

国際医療福祉大学審査学位論文（博士）

大学院医療福祉学研究科博士課程

題目：地域在住高齢女性の運動耐容能に関する研究
－呼吸機能の影響－

平成 30 年度

保健医療学専攻・理学療法学分野・応用理学療法学領域

学籍番号：16S3066 氏名：山口 育子

研究指導教員：丸山 仁司 教授

副研究指導教員：久保 晃 教授

題目：地域在住高齢女性の運動耐容能に関する研究 ―呼吸機能の影響―

著者名：山口育子

要旨

本研究は高齢者の運動耐容能に影響を及ぼす因子を呼吸機能の視点から明らかにし、さらにその影響因子に対する直接的介入が運動耐容能に及ぼす効果を明らかにすることを目的とした。対象は介護予防事業に通う高齢女性 60 名とし、各種身体機能測定を行い、それらの関連性を分析した。結果、対象者の呼吸機能、運動耐容能は疾患同等レベルに低下していることが観察された。運動耐容能の影響因子には歩行速度と吸気筋力が選択され、特に運動機能が低下した高齢者では肺活量も選択された。次に、同対象の 21 名に対し吸気筋トレーニング (IMT) を行い、運動耐容能を主要アウトカムとして効果検証を行った。結果、IMT により吸気筋力が増加した高齢者では、息切れ感や疲労感が増加せず歩行距離が延長した。本研究より運動耐容能の維持には呼吸機能を維持する重要性が示された。骨格筋強化と呼吸筋強化の相乗効果により運動耐容能を向上させることが期待できると考える。

キーワード：運動耐容能，呼吸機能，吸気筋トレーニング (IMT)

Title: Exercise tolerance of community-dwelling elderly females
— Influence of respiratory function —

Author: Ikuko YAMAGUCHI

Abstract

The purpose of this study was to identify the factors affecting exercise tolerance of elderly individuals from the viewpoint of respiratory function and to clarify the efficacy of direct intervention against these factors in improving exercise tolerance. For this study, we recruited 60 elderly individuals enrolled in preventive care programs. Various types of physical function measurements were performed, and their correlations analyzed. The results showed that respiratory function and exercise tolerance in these individuals had decreased to levels similar to those indiseased individuals. Although physical function in these individuals was normal due to the level of care, exercise tolerance and respiratory function were lower in the decreased exercise function group than in the sustained exercise function group. Moreover, respiratory muscle strength is related to exercise tolerance, and the level of lung activity was found to be an influencing factor only in the decreased exercise function group. Next, we investigated the effect of inspiratory muscle training (IMT) in 21 of the participants. In the group in which inspiratory muscle strength increased as a result of the IMT, exercise tolerance also increased. The findings of this study demonstrate the importance of maintaining respiratory function in order to maintain exercise tolerance. Thus, it is expected that strengthening of skeletal muscles and respiratory muscles will produce a synergistic effect resulting in the improvement of exercise tolerance.

Key word: exercise tolerance, respiratory function, inspiratory muscle training (IMT)

目次

第Ⅰ章	はじめに	4
Ⅰ-1	本研究の背景	4
Ⅰ-2	文献レビュー	6
Ⅰ-3	本研究の目的	9
Ⅰ-4	本研究の新規性	10
Ⅰ-5	本研究の意義	10
第Ⅱ章	研究1：高齢者の運動耐容能・呼吸機能の実態と 介護度の違いによる運動耐容能の影響因子の差異	11
Ⅱ-1	目的	11
Ⅱ-2	対象と方法	12
Ⅱ-3	倫理上の配慮	16
Ⅱ-4	結果	17
Ⅱ-5	考察	22
Ⅱ-6	結論	25
第Ⅲ章	研究2：高齢者の運動機能の違いによる運動耐容能の影響因子の差異	26
Ⅲ-1	目的	26
Ⅲ-2	対象と方法	27
Ⅲ-3	倫理上の配慮	27
Ⅲ-4	結果	28
Ⅲ-5	考察	33
Ⅲ-6	結論	35
第Ⅳ章	研究3：吸気筋トレーニングの運動耐容能に対する効果検証	36
Ⅳ-1	目的	36
Ⅳ-2	対象と方法	37
Ⅳ-3	倫理上の配慮	37
Ⅳ-4	結果	39
Ⅳ-5	考察	45
Ⅳ-6	結論	47
第Ⅴ章	総括	48
V-1	本研究で得られた知見	48
V-2	本研究の限界と課題	49
謝辞		49
文献一覧		49

第 I 章 はじめに

I-1 研究背景

我が国の平均寿命は、2017 年には男性 81.09 歳、女性 87.26 歳となっており、今後も男女ともに延び、2065 年には男性 84.95 歳、女性 91.35 歳になることが見込まれている¹⁾。寿命のうち、健康上の問題で日常生活が制限されることなく生活できる期間である健康寿命は、2016 年時点で男性 72.14 歳、女性 74.79 歳である²⁾。平均寿命と健康寿命との差、すなわち日常生活に制限のある不健康な期間は、2001 年から 2013 年にかけて減少しておらず、平均寿命の延び以上に健康寿命を延ばすことが重要とされる³⁾。国は、健康の増進の総合的な推進を図るための基本的な方針として「21 世紀における第二次国民健康づくり運動（健康日本 21（第二次））」を推進し、重点課題の一つに「生活習慣病の予防、社会生活を営むために必要な機能の維持及び向上等による健康寿命の延伸」と掲げている⁴⁾。そのため、介護予防施策として、地域の介護予防教室や健康体操教室で展開される元気高齢者が虚弱に陥ることを予防する一次予防、通所リハビリテーションなどで展開される虚弱高齢者を要介護状態に進行させない二次予防、要介護状態となっても重度化させない三次予防と、各ステージで様々な取り組みがなされている。介護予防とは、「要介護状態の発生をできる限り防ぐまたは遅らせること、そして要介護状態にあってもその悪化をできる限り防ぐこと、さらには軽減を目指すこと」と定義されている⁵⁾。現在、その取り組みの軸となっているのは、これまで、多くの研究者が示してきた、高齢者の身体機能の向上を図るには運動が有効な手段であるとのエビデンスに基づき、四肢の骨格筋力、バランス能力、歩行能力を中心とした運動器へのアプローチが実施されている⁶⁻⁸⁾。2006 年以降、国の介護予防施策では予防重視型システムを導入し運動器の機能向上プログラムによる早期対応の制度が整えられ、さらに近年ではフレイルやサルコペニアの概念が広く浸透し、予防のために骨格筋機能と栄養状態改善のための対策がなされている⁹⁾。一次予防から三次予防のどの場面においても、筋力向上トレーニングとして骨格筋の筋力や機能性を向上させるトレーニングに積極的に取り組まれている。

しかし厚生労働省が示す介護保険事業状況報告によると、要介護認定者数は増加の一途をたどり、なかでも要支援や要介護 1、2 といった軽度の要介護認定者数の割合が大きいことが示されている⁴⁾。2000 年から 2008 年にかけて全体の増加率が 2.85 倍であるのに対して、軽度の要介護認定者の増加率は 3.65 倍となっている⁴⁾。健康日本 21（第二次）推進専門委員会は、2016 年の認定調査の結果から、この増加率が大きいとされる軽度の要介護認定者で低下していく能力について報告している¹⁰⁾。軽度の要介護認定者は、屋内の狭い範囲であれば 80%以上の者が歩行できているのに対して、屋外で長く歩くことが求められる「買い物」が自立するのは 40%にも満たないことが示されている¹⁰⁾。買い物は、筋力が強い、バランス能力が高い、速く歩けるといふ瞬発的な機能に加え、長い距離を疲労することなく歩くことが要求される生活行為と考える。家の中で完結するような身の回り動作である日常生活活動（Activity of Daily Living：以下 ADL）ではさほど不具合は生じていない高齢者でも、手段的日常生活活動（Instrumental Activity of Daily Living：以下 IADL）のなかで持続的な要素が必要となる場面で不具合が発生していることになる¹⁰⁾。したがって、外出の能力を保证するような歩行の持久性を維持することが軽度の要介護認定者の介護予防として重要な課題と考える。さらに予防策を講じるためには、高齢者の持久性つまり運動耐容能について明らかにする必要があると考える。しかし、近年の介護予防における運動機能の

枠組みは、東京都老人総合研究所が示す身体機能評価の 5 項目（筋力、バランス能力、柔軟性、歩行機能、スピード）⁵⁾や、介護予防マニュアルが示す体力測定項目（握力、開眼片脚立ち、TUG、歩行速度）¹¹⁾が一般的である。しかしこれらの項目だけでは、瞬発的要素の評価が中心であり、軽度の要介護認定者の運動耐容能を詳細に把握することは困難である。高齢者の運動耐容能の項目を追加して高齢者の運動機能を捉えていく必要があると考える。

I-2 文献レビュー

軽度の要介護認定者の介護予防戦略として、運動耐容能をいかに維持、向上させるかが重要な課題と考える。そのため、高齢者の運動耐容能の基盤となる身体機能について、加齢の影響を文献的に確認する。

【高齢者の運動耐容能について】

運動耐容能とは身体運動を維持する能力であり、Wasserman が示したように、エネルギーを産生する骨格筋、酸素搬送系となる呼吸器系と心血管系の3つ機能が強く影響する¹²⁾。この3つの機能（歯車）がスムーズにかみ合って身体運動を維持させており、どこか一部分でも低下すると運動耐容能は低下することが報告されている¹²⁾。

