±6.9	158.9±5.1	0.730
体重 (kg)	59.1±8.4	57.5±7.2	0.645
BMI	23.1±3.0	22.7±2.7	0.758

表 6 介入前評価の群間比較 (平均±標準偏差)

評価項目	WBVT 群	Control 群	p-value
6 MWD	413.9±162.5	429.1±64.3	0.797
修正 Borg Scale	2.2±1.3	2.4±1.4	0.816
CS-30	14.0±3.8	15.0±2.8	0.518
MRC	1.1±1.1	0.9±0.8	0.646
Symptoms	52.4±18.8	49.8±16.4	0.753
Activities	47.2±26.6	38.7±12.4	0.394
Impacts	26.1±20.2	22.3±8.5	0.606
Total	36.9±20.9	31.8±6.1	0.499
VC	3.32±0.815	3.24±0.642	0.819
%VC	105.6±22.8	105.4±20.3	0.981
FEV ₁	1.66±0.714	1.70±0.502	0.889
FEV ₁ %	55.6±14.7	57.2±12.6	0.802
%FEV ₁	77.4±28.5	84.2±24.2	0.578

表 7 修正 Borg Scale

0	何も感じない
0.5	非常に弱い
1	やや弱い
2	弱い
3	ちょうどよい (楽である)
4	ややきつい
5	きつい (強い)
6	
7	かなりきつい (とても強い)
8	
9	
10	非常にきつい

表 8 WBVT 群の訓練周波数と訓練時間

訓練回数	周波数	合計訓練時間
1 回	12Hz	4 分間
2 回	15Hz	4 分間
3 回	18Hz	4 分間
4 回	20Hz	4 分間
5 回	20Hz	4 分間
6 回～23 回	20Hz 以上で最大 24Hz	6 分間

表 9 MRC 質問票

グレード分類	あてはまるものにチェックしてください (1つだけ)
0	激しい運動をした時だけ息切れがある。
1	平坦な道を早足で歩く、あるいは緩やかな上り坂を歩く時息切れがある。
2	息切れがあるので、同年代の人よりも平坦な道を歩くのが遅い、あるいは平坦な道を自分のペースで歩いている時、息切れのために立ち止まることもある。
3	平坦な道を約 100m、あるいは数分歩くと息切れのために立ち止まる。
4	息切れがひどく家から出られない、あるいは衣服の着替えをする時にも息切れがある。

表 10 介入前後の差の群間比較（平均±標準偏差）および差の p 値

評価項目	WBVT 群 介入前	WBVT 群 終了時	差	Control 群 介入前	Control 群 終了時	差	p-value
6MWD (m)	414±163	478±166	64±26	429±64	460±58	31±27	0.014
修正 BS	2.2±1.3	2.4±1.4	-0.06 ±1.01	2.4±1.4	1.9±1.4	-0.41 ±1.02	0.440
CS-30 (回)	14.0±3.8	19.2±5.4	5.2±3.3	15.0±2.8	16.2±3.2	1.2±1.7	0.007
MRC	1.1±1.1	0.3±0.7	-0.8±0.7	0.9±0.8	0.8±0.9	-0.1±0.5	0.024
SGRQ							
Symptoms	52.4±18.8	35.5±26.2	-16.9±27.6	49.8±16.4	40.5±13.6	-9.4±14.2	0.474
Activity	47.2±26.6	27.6±29.6	-19.7±16.0	38.7±12.4	37.4±16.2	-1.3±13.2	0.014
Impacts	26.1±20.2	17.8±20.1	-8.3±9.5	22.3±8.5	20.4±11.0	-1.8±8.9	0.139
Total	36.9±20.9	23.7±22.5	-13.1±11.4	31.8±6.1	28.9±9.2	-2.9±7.4	0.036
呼吸機能							
VC (L)	3.3±0.8	3.6±0.6	0.23±0.42	3.2±0.6	3.2±0.6	-0.02±0.24	0.140
%VC (%)	105.6±22.8	112.7±19.2	7.13±13.21	105.4±20.3	104.6±17.5	-0.75±8.34	0.144
FEV1 (L)	1.66±0.71	1.78±0.68	0.12±0.11	1.70±0.05	1.74±0.46	0.05±0.13	0.194
FEV1% (%)	55.6±14.7	56.4±15.5	0.75±2.21	57.2±12.6	58.2±12.6	0.96±4.95	0.897
%FEV1 (%)	77.4±28.5	81.8±26.5	4.4±3.9	84.2±24.2	86.5±22.5	2.3±7.4	0.424