エネルギー産生を担う骨格筋の機能低下の原因には、加齢、不動や臥床による廃用性変化が挙げられる。加齢に伴い身体組成は変化し、サルコペニアといわれる筋量の減少が起こる¹³⁾。この筋量の減少に伴って筋力の低下も生じることになるが、そのメカニズムとして、1つ目に蛋白質の合成と分解のバランスの変化、筋線維核数の減少、特に速筋線維の萎縮などの筋組成の変化、2つ目に運動神経終板の変性、運動神経線維の減少などの運動神経の影響、3つ目に筋線維の収縮速度、筋張力の低下などの機能面の変化などが明らかにされている¹³⁾。これらの変化は病態というより生理的老化として起こり、そこに廃用などの要素が加わると容易に運動耐容能に影響を与える。サルコペニアは、下肢筋量の減少割合が最も大きいなどの特徴が示されていることから¹³⁾、起居動作能力や歩行能力に直結することになる。それゆえ、高齢者において骨格筋量の維持や筋機能を向上させることは重要である。

酸素搬送系となる呼吸器系と心血管系も加齢変化を示す。多くの成書¹⁴⁻¹⁶⁾によると、心臓では安静時の心拍出量や左室駆出率は心疾患に罹患しない限り低下しないが、運動負荷時の最大心拍数、左室駆出率の増加は加齢に伴い減少するとされる¹⁴⁾。呼吸器系の加齢変化に関しても、1972年のShockらの報告にはじまり多くの報告がなされている¹⁷⁾。呼吸器系の加齢変化はほかの機能低下と比較しても大きいことが示されている¹⁵⁾。加齢により安静時の一回換気量は変化しないが、肺活量、予備吸気量、予備呼気量、努力性肺活量、一秒量が低下することが明らかにされている¹⁴⁾。つまり、加齢による機能低下は「予備力の低下」であり、疾患がない限り通常の日常生活に支障をきたすまでの機能低下には陥らないとされ^{14,16)}、高齢者は活動を狭小化させることで適応していると考えられる。しかしこの活動の狭小化が、高齢者の運動耐容能、運動機能を低下させることが予測されるため、活動を維持するためにも呼吸器系のコンディションを整え、呼吸機能の予備力を向上しておくことが重要と考える。

【高齢者の呼吸機能の加齢変化】

本研究で着目する呼吸機能には「換気機能」と「ガス交換機能」の2つの機能がある¹⁸⁾。換気機能は口腔や鼻腔からの吸気と呼気による空気の出し入れのことであり、胸郭や肺のコンプライアンス、気道の抵抗性、呼吸筋力が影響する¹⁹⁾。臨床では一般的に「呼吸機能検査」と呼ばれる検査で把握される。ガス交換機能としては、肺胞からガス交換機能は肺胞と血液、血液と末梢組織における酸素と二酸化炭素の受け渡しのことであり、拡散能力や換気・血流比が影響する¹⁹⁾。

呼吸機能の中で換気機能の加齢変化に関しては、構造的変化として胸郭の変化、呼吸筋の変化、肺実質の変化が起こる¹⁸⁾。加齢により胸郭は硬くなり、コンプライアンスが低下する。胸椎の変形により COPD でみられるような胸郭前後径の拡大が生じ、横隔膜を伸展位とさせることで呼吸筋力の低下にもつながる²⁰⁾。さらに外肋間筋を短縮位にすることで筋収縮に不利に働き呼吸効率を悪くするといわれている²⁰⁾。また、近年では呼吸筋も四肢の骨格筋と同様に萎縮や筋力低下を起こし、組織学的にも筋線維の縮小やⅡ型筋線維の萎縮などサルコペニアとの関連性も示されている²¹⁾。肋間筋や横隔膜が萎縮し、筋中ミオグロブリン含量は低下するとされている²²⁾。サルコペニアをもつ高齢者は呼吸筋力も低下し、サルコペニアの有無に対する判別能も比較的高いことも報告されている²³⁾。呼吸機能の減弱は体格や栄養状態とも関係しており、体重と横隔膜筋肉量は正の相関を示すとされる²⁴⁾。加齢に伴う呼吸筋力の低下は体格よりも四肢筋力の低下との関連が強いとの報告もある²²⁾。また、肺実質も変化を起こし、肺泡が拡大し弾性収縮力が低下することで末梢気道に影響を与えるとされる²⁰⁾。これらの構造的変化は換気機能の低下をもたらす。肺活量、予備呼気量、予備吸気量、努力性肺活量、一秒量が低下、残気量や機能的残気量が増加する¹⁴⁾。このように加齢による影響が明らかにされてきたことから、肺活量や努力性肺活量、一秒量の予測式には年齢、性別、身長の変数が含まれている²⁴⁾。この換気能力の低下に関しては、いくつかの観察研究において、呼吸器系の疾患がなくとも拘束性および閉塞性換気障害レベルの状態にある高齢者が高頻度にあるとの報告がみられる^{26,27)}。

もう一つの呼吸機能であるガス交換機能の加齢変化に関しては、肺泡壁の減少からガスの拡散する面積が少なくなる影響で肺拡散能が低下することが示されている²²⁾。また加齢とともに換気血流比の不均等が悪化するとの報告²⁸⁾もあり、これらは動脈血酸素分圧の低下を引き起こすことになるが、健常な高齢者でみればそれは軽微であると報告されている。また、動脈血二酸化炭素分圧に関しても健常高齢者であれば加齢変化を受けないとされている²⁵⁾。

安静時の呼吸機能に限らず、運動時の呼吸機能についても加齢変化は示されている。若年者と比較すると、運動時の呼吸パターンは腹式呼吸の要素が大きく、運動開始後の換気量や心拍数増加にも時間がかかるとされ、横隔膜筋力の低下も横隔膜疲労の潜在的要素といえる²⁹⁾。安静呼吸においても呼吸消費エネルギーは 20 歳時と比べて 60 歳では 20%増加し²⁹⁾、これは運動時の換気にも影響を及ぼすことから、呼吸効率の低下により容易に疲労しやすいことが推察される。

以上のとおり、生理的老化の範疇においても呼吸器系の機能低下、特に換気機能の低下が大きい。これは呼吸器系という一器官の機能低下にとどまらず、運動耐容能に不利に働くことが考えられる。呼吸機能と運動耐容能の関連性や影響度について明らかにすることが、生理的老化の範疇にある高齢者の活動性の維持につながると考える。

【呼吸機能と運動耐容能に関する先行研究】

呼吸機能と運動耐容能の関連性については、呼吸器系が病的状態に陥った呼吸器疾患や心不全患者を対象に明らかにされている。呼吸機能や吸気筋力の低下は運動耐容能に影響を及ぼすことが示され、呼吸リハビリテーションとしても介入されている^{30,31)}。しかし、これらの呼吸器疾患で示されている呼吸機能と運動耐容能の関連や、呼吸機能への直接的な介入効果に関する報告は、呼吸機能の病的な状態において示されたエビデンスであり、生理的加齢変化の範疇にある高齢者

においては、運動耐容能の影響因子や影響を及ぼす機序は異なると考えられる。よって COPD など示された介入エビデンスを、呼吸器疾患を持たない高齢者に当てはめることは適さない。

そこで、呼吸器疾患を有さない高齢者の呼吸機能と運動耐容能に関する先行研究を概観する。

堀江らは居宅高齢者 309 名を対象に、運動習慣の有無が呼吸機能、呼吸筋力、6 分間歩行距離に及ぼす影響をみており、運動習慣がある場合の 6 分間歩行距離に影響する要因は吸気筋力と 1 秒量であり、運動習慣がない場合は努力性肺活量であったと報告している³²⁾。巻らは、要介護高齢者 87 名の呼吸機能と ADL・IADL・QOL は関連すると報告している³³⁾。さらに巻らは嚥下機能の低下した要介護高齢者に呼吸筋トレーニングを行い、呼吸筋力や咳嗽力、6 分間歩行距離の増加や嚥下機能、QOL の改善を認めたと報告している³⁴⁾。また、運動耐容能の基盤となる骨格筋力や筋量と呼吸機能の関係に関しては、富田らが横断的調査により、地域在住高齢者 11 名において呼吸筋力と握力、歩行速度の間に相関は認めなかったと報告している³⁵⁾。堀江らの報告では、要介護高齢者 20 名の呼気筋力と膝伸展筋力、歩行速度、30 秒立ち上がりテスト、Timed Up and Go は相関を認めている³⁶⁾。高橋らの健常高齢者における骨格筋量と呼吸機能の関係の報告では、骨格筋量は呼吸機能と関係することが示されている³⁷⁾。

このように、呼吸器疾患を有さない高齢者においても呼吸機能と運動耐容能やほかの運動機能との関連についての報告がみられるようになってきた。この背景には、呼吸機能や呼吸筋力が介護予防事業の現場でも容易に測定できるようになったことが挙げられる。しかし、その報告からはまだ一定の見解が示されていないため、呼吸機能の向上が運動耐容能を改善する一助となるとのエビデンスの構築には至っていない。また、これらの報告の多くが高齢者を介護度によって分類して分析されている。一般に介護度が軽度なほど身体機能は良いと考えられるが、運動耐容能に関して骨格筋力などの運動機能の違いによって分析した報告は見当たらない。

以上のことから、生理的加齢変化の範疇とされる高齢者において、呼吸機能を含めて運動耐容能の影響因子を検討すること、ならびに筋力などの運動機能の違いによる分析を追加して詳細に運動耐容能を明らかにする必要があると考える。さらに、呼吸機能への直接的介入の効果として運動耐容能をアウトカムとした検証が必要となってくる。

I-3 本研究の目的

本研究の目的は、高齢者の運動耐容能に影響を及ぼす因子を呼吸機能も含めて明らかにし、さらに、その影響因子に対する直接的介入により運動耐容能が向上する可能性を示すことである。

研究は観察研究と介入研究の2段階で構成される。まず観察研究にて、高齢者の呼吸機能を含む身体機能の実態を把握し、運動耐容能の影響因子を明らかにすることとした。研究1では、介護度の違いによる身体機能の特徴を明らかにするために、運動耐容能に影響を及ぼす因子の差異を検討した。研究2では、フレイル診断基準となっている握力と歩行速度という運動機能の違いによる身体機能の特徴を明らかにするため、運動耐容能への影響因子の差異を検討した。

次に、観察研究で明らかとなった運動耐容能の影響因子（呼吸機能）に対する直接的な介入が、運動耐容能に及ぼす効果を明らかにするため介入研究を実施した。研究3として、呼吸筋トレーニングによる呼吸機能、運動機能に対する効果を明らかにすることとした。

I-4 本研究の新規性

本研究は、介護予防の対象となる高齢者の呼吸機能に着目して運動耐容能の関連因子を明らかにすること、呼吸機能への介入効果を明らかにすることである。今回対象とするのは呼吸器系の疾患はないものの、要支援 1, 2 と要介護 1, 2 の認定を受けた高齢者（以下：軽度の要介護認定者）である。身体機能の低下により ADL, IADL に影響を及ぼし、介護予防（二次予防）として通所リハビリテーションにおいて運動器の機能向上に取り組んでいる対象者である。これまで、運動器の機能向上トレーニングを実施している対象者の運動耐容能に関して、呼吸機能の視点も取り入れて明らかにしてきた報告は少ないことから、本研究の新規性の一つと考える。

また、従来、要介護認定者を対象として身体機能などを検討する際、介護度の区分によって分析を進めている報告が多い。本研究では、フレイルやサルコペニアの概念を用いて対象者の運動機能レベルを区分し、運動耐容能の影響因子を明らかにすることも新規性の一つと考える。

さらにもう一つの新規性として、呼吸機能の評価の中に「呼吸筋力」を追加することである。呼吸リハビリテーションにおいては、呼吸機能評価（スパイロメトリー）は必須の評価項目とされ、呼吸筋力は可能であれば行う評価となっている³⁸⁾が、介護予防の現場ではそうっていない。東京都老人総合研究所が示す高齢者の体力評価の項目にも呼吸機能や呼吸筋力は挙がっていない³⁹⁾。その理由として、呼吸器疾患の診断がつかなければそれほど身体機能に影響しないとして問題意識が持たれてこなかったこと、一般化されるだけのデータの蓄積がなく介護予防の現場で必要性を持たれなかったこと、ゆえに測定機器の整備等がなされなかったことなどが考えられる。本研究で呼吸機能を論じるには、肺活量や呼気流速を作り出す呼吸筋力の状態を直接把握する必要があると考え、これを測定項目に追加した。これにより、呼吸機能の中でも呼吸筋力が直接的に運動耐容能を規定する因子であるかが検証できる。

I-5 本研究の意義

高齢者の活動性は運動耐容能と関連することから、活動範囲を拡大させる持久性の維持のためには呼吸機能、なかでも換気の動力源である呼吸筋に十分な予備力をつけておくことが介護予防に必要不可欠であると考え、本研究の着想に至った。

本研究により、高齢者の運動耐容能への影響因子として呼吸機能が重要であることが示されることは、介護予防における直接的介入の選択肢が増えることになると思う。特に呼吸筋は、骨格筋と同様に理学療法として介入が可能なターゲットであり、筋力増強は理学療法の専門性を発揮する分野である。また呼吸筋力測定は複雑な吸気呼気のコントロールが不要であるため、高齢者においても比較的容易に実施でき、介護予防の現場への導入もしやすい。つまり、高齢者の身体機能の把握の一つの指標となり得ると考える。

すでに取り組まれている運動器への介入に追加して呼吸筋にも介入することで、運動耐容能の向上により効果を示し、それは、軽度の要介護認定者の増加や重度化を抑制できるものとする。これにより、従来は誤嚥予防との関係で咳嗽力に焦点を当たられてきた呼吸機能に関して、持久性という観点から呼吸機能を維持することの重要性を社会に発信できると考える。

第Ⅱ章 研究 1：高齢者の運動耐容能・呼吸機能の実態と、介護度の違いによる運動耐容能の影響因子の差異

Ⅱ-1 目的

高齢者の介護予防の中でも、特に軽度の要介護認定者の予防戦略としては運動耐容能の維持が重要と考える。運動耐容能の基盤の一つである骨格筋に対しては、通所リハビリテーションなどにおいて運動器の機能向上プログラムとして対策が取られている。また近年では、フレイルやサルコペニアという概念が広まるにつれ骨格筋に対する関心は高まり、筋力や筋量、筋機能を向上させるための介入が早期から行われている現状にある。しかし、呼吸機能に関しては運動耐容能の基盤となる機能であるにもかかわらず、呼吸器疾患などの診断がなければ、単独で評価されることや運動耐容能を向上させる目的で直接介入されることはない。博士研究の目的は、軽度の要介護認定者における運動耐容能の規定因子を呼吸機能の視点を取り入れて明らかにする事である。そのため研究 1 では、高齢者の運動耐容能とその基盤となる骨格筋機能、呼吸機能の状態を明らかにした上で、運動耐容能と呼吸機能、その他の運動機能との関連性を明らかにすることを目的とした。

その際、特に着目したのが、要支援高齢者（以下、要支援）と軽度要介護高齢者（以下、軽度要介護）における身体機能の違いによって運動耐容能の関連因子が異なるかという点である。本邦の介護保険制度では、介護度の判定の際、認定調査の結果を「介護の手間」として算定し介護度が決定されている⁴⁰⁾。一般的に要支援状態のほうが身体機能は良いとされるが、認定調査の 67 項目のうち身体機能の項目は 13 項目のみであり、介護度が必ずしも身体機能を反映しているとは限らない。過去の報告においても、要支援と軽度要介護の身体機能の差は明確でないことから、研究 1 ではそれらを明確にしつつ、介護度による運動耐容能の影響因子を明らかにすることを目的とした。これにより、介護度によって運動耐容能を維持するための介入方法を検討する際の一つの根拠となると考える。

II-2 対象と方法

1. 対象

対象は通所リハビリテーションに通所している地域在住高齢女性 60 名 (平均年齢 85.8 ± 5.6 歳, 身長 145.1 ± 6.4 cm, 体重 48.1 ± 9.5 kg, BMI 22.9 ± 4.2 kg/m²) である. 要支援 31 名, 軽度要介護 29 名の軽度の要介護認定者とした. 対象を女性に限定したのは, 測定項目である呼吸機能や 6 分間歩行距離には性別が影響し予測式を構成する変数にも性別が含まれること, また運動機能の項目も性別による標準値や平均値, カットオフ値が示されていることから, 解釈の際に性別による影響を排除できるよう女性のみとした. 対象者数は 60 名としたが, これは統計学的に十分な検定力を得るための効果量 (r) を 0.5 とした場合に十分な対象数である. また, 本研究の対象と同様な母集団を対象とした先行研究の対象者数と同等の数であることから, 60 名という対象者数は妥当であると考えらる.

取り込み条件は, 測定項目に歩行にかかわる項目が含まれることから, 歩行が自立している者とした. この場合の歩行自立とは, 歩行能力としてみるため, 歩行補助具の有無やその種類は問わないことにしたが, 測定の際は日常的に使用している補助具の使用を条件とした.

また, 膝関節や股関節, 腰部の疼痛などによる歩行への影響を排除するため, 歩行に支障をきたすような重度な整形外科的疾患を有する者は除外した. さらに, 今回の目的は呼吸器疾患を持たない高齢者の運動耐容能を検討することであるため, COPD, 気管支喘息, 呼吸不全, 肺結核, 肺癌, 1 か月以内の呼吸器感染症などの呼吸器疾患を有する者は除外した. 喫煙による呼吸器への影響を排除するため, 現在の喫煙者も対象から除外した.

2. 測定項目と測定方法

測定項目は、呼吸機能の指標として肺活量 (Vital Capacity : 以下 VC), 努力性肺活量 (Forced Vital Capacity : 以下 FVC), 1 秒量 (Forced Expiratory Volume : 以下 FEV_{1.0}), 最大呼気流速 (peak expiratory flow : 以下 PEF), 呼吸筋力の指標として最大吸気口腔内圧 (maximum inspiratory mouth pressure : 以下 PImax), 最大呼気口腔内圧 (maximum expiratory mouth pressure : 以下 PEmax), 運動機能の項目は、筋力の指標として握力, 等尺性膝伸展筋力, 30 秒立ち上がりテスト (30second chair stand test : 以下 CS-30) の回数, 移動能力の指標として 5m 歩行速度 (通常速度と速歩) と Timed Up and Go (以下 TUG), バランス能力の指標として片脚立位時間と Functional Reach Test (以下 FRT), 運動耐容能の指標として 6 分間歩行テスト (6-Minute Walk Test : 以下 6MWT) による歩行距離 (6-Minute Walk Distance : 以下 6MWD) と歩行時の呼吸困難感と下肢疲労感, 経皮的酸素飽和度 (arterial oxygen saturation of pulse oxymetry : 以下 SpO₂) を測定した. また, 身体組成の指標として身長, 体重, 下肢総筋量, 体内総筋量, 体内総筋率を測定した.

1) 呼吸機能, 呼吸筋力の測定

電子式診断用スパイロメータ (Autospiro AS-507, ミナト医科学社製), 呼吸筋力計 (AAM377, ミナト医科学社製) を用いて測定した. VC と FVC 測定は, 安静椅座位にて, American Thoracic Society と European Respiratory Society のガイドライン^{41,42)}に準拠して 3 回行い, そのうちの最大値を採用した. 年齢, 身長, 体重から成り立つ日本呼吸器学会肺生理専門委員会報告⁴³⁾の予測式より求められる標準値で除した値を, 対標準肺活量 (以下%VC), 対標準努力性肺活量 (以下%FVC) とした. また, PImax, PEmax も安静座位にて, 最大呼気位から最大吸気努力を行った時の PImax と, 最大吸気位から最大呼気努力を行ったときの PEmax を測定した. PImax, PEmax は口腔内圧を測定していることになるが, 臨床的に PImax を吸気筋力の指標, PEmax を呼気筋力の指標として代用されている. 少なくとも 1.5 秒は圧を維持してもらい, 測定カーブの 1 秒間の積分値が最大になる区間の平均圧力を最大口腔内圧 (PEmax, PImax) とした. 測定は 3 回実施し, そのうちの最大値を採用した. 得られた呼吸筋力は, 年齢, 身長, 体重から成り立つ鈴木らの予測式⁴⁴⁾より求められる予測呼吸筋力で除した値を %PEmax, %PImax とした.

2) 上下肢筋力の測定

握力はスメドレー式握力計を用い, 椅子座位にて上肢を下垂した姿勢で左右 1 回ずつ測定し, いずれか高い方を採用した.

下肢筋力は徒手筋力計 (モービィ, 酒井医療株式会社) を用い, 固定ベルトを使用して大腿四頭筋の等尺性膝伸展筋力を測定した. 対象者を椅座位, 膝関節 90 度屈曲位として左右 2 回ずつ測定を行い, そのうちの最大値を採用し, 体重で除した値を膝伸展筋力体重比とした.

CS-30 は座面の高さが 40cm の椅子から 30 秒間での起立回数を測定値とした. 測定は 1 回とした.

3) 歩行能力の測定

5m の通常歩行速度, 最大歩行速度を測定した. 5m 区間の両端に 2m ずつの予備路を加えた計 9m の直線距離を歩行させ, その所要時間をストップウォッチにて測定した. それぞれ 1 回

ずつ測定し、5m 歩行時間とした。

TUG は、椅子から立ち上がり、3m 先に設置した目標物をターンし椅子に完全に着座するまでに要する時間を計測した。2 回測定し最小値を採用した。歩行補助具が必要な場合は使用を許可した。

4) 6MWT による運動耐容能の測定

40m の平坦な周回路をできるだけ速く歩いてもらい、6MWD を測定した。歩行補助具が必要な場合は使用を許可し、測定は 1 回とした。歩行の際は標準化された声かけにより一定負荷となるよう統制した。また、6MWT の前後で Borg スケールによる呼吸困難感と下肢疲労感を聴取し、パルスオキシメーター (PULSOX-2, KONICA MINOLTA) にて SpO_2 を測定した。

5) バランス能力の測定

開眼における片脚立位時間をストップウォッチにて測定した。左右を 2 回ずつ測定し、最長時間を採用した。

FRT は立位にて歩隔を肩幅に開き、上肢を前方に挙げた開始肢位から、上肢を床面と水平に最大限伸ばした際の移動距離を測定した。3 回測定し平均値を採用した。

6) 身体組成成分の測定

身長、体重を測定し、体重 (kg) を身長 (m) の 2 乗で除して体格指数 (Body Mass Index : 以下 BMI) を算出した。

骨格筋量は筋量計 (Phyjion MD, 日本シューター製) を用いて生体電気インピーダンス法にて測定した。Phyjion MD は、生体電気インピーダンス法を用いて部位別の骨格筋の測定が可能であり、MRI による測定データと 0.9 以上の相関が報告されている⁴⁵⁾。対象者は背臥位になりリラックスした状態をとり、両手関節、両足関節に貼付した電極を通して各肢節の組成を測定した。体内総筋量の値 (kg) を身長 (m) の 2 乗で除した骨格筋指数 (Skeletal Muscle Index : 以下 SMI)⁴⁶⁾を算出した。

3. 分析方法

各測定値は平均値±標準偏差で表し、要支援と軽度要介護の群間比較を Shapiro-Wilk 検定にて正規性を検定したのち、対応のない t 検定または Mann-Whitney 検定を用いて分析した。6MWT 時の呼吸困難感 Borg スケール、下肢疲労感 Borg スケール、SpO₂に関しては、各群で 6MWT 前後の比較を Wilcoxon 符号付順位和検定にて分析し、群間比較には変化量を用いて Mann-Whitney 検定を行った。6MWD と各指標の関連を明らかにするため、全対象者ならびに要支援、軽度要介護ごとに spearman の順位相関係数を用いて分析した。相関係数の検定で有意な相関が認められた指標について、 $r > 0.4$ を中等度の相関ありの基準とした。

さらに全対象者ならびに各群における 6MWD への影響因子を分析するため、従属変数を 6MWD、独立変数を握力、膝伸展筋力体重比、5m 歩行速度（通常、速歩）、%VC、PEF、%PI_{max}、%PE_{max} として重回帰分析（ステップワイズ法、変数増減法）を行った。独立変数の選択理由は、運動機能のなかでも骨格筋力と歩行速度といったフレイルの診断基準となっている指標の影響度を検討するためである。また、呼吸機能の影響度を検討するため %VC、PEF、%PI_{max}、%PE_{max} を選択したが、これは年齢、身長、体重の影響を考慮して標準化された変数を用いた。重回帰分析は、相関行列表を観察したが、 $|r| > 0.9$ となるような変数は存在しなかったため、すべての変数を対象とした。統計解析は統計ソフトウェア SPSS statistics version22 を用い、有意水準は 5%とした。

II-3 倫理上の配慮

対象者にはヘルシンキ宣言に従い、本研究の目的と概要を十分に説明し、個人情報保護、研究中止の自由が記載された説明文を用いて説明し、書面にて同意を得たうえで実施した。なお、本研究に際しては、国際医療福祉大学研究倫理審査委員会の審査を受け、承認を得たのちに行った（承認番号：16-Ig-91）。

II-4 結果

全対象者の全ての測定項目の結果を表 1 に示し、要支援と軽度要介護に分類した結果を表 2 に示す。なお、結果は平均値±標準偏差として表記した。

対象者全体の結果は、骨格筋量ならびに握力などの骨格筋力は年代別基準値と近似していた。一方で%VC, %PImax, %PEmax, 6MWD は予測式から算出される予測値と比較して低値を示した。6MWD の $285 \pm 83\text{m}$ という結果は、ほとんどの対象者で外出制限のカットオフ値である 400m を下回る結果であった。

要支援と軽度要介護の比較では、軽度要介護の等尺性膝伸展筋力と膝伸展筋力体重比のみ、要支援よりも有意に低い値を示した。その他の項目については有意差を認めなかった。

表 3 には全対象者と要支援、軽度要介護における 6MWT 前後の Borg スケールと SpO_2 の結果を示す。各群とも 6MWT により呼吸困難感と下肢疲労感は有意に増加するが、 SpO_2 に変化はみられなかった。

6MWD と各測定項目との相関分析の結果を表 4 に示す。対象者全体の分析で 6MWD と有意な相関を示したのは歩行速度（通常，速歩），TUG，CS-30 であった。要支援，軽度要介護にわけた分析では、両群とも歩行速度（通常，速歩），TUG，CS-30 が 6MWD と有意な中等度の相関を示した。それに加え、要支援では PEF が 6MWD と有意な相関を示し、軽度要介護では PImax と %PImax，膝伸展筋力，膝伸展筋力体重比，開眼片脚立位が 6MWD と有意な相関を示した。

各群の重回帰分析の結果を表 5 に示す。全対象者において 6MWD に有意に関連する独立変数は歩行速度（速歩）（ $\beta=0.58$ ）と %PImax（ $\beta=0.25$ ）であった。 $R^2=0.40$ であるため適合度は高いと判断した。各群における 6MWD に有意に関連する独立変数は、要支援では歩行速度（速歩）（ $\beta=0.45$ ）と PEF（ $\beta=0.38$ ）であり、 $R^2=0.34$ であるため適合度は高いと判断した。軽度要介護では膝伸展筋力体重比（ $\beta=0.45$ ）と %PImax（ $\beta=0.35$ ）であり、 $R^2=0.31$ であるため適合度は高いと判断した。

表1 対象者の測定結果

身体組成	
身長(cm)	145.1 ± 6.4
体重(kg)	48.1 ± 9.5
BMI (kg/m ²)	22.9 ± 4.2
下肢総筋量 (kg)	7.07 ± 1.42
体内総筋量 (kg)	14.5 ± 2.5
体内総筋率 (%)	30.4 ± 4.3
SMI(kg/m ²)	6.91 ± 1.18
呼吸機能	
VC (L)	1.47 ± 0.39
%VC (%)	76.7 ± 17.5
FVC (L)	1.42 ± 0.36
%FVC (%)	80.7 ± 17.2
FEV1.0 (L)	1.07 ± 0.32
FEV1.0% (%)	75.6 ± 9.1
PEF (L/sec)	2.47 ± 1.22
PEmax (cmH ₂ O)	34.3 ± 17.7
%PEmax (%)	64.0 ± 32.6
PImax (cmH ₂ O)	17.6 ± 12.1
%PImax (%)	49.2 ± 27.2
運動機能	
握力 (kg)	16.0 ± 3.6
等尺性膝伸展筋力 (kgf)	21.2 ± 8.6
膝伸展筋力体重比 (kgf/kg)	0.45 ± 0.19
5m歩行速度 通常 (m/sec)	0.90 ± 0.22
速歩 (m/sec)	1.16 ± 0.30
開眼片脚立位 (sec)	13.0 ± 18.1
TUG (sec)	14.2 ± 4.6
FR (cm)	17.8 ± 7.2
CS-30 (回)	13.4 ± 5.5
6MWD (m)	284.9 ± 83.3
呼吸困難感Borgスケール変化量	3.67 ± 2.20
下肢疲労感Borgスケール変化量	2.23 ± 1.97
SpO ₂ 変化量	-0.08 ± 2.24
n=60	

平均値±標準偏差.

BMI : 体格指数, SMI : 骨格筋指数, VC : 肺活量, %VC : 対標準肺活量, FVC : 努力性肺活量, %FVC : 対標準努力性肺活量, FEV1.0 : 1秒量, FEV1.0% : 1秒率, PEF : 最大呼気流速, PEmax : 最大呼気口腔内圧, %PEmax : 最大呼気口腔内圧/予測値, PImax : 最大吸気口腔内圧, %PImax : 最大吸気口腔内圧/予測値, TUG : Timed Up and Go, FRT : Functional Reach Test, CS-30 : 30second chair stand test.

表2 要支援と要介護の各測定値の比較

	要支援 (n=31)	要介護 (n=29)
年齢	86.8 ± 4.8	85.8 ± 6.7
身体組成		
身長(cm)	144.4 ± 5.7	145.8 ± 7.0
体重(kg)	47.6 ± 8.7	49.1 ± 10.4
BMI (kg/m ²)	22.8 ± 3.8	23.1 ± 4.6
下肢総筋量 (kg)	7.13 ± 1.46	7.00 ± 1.40
体内総筋量 (kg)	14.4 ± 2.4	14.7 ± 2.7
体内総筋率 (%)	30.7 ± 4.9	30.2 ± 3.8
呼吸機能		
VC (L)	1.45 ± 0.41	1.49 ± 0.37
%VC (%)	78.9 ± 18.8	74.4 ± 16.0
FVC (L)	1.40 ± 0.35	1.43 ± 0.38
%FVC (%)	82.4 ± 18.1	78.8 ± 16.2
FEV1.0 (L)	1.06 ± 0.34	1.09 ± 0.32
FEV1.0% (%)	73.7 ± 11.0	77.5 ± 6.2
PEFR (L/sec)	2.25 ± 1.14	2.71 ± 1.28
PEmax (cmH ₂ O)	31.9 ± 19.0	36.6 ± 14.2
%PEmax (%)	60.1 ± 35.5	68.4 ± 28.9
PImax (cmH ₂ O)	17.9 ± 14.4	18.1 ± 6.8
%PImax (%)	50.6 ± 34.4	47.7 ± 17.3
運動機能		
握力 (kg)	16.1 ± 2.6	15.8 ± 4.4
等尺性膝伸展筋力 (kgf)	23.4 ± 9.2	18.9 ± 7.5 *
膝伸展筋力体重比 (kgf/kg)	0.51 ± 0.21	0.39 ± 0.13 *
5m歩行時間 通常 (sec)	5.70 ± 1.20	6.30 ± 3.06
速歩 (sec)	4.55 ± 0.98	4.88 ± 2.61
開眼片脚立位 (sec)	14.3 ± 17.3	11.7 ± 19.2
TUG (sec)	13.2 ± 3.5	13.9 ± 5.2
FR (cm)	17.2 ± 7.5	18.3 ± 6.9
CS-30 (回)	13.8 ± 5.6	13.0 ± 5.4
6MWD (m)	272.7 ± 77.2	297.9 ± 88.9
呼吸困難感Borgスケール変化量	3.90 ± 2.30	3.41 ± 2.10
下肢疲労感Borgスケール変化量	2.09 ± 1.68	2.38 ± 2.27
SpO ₂ 変化量	0.36 ± 2.62	0.27 ± 1.76

平均値±標準偏差.

対応のないt検定もしくはMann-Whitneyの検定、要支援との比較 *:p<0.05, **:p<0.01
略称は表1と同様.

表 3 6MWT 前後の Borg スケールと SpO₂ の結果

	全体(n=60)		
	6MWT前	6MWT後	
呼吸困難感Borgスケール	10.12 ± 1.71	13.78 ± 1.82	**
下肢疲労感Borgスケール	10.93 ± 2.01	13.16 ± 2.05	**
SpO ₂	96.88 ± 1.19	96.80 ± 2.10	

	要支援(n=31)			要介護(n=29)		
	6MWT前	6MWT後		6MWT前	6MWT後	
呼吸困難感Borgスケール	9.94 ± 1.88	13.84 ± 2.07	**	10.3 ± 1.51	13.72 ± 1.56	**
下肢疲労感Borgスケール	11.16 ± 2.07	13.24 ± 2.07	**	10.69 ± 1.95	13.07 ± 2.07	**
SpO ₂	96.97 ± 1.33	96.60 ± 2.59		96.79 ± 1.05	97.00 ± 1.41	

平均値±標準偏差.

Wilcoxon符号付順位和検定, 6MWT前との比較 **:p<0.01

略称は表1と同様.

表4 6MWDと各機能の相関係数

	全体	要支援	要介護
年齢	-0.26*	-0.50**	-0.21
身体組成			
身長	0.17	0.06	0.25
体重	-0.08	-0.20	-0.11
BMI	-0.23	-0.27	-0.26
下肢総筋量	0.07	0.03	-0.12
SMI	0.02	0.12	0.02
呼吸機能			
VC	0.31*	0.32	0.30
%VC	0.17	0.21	0.18
FVC	0.24	0.23	0.33
%FVC	0.05	0.15	0.21
FEV1.0	0.23	0.21	0.31
FEV1.0%	0.01	0.03	0.06
PEF	0.36**	0.49**	0.25
PEmax	0.25*	0.32	0.03
%PEmax	0.21	0.39*	0.02
PImax	0.34**	0.07	0.54**
%PImax	0.32*	0.17	0.43*
運動機能			
握力	0.17	0.13	0.26
等尺性膝伸展筋力	0.29*	0.27	0.45*
等尺性膝伸展筋力体重比	0.33*	0.38*	0.54**
5m歩行速度（快適）	0.44**	0.42*	0.53**
5m歩行速度（速歩）	0.60*	0.61*	0.66**
開眼片脚立位	0.27*	0.20	0.46*
TUG	-0.62**	-0.67**	-0.61**
FR	0.27*	0.39*	0.17
CS-30	0.43*	0.56*	0.42*
6MWTによる変化量			
呼吸困難感Borgスケール	-0.08	-0.10	-0.03
下肢疲労感Borgスケール	-0.08	0.35	-0.40*
SpO2	0.02	-0.21	0.28

略称は表1と同様。 * : p<0.05, ** : p<0.01

表 5 6MWD を従属変数とした重回帰分析の結果

全対象者

	偏回帰係数	標準偏回帰係数	有意確率	B の 95.0% 信頼区間		偏相関係数	VIF
				下限	上限		
定数	70.40		0.09	-11.25	152.04		
5m歩行速度（速歩）	157.97	0.58	0.00	92.78	223.17	0.60	1.02
%PImax	0.85	0.25	0.04	0.03	1.67	0.31	1.02

自由度調整済み R2乗=0.40

要支援

	偏回帰係数	標準偏回帰係数	有意確率	B の 95.0% 信頼区間		偏相関係数	VIF
				下限	上限		
定数	73.99		0.24	-52.96	200.94		
5m歩行速度（通常）	131.08	0.45	0.02	22.53	239.62	0.50	1.03
PEF	24.83	0.38	0.05	0.21	49.45	0.44	1.03

自由度調整済み R2乗=0.34

要介護

	偏回帰係数	標準偏回帰係数	有意確率	B の 95.0% 信頼区間		偏相関係数	VIF
				下限	上限		
定数	86.80		0.15	-35.13	208.72		
膝伸展筋力体重比	306.37	0.45	0.01	74.22	538.51	0.49	1.02
%PImax	1.77	0.35	0.05	0.03	3.51	0.39	1.02

自由度調整済み R2乗=0.31

II-5 考察

本研究では、軽度の要介護認定者の身体機能の特徴ならびに運動耐容能の影響因子を明らかにするため、呼吸機能、運動機能、身体組成の各項目を測定し得られたデータを分析した。分析は、対象者全体に加え、介護度区分における身体機能の差異と運動耐容能の影響因子の違いが明らかになるように、要支援、軽度要介護ごとに分析した。以下、それぞれの結果について考察する。

1. 高齢者の身体機能の特徴と運動耐容能の影響因子について

対象者の身体組成の結果は、BMI 22.9kg/m²、SMI 6.9kg/m²であった。健康日本 21（第二次）では、低栄養傾向（BMI 20kg/m² 以下）の高齢者の増加を抑制する目標値として BMI 22 kg/m²を提示している⁴⁷⁾。また日本人の食事摂取基準（2015 年版）では、70 歳以上における虚弱の予防及び生活習慣病の予防の両者に配慮した BMI の目標範囲は 21.5～24.9kg/m²としている⁴⁸⁾。これらの数値と比較しても、対象者の栄養状態が良好であることが示された。また SMI においても、本研究の対象者は、Asia working group のサルコペニア診断基準（女性 5.7kg/m²）⁴⁹⁾や、60 歳以上の女性の SMI 平均値 6.5kg/m²⁴⁷⁾と比較して高い値を示しており、筋量は維持レベルであることが示された。運動機能の結果は、握力、膝伸展筋力、歩行速度、片脚立位、CS-30 において年代別平均値⁵⁰⁻⁵²⁾と近似した値であった。握力と歩行速度、片脚立位に関しては東京都健康長寿医療センター研究所が示す年代別 5 段階評価基準⁵⁰⁾でみても、5 分位レベルで 4 レベルと高いことが示された。つまり対象者の運動機能は、6MWD 以外は良好であることが示唆された。これらの身体組成と運動機能の結果をまとめると、対象者は良好な栄養状態、骨格筋量、運動機能であったことになる。このような良好な身体特徴を示した理由は、通所リハビリテーションにて運動器の機能向上プログラムを中心とした介護予防事業の効果であり、Fried が示すフレイルサイクルの進展を予防できているためと考える。フレイルサイクルは、種々の要因で活動量が低下し、食欲低下などによって栄養摂取量が減少することでサルコペニアを助長、基礎代謝の低下とともに下肢筋力も低下することで歩行速度の低下や易転倒性となり、活動量が低下するという負のスパイラルに陥ると示されている⁵³⁾。今回の対象者では、栄養状態の維持を基盤として、通所リハビリテーションにおける運動が骨格筋量、骨格筋力、歩行速度の維持という一連の効果を示しているものとする。

しかし、このような高齢者においても運動耐容能の指標である 6MWD の結果は平均値で 285m であり、この値は Enright らが示す予測式⁵⁴⁾から算出される予測値の 60%と低い結果であった。このことについて、先行研究では、6MWD は握力、膝伸展筋力、歩行速度、片脚立位時間と中等度以上の有意な正の相関を持つことが示されている⁵⁵⁾。今回の対象者の身体特徴が良好な栄養状態、骨格筋量、運動機能であったことを考えると、6MWD も良好な値を示すと予測できが、結果は運動耐容能が心不全や COPD 患者の生命予後に関わるとされるカットオフ値⁵⁶⁾に近似するほど低下していることが示された。この結果から、呼吸器疾患を持たない高齢者でも運動耐容能を筋量や筋力だけでは説明するのは困難であることが示唆される。よって、呼吸機能の視点を取り入れて検討する必要がある。

呼吸機能の結果は、%VC が平均値で 76.7%と拘束性換気障害のカットオフ値である 80%を下回った。測定結果を対象者ごとに見ても 80%を下回る高齢者が 33 名（55%）、FEV_{1.0}%が閉

塞性換気障害のカットオフ値である 70%を下回る高齢者は 12 名 (20%) 存在した。これは、福地らの、有疾患でなくとも呼吸機能状態が疾患レベルの高齢者が高頻度に存在するという報告^{26,27)}と一致する結果であった。呼吸器系の正常な加齢変化として胸郭の変化、呼吸筋の変化、肺実質の変化といった構造的変化は避けられない¹⁸⁾。しかし、その低下の度合いが拘束性換気障害とされるレベルまで低下していたのは、換気の動力源となる呼吸筋力が、年齢、身長、体重から予測される予測値に対して%PEmax が 64%、%PImax が 49%と大幅に低い値であったことが要因と考えられる。このような呼吸筋力の低下の原因としては、6MWD の結果が外出制限のカットオフ値⁵⁷⁾とされる 400m を下回っていたことから考えると、高齢者の日常的な活動性が低下していたことが示唆され、それが呼吸筋力の低下を引き起こしたと考えられる。そのような活動性が低下した状態であっても、通所リハビリテーションにおける運動器に対するトレーニングによって骨格筋の筋力や筋機能の維持が可能であったが、呼吸筋に関しては特別な介入はなされておらず、廃用性変化の結果として筋力低下、呼吸機能低下がもたらされたものとする。

安静時においてこのような呼吸機能である場合、運動時の制限因子を呼吸の視点から考えると換気の動力源である呼吸筋力の低下が換気応答として一回換気量を十分に増やすことができず、呼吸補助筋を動員した効率の悪い換気によって運動を制限し、運動耐容能を低下させることが考えられる。呼吸筋力が 6MWD の関連する生理的機序としては、運動時の 1 回換気量の増加は、まずは吸気量を増やし、その後に呼気量を増やしていく必要がある¹⁹⁾。つまり吸気も呼気も同様に重要な要素である。今回のように呼吸筋力が著明に低下した高齢者においては、呼吸筋活動の増大が結果的に呼吸困難感の増加や運動継続の困難を生じさせると推察できる。呼吸器疾患を有する場合は低酸素が運動の制限因子となるが、今回の 6MWT 前後の SpO₂ の結果からも低酸素に陥ることはなかった。つまり組織間におけるガス交換の問題は起こっていないことになり、換気能力の問題と結論付けることが可能と考える。今回の対象のように呼吸器や循環器に疾患がなく膝伸展筋力や歩行速度において年齢相応の機能を有しているにもかかわらず、運動耐容能としてここまで低下しているという事実は、呼吸機能の低下と併せて注目すべき点と考える。呼吸器疾患と診断されていない高齢者のなかで閉塞性、拘束性換気障害に該当するレベルの呼吸機能状態の者でも、身体機能は低下しないとの報告²⁶⁾があるが、その報告では 6MWD に関しては検討されておらず、本研究において呼吸筋力、呼吸機能の低下した高齢者の運動耐容能が低下している実態が示されたのは新たな知見といえる。

次に対象者の 6MWD と各測定項目との相関分析の結果では、6MWD と歩行速度（通常、速歩）、TUG と CS-30 が中等度の有意な正の相関を示した。この結果は、これまでに報告されている歩行能力と 6MWD の関連^{55,58-60)}と一致する結果であった。また CS-30 は、筋力ならびに筋持久力を示す評価バッテリー⁶⁰⁾とされることから、筋力と筋持久力の存在が 6MWD を向上させることが明らかとなった。つまり、運動機能の中でも TUG や CS-30 という歩行やバランスや筋力などの総合的なパフォーマンスの成績は 6MWD に関連することが示された。重回帰分析の結果、6MWD の影響因子として歩行速度と%PImax が影響因子として選択された。吸気筋力が運動耐容能の影響因子として示された理由は、先に述べたように換気量増大のための動力源となることが説明の 1 つと考える。もう一つの要素として、運動時に呼吸ポンプ作用が増強するこ

とで循環応答に好影響を及ぼし、運動耐容能の増大につながることも考えられる。呼吸ポンプ作用とは、吸気時に横隔膜が下降することで、胸腔内圧の減少し腹腔内圧を高めることで静脈還流量が呼気時と比べて増大することである⁶¹⁾。運動時にはこの作用が増強することから、静脈還流量が増大し、フランクスターリングの機序から一回拍出量を増加させ、運動時の心拍出量を維持し、運動を継続することが可能となる⁶¹⁾。これらの機序が働くためにも、吸気筋の筋力は重要と考える。以上のことから、吸気筋力を高めておくことは運動耐容能の維持につながることを示唆された。

2. 要支援と軽度要介護の身体機能の差異と運動耐容能の影響因子の違いについて

要支援と要介護の違いは、要支援は IADL に不具合が生じ支援を要するが、要介護では IADL に追加して ADL にも不具合が生じて一部に何らかの介助を要する点にある。ADL を遂行するために必要な身体機能面に差が生じていることが予測されたが、要支援と軽度要介護を比較した結果、膝伸展筋力を除く運動機能、身体組成、呼吸機能に群間に有意差を認めなかった。この結果は、後藤らが示す、介護度は「介護の手間」による分類であるため身体機能を反映するとは限らない⁴⁰⁾との見解に一致する。今回の対象者においては、運動耐容能と呼吸機能以外の身体機能は比較的良好であったことを併せると、3次予防として重度化を予防する取り組みが、軽度要介護に対して効果的であることが考えられる。しかし、軽度要介護の等尺性膝伸展筋力と膝伸展筋力体重比は要支援と比較して低い値を示した。これを説明するには、筋量も併せて考える必要があるが、SMI や筋量には群間で有意差を認めなかった。近年、サルコペニアに関しては、筋量の減少に加え脂肪浸潤などの質の低下が示されている⁶²⁾。しかし、筋量測定に用いるインピーダンス法では、筋量は同等の値を示しても筋の質的变化を捉えることはできないとの報告も示されており⁶²⁾、今回のように筋量には差がないにも関わらず筋力に差が生じていたのは、軽度要介護高齢者の筋ではこのような質的变化が起こり筋機能の低下が惹起されていたと推察する。サルコペニアの特徴として下肢筋量の減少割合が最も大きいなどの特徴²²⁾が示されていることから、下肢筋力にその影響が出現したものとする。しかし、膝伸展筋力が有意に低下している軽度要介護であっても、6MWD を含む運動機能に差がなかったことは、その他の因子が何らかの影響を及ぼしている可能性が考えられる。

この因子を探るため、運動耐容能の関連因子について検討した結果、要支援と軽度要介護の各群における 6MWD と各測定項目の相関分析では、両群とも歩行速度（通常、速歩）、TUG、CS-30 が中等度の有意な正の相関を示した。さらに要支援では年齢と PEF、軽度要介護では膝伸展筋力と 6MWT 時の下肢疲労感 Borg スケール、PI_{max}、%PI_{max} が 6MWD との中等度の相関を示した。各群の重回帰分析の結果では、要支援では歩行速度（速歩）と PEF が 6MWD に有意に関連する独立変数として選択され、軽度要介護では膝伸展筋力体重比と %PI_{max} が選択された。膝伸展筋力の低下という身体特徴を持つ高齢者において、吸気筋力が 6MWD の影響因子として示されたことは新しい知見と考える。歩行を継続するためには、下肢の活動筋への血流や酸素供給が必要になる。それを賄うために、運動時に呼吸筋による十分な換気量の維持と、四肢の活動筋への血流や酸素供給²²⁾が必要と考えられる。

要支援においては呼気の要素、要介護においては吸気の要素が運動耐容能に関連していた。

この違いが要支援者と要介護者の差の影響であるかを分析していくことが重要であるが、今回の測定値では呼吸筋力については標準偏差が大きいことは否定できず、吸気筋力と比較して呼気筋力の標準偏差が大きいため、吸気、呼気のどちらか一方だけが運動耐容能に関連すると結論づけることはできないと考える。

II-6 研究 1 の結論

運動器の機能向上プログラムを実施している高齢者は、全身筋量、筋力、歩行速度などの瞬発的運動機能は比較的保たれていた。それにも関わらず呼吸機能、運動耐容能は著明に低下していることが明らかになった。この傾向に介護度の違いによる差異は見られなかったが、運動機能として膝伸展筋力のみ軽度要介護で要支援と比較して低い結果であった。運動耐容能の関連因子としては歩行速度の影響が大きい結果であったが、呼吸機能も影響することが示された。特に膝伸展筋力の低下を示す要介護においては、吸気筋力の影響が示された。高齢者の運動耐容能の維持には歩行能力と呼吸機能を維持することの重要性が示唆された。

第Ⅲ章 研究 2：高齢者の運動機能の違いによる運動耐容能の影響因子の差異

Ⅲ-1 目的

研究 1 において、通所リハビリテーションに通い運動器のトレーニングを行っている高齢者でも、運動耐容能と呼吸機能が低下している実態が明らかとなった。さらに、運動耐容能には筋力、歩行速度という運動器の要素に加え呼吸機能も関連することが示された。また要支援と軽度要介護という区分には膝伸展筋力以外に歩行速度などの運動能力や運動耐容能、呼吸機能にも差が見られなかった。しかし、膝伸展筋力が低下した要介護では、運動耐容能に吸気筋力の影響が示された。よって、高齢者の運動耐容能の影響因子を詳細に分析するには介護度という区分ではなく、筋力、歩行速度という運動機能のレベルによって詳細に分析を進める必要があると考えた。

近年の高齢者の区分の仕方として、フレイルの概念が用いられている。フレイルの診断基準は、Fried らによる評価基準(Cardiovascular Health Study：以下 CHS index)⁵³⁾が広く用いられ、日本では国立長寿医療研究センターが基準を示している (Japan-CHS：以下 J-CHS)⁶³⁾。両者とも運動機能に関しては握力と歩行速度が重要な指標となっており、これはサルコペニアの診断基準⁴⁹⁾と一致する。介護予防の現場でも、フレイルやサルコペニアの評価基準や各運動機能の関連性を検証した多くの先行研究から得られた知見に基づき、運動機能中心の評価と介入が実施されている。フレイルの概念を本研究に用いたのは、Fried が提唱したフレイルサイクルには運動耐容能の要素が含まれているからである。運動耐容能の低下は易疲労性が活力や歩行速度にも影響を及ぼし活動度が下がるという流れが示されている⁵³⁾。これは高齢者の介護予防策を講じる時に運動耐容能が必須の要素であることを示している。よって本研究は、J-CHS の診断基準を用いた運動機能の違いによる高齢者の身体機能の特徴を明らかにし、さらにフレイルサイクルを進行させる要素である運動耐容能に影響を及ぼす因子に違いがあるかについて明らかにすることを目的とした。

Ⅲ-2 対象と方法

研究 1 の対象で得られたデータを分析するため、対象と測定項目ならびに測定方法は研究 1 と同一である。

J-CHS 診断基準には体重減少、筋力低下、疲労感、歩行速度、身体活動の 5 項目が提唱されている⁶³⁾。これら 5 項目のうち、運動能力評価基準である握力と通常歩行速度のカットオフ値で（握力 18kg 未満，5m 歩行速度 1m/sec 未満）の 2 つに該当する場合に運動機能が低下した運動機能低下群（以下，低下群），1 つ該当もしくはどちらも該当しない場合を運動機能維持群（以下，維持群）として対象者 60 名を 2 群に振り分けた。

分析は、各測定項目について分布の正規性を検証したのち、2 群の比較には対応のない t 検定または Mann-Whitney の検定を用いた。6MWT による呼吸困難感、下肢疲労感の Borg スケールと SpO₂ の変化については、群内で 6MWT 前後の差の検定を Wilcoxon 符号付順位和検定にて行い、変化量についての群間比較は、Mann-Whitney の検定を用いて分析した。各群において 6MWD と呼吸機能、運動機能、筋量との関連性を分析するために、維持群、低下群ごとに spearman の順位相関係数を用いて分析した。相関係数の検定で有意な相関が認められた指標について、 $r > 0.4$ を中等度の相関ありの基準とした。また各群における 6MWD への影響因子を分析するため、従属変数を 6MWD、独立変数を研究 1 と同様に握力、膝伸展筋力体重比、5m 歩行速度（通常、速歩）、%VC、PEF、%PI_{max}、%PE_{max} として重回帰分析（ステップワイズ法、変数増加法）を行った。重回帰分析は、相関行列表を観察したが、 $|r| > 0.9$ となるような変数は存在しなかったため、すべての変数を対象とした。統計解析は統計ソフトウェア SPSS Statistics 22 を使用し、有意水準は 5%とした。

Ⅲ-3 倫理上の配慮

対象者にはヘルシンキ宣言に従い、本研究の目的と概要を十分に説明し、個人情報保護、研究中止の自由が記載された説明文を用いて説明し、書面にて同意を得たうえで実施した。なお、本研究に際しては、国際医療福祉大学研究倫理審査委員会の審査を受け、承認を得たのちに行った（承認番号：16-Ig-91）。

Ⅲ-4 結果

全対象者のうち、維持群は 29 名 (49%)、低下群は 31 名 (51%) であった。各群の測定結果を表 6 に示した。低下群と維持群を比較した結果、年齢、身長、体重、BMI、体内総筋量、SMI などの身体組成に有意差はみられなかった。呼吸機能で有意差がみられたのは PEF, PEmax, %PEmax, PImax, %PImax であり、低下群で有意に低値を示した。運動機能では、握力、等尺性膝伸展筋力、膝伸展筋力体重比、歩行速度、片脚立位時間、FR, 6MWD が低下群で有意に低値を示し、TUG 所要時間は有意に延長していた。また、表 7 に維持群、低下群ごとの 6MWT 前後の Borg スケールと SpO₂ の測定結果を示す。6MWT により呼吸困難感 Borg スケールと下肢疲労感 Borg スケールは有意に増加するが、SpO₂ に変化はみられなかった。

次に、各群の 6MWD と独立変数との相関係数を表 8 に示した。維持群では 6MWD と BMI ($r=-0.45$)、歩行速度 (通常) ($r=0.52$)、歩行速度 (速歩) ($r=0.52$)、開眼片脚立位 ($r=0.42$)、TUG ($r=-0.57$)、CS-30 ($r=0.55$) が有意な相関を示した。低下群では 6MWD と VC ($r=0.60$)、%VC ($r=0.53$)、FVC ($r=0.45$)、%FVC ($r=0.40$)、FEV_{1.0} ($r=0.49$)、PEF ($r=0.41$)、歩行速度 (速歩) ($r=0.67$)、TUG ($r=-0.68$) が有意な相関を示した。

群ごとの重回帰分析の結果を表 9 に示した。6MWD に有意に関連する独立変数は、維持群では歩行速度 ($\beta=0.53$) のみであった ($p<0.05$, 自由度調整済み $R^2=0.25$)。低下群では歩行速度 ($\beta=0.59$) と %VC ($\beta=0.33$) であった ($p<0.01$, 自由度調整済み $R^2=0.57$)。

表 6 運動機能維持群と低下群の比較

	維持群(n=29)	低下群(n=31)	
年齢	84.4 ± 6.9	87.0 ± 3.8	
身体組成			
身長(cm)	146.1 ± 6.6	144.1 ± 6.1	
体重(kg)	49.5 ± 10.5	46.9 ± 8.5	
BMI (kg/m ²)	23.1 ± 4.4	22.6 ± 4.0	
下肢総筋量 (kg)	7.24 ± 1.24	6.90 ± 1.58	
体内総筋量 (kg)	15.0 ± 2.5	14.1 ± 2.5	
体内総筋率 (%)	30.3 ± 3.7	30.6 ± 5.0	
SMI (kg/m ²)	7.01 ± 1.12	6.81 ± 1.24	
呼吸機能			
VC (L)	1.55 ± 0.41	1.39 ± 0.36	
%VC (%)	78.9 ± 18.4	74.7 ± 16.7	
FVC (L)	1.50 ± 0.40	1.39 ± 0.36	
%FVC (%)	83.1 ± 20.1	78.3 ± 13.9	
FEV1.0 (L)	1.27 ± 0.36	1.05 ± 0.18	
FEV1.0% (%)	76.0 ± 8.8	75.1 ± 9.6	
PEF (L/sec)	2.86 ± 1.29	2.11 ± 1.04	**
PEmax (cmH ₂ O)	39.4 ± 15.2	29.5 ± 18.7	**
%PEmax (%)	70.6 ± 29.1	57.7 ± 34.9	**
PImax (cmH ₂ O)	22.1 ± 13.5	13.5 ± 9.0	**
%PImax (%)	56.9 ± 31.1	41.2 ± 19.8	**
運動機能			
握力 (kg)	18.2 ± 2.9	13.9 ± 2.8	**
等尺性膝伸展筋力 (kgf)	24.8 ± 8.9	17.9 ± 7.0	**
膝伸展筋力体重比 (kgf/kg)	0.52 ± 0.20	0.39 ± 0.15	**
5m歩行速度 通常 (m/sec)	1.01 ± 0.25	0.80 ± 0.11	**
速歩 (m/sec)	1.27 ± 0.36	1.05 ± 0.18	**
開眼片脚立位 (sec)	20.0 ± 23.9	6.5 ± 4.8	**
TUG(sec)	12.2 ± 3.9	16.1 ± 4.5	**
FR (cm)	20.2 ± 8.0	15.4 ± 5.6	**
CS-30 (回)	14.8 ± 6.2	12.0 ± 4.4	
6MWD (m)	311.3 ± 87.6	260.3 ± 72.0	**
呼吸困難感Borgスケール変化量	3.31 ± 2.25	3.48 ± 2.41	
下肢疲労感Borgスケール変化量	2.62 ± 2.19	1.81 ± 1.74	
SpO ₂ 変化量	0.00 ± 1.75	0.16 ± 2.65	

平均値 ± 標準偏差.

対応のないt検定もしくはMann-Whitneyの検定、要支援との比較 *:p<0.05, **:p<0.01

略称は表1と同様.

表 7 6MWT 前後の Borg スケールと SpO₂ の結果

	維持群(n=29)			低下群(n=31)		
	6MWT前	6MWT後		6MWT前	6MWT後	
呼吸困難感Borgスケール	10.21 ± 1.52	13.51 ± 2.01	**	10.29 ± 1.53	13.77 ± 1.84	**
下肢疲労感Borgスケール	10.79 ± 1.88	13.41 ± 2.46	**	11.06 ± 2.14	12.87 ± 2.19	**
SpO ₂	96.75 ± 0.80	96.75 ± 1.96		97.00 ± 1.49	96.83 ± 2.28	

平均値±標準偏差.

Wilcoxon符号付順位和検定, 6MWT前との比較 **: p<0.01

略称は表1と同様.

表 8 6MWD と各機能の相関係数

	維持群	低下群
年齢	-0.06	0.02
身体組成		
身長	0.07	0.22
体重	-0.39*	-0.01
BMI	-0.45*	-0.14
体内総筋量	-0.19	0.14
SMI	-0.29	0.12
呼吸機能		
VC	-0.07	0.60**
%VC	-0.21	0.53**
FVC	0.05	0.45*
%FVC	-0.06	0.40*
FEV1.0	0.00	0.49**
FEV1.0%	-0.02	0.11
PEF	0.20	0.41*
PEmax	0.15	0.23
%PEmax	0.21	0.21
PImax	0.13	0.24
%PImax	0.19	0.24
運動機能		
握力	-0.11	0.14
等尺性膝伸展筋力	0.07	0.28
等尺性膝伸展筋力体重比	0.26	0.29
5m歩行速度（通常）	0.52*	0.20
5m歩行速度（速歩）	0.52**	0.67**
開眼片脚立位	0.42*	0.06
TUG	-0.57**	-0.68**
FR	0.24	0.33
CS-30	0.55**	0.40
6MWTによる変化量		
呼吸困難感Borgスケール	-0.09	-0.10
下肢疲労感Borgスケール	-0.08	0.26
SpO ₂	0.04	-0.12

略称は表1と同様. * : p<0.05, ** : p<0.01

表 9 6MWD を従属変数とした重回帰分析の結果

維持群

	偏回帰係数	標準偏回帰係数	有意確率	B の 95.0% 信頼区間		偏相関係数	VIF
				下限	上限		
定数	147.45		0.03	19.74	275.16		
5m 歩行速度 (速歩)	135.16	0.53	0.01	35.04	235.29	0.53	1.00
自由度調整済み R2乗=0.25							

低下群

	偏回帰係数	標準偏回帰係数	有意確率	B の 95.0% 信頼区間		偏相関係数	VIF
				下限	上限		
定数	-41.74		0.48	-161.44	77.97		
5m 歩行速度 (速歩)	195.32	0.59	0.00	89.77	300.88	0.65	1.18
%VC	1.33	0.33	0.04	0.04	2.61	0.43	1.18
自由度調整済み R2乗=0.57							

III-5 考察

研究 2 では、フレイルの診断基準の運動項目をもとに対象者を運動機能維持群と低下群に分類し、それぞれの呼吸機能を含む身体機能の特徴と差を明らかにするため比較検討した。さらに、運動機能の違いによって運動耐容能に影響を及ぼす因子に差が生じるかを明らかにするため重回帰分析にて影響因子の検討を行った。

1. 低下群と維持群の身体機能の差異について

低下群と維持群の各測定項目を比較した結果、BMI、筋量、SMI などの身体組成に有意差はみられなかった。呼吸機能では、VC、FVC、%VC、%FVC、FEV_{1.0%}に有意差はみられなかったが、PEF、PEmax、%PEmax、PImax、%PImax は低下群で有意に低値を示した。運動機能は、握力、歩行速度、膝伸展筋力、片脚立位時間、TUG 所要時間、FR、6MWD は低下群で有意に低い結果であった。

本研究では運動機能の低下群と維持群の群わけに握力と歩行速度を用いて分析したが、これらの結果が示すことは、歩行速度と握力は高齢者の運動機能、呼吸機能を反映する良い指標となり得ることである。先行研究では、握力は下肢筋力や体幹筋力、開眼片脚立位、TUG と相関を示すことや、全身的な筋量、筋力を反映すること⁵⁵⁾、下肢筋力は CS-30、歩行速度、6MWD と相関を示すこと⁵⁹⁾が報告されている。今回、握力と歩行速度が低下した高齢者において他の運動機能も併せて低下していたことは、従来報告されているような関連性に一致する結果といえる。これは、高齢者の筋力や歩行速度を維持することがその他の運動機能の維持につながることを示され、従来行われている運動器に対するアプローチの重要性が確認できたと考える。

一方で、低下群と維持群において筋力に差が生じているにもかかわらず両群の間で筋量に有意差を認めていない。これは研究 1 の考察で述べたように低下群の筋では筋において脂肪浸潤などの質的变化が起こり筋機能の低下が惹起されていたことが推察できる。

次に呼吸機能では、低下群の VC、FVC、%VC、%FVC、FEV_{1.0%}は、維持群と比較して有意差はみられなかったが、呼吸筋力は有意に低値を示した。これは、骨格筋の筋力や歩行速度などの運動機能が落ちていく過程において、呼吸筋力も低下していくことを示唆している。その理由の一つに呼吸補助筋の作用が影響していることが考えられる。呼吸補助筋である腹筋などの体幹筋が腹圧を高め体幹の支持性を向上させることで運動パフォーマンスを向上させていると考えるが、この呼吸補助筋の機能が低下することで、呼吸筋力が低下し、さらに運動機能の低下をもたらしたと考える。また、呼吸筋は運動時に換気の動力源として効率よく働き続ける必要があり、十分な余力を持つことは呼吸補助筋によるエネルギー消費を抑え持久性を高める。この持久性、つまり疲労が生じない、息切れが認められない、ということは日常的に活動性を維持し、いわゆる廃用による機能低下を起こすことなく他の運動機能を維持させていると考える。運動機能と呼吸機能のどちらが先に低下していくかは本研究では明らかにされないが、呼吸機能の低下による運動機能の低下の影響は大きいと考えられる。

2. 運動機能の違いによる運動耐容能の関連因子の差異について

維持群、低下群における 6MWD との関連性を分析するため、相関分析を行い、さらに呼吸機

能 (%VC, PEF, %PI_{max}, %PE_{max}), 運動機能 (握力, 膝伸展筋力体重比, 歩行速度 (通常, 速歩) を独立変数として重回帰分析を行った. 結果, 両群とも歩行速度 (速歩) と TUG は中等度の相関を示し, 運動機能のレベルによらず, 歩行速度が重要な因子であることが示された. 加えて, 低下群では VC, FVC, FEV_{1.0} などの呼吸機能が 6MWD に相関を示した. 重回帰分析の結果, 維持群では歩行速度のみであったが, 低下群の 6MWD 関連因子は歩行速度と VC であった. つまり, 運動機能が維持された高齢者においては, 呼吸機能は運動耐容能に影響を及ぼさないが, いわゆるプレフレイルに進行している運動機能が低下した高齢者においては, 運動耐容能を規定する因子として呼吸機能 (%VC) が選択される事が明らかとなった.

呼吸機能と運動耐容能が関連する生理学的機序として, 換気能力の観点と呼吸筋酸素摂取量と呼吸筋血流量の観点が考えられる. 換気能力の観点とは, 運動により分時換気量を増大させる能力が備わっているかどうかという点である. 吸気量の増大は, 吸気筋力と胸郭のコンプライアンスによって成し遂げられ, 吸気も呼気も流速を増す必要がある. 今回の対象者は呼吸筋力そのものが低下しており, 運動時の換気応答として一回換気量を十分に増やすことができず, その結果, 呼吸回数を相対的に増加させる必要があったと推察する. 特に運動機能低下群では, PEF と呼吸筋力の低下があったことから, 換気量を十分に増やすことができなかったと考えられる. また, 健常人では運動強度を上昇させていった時, 最大運動強度における分時換気量は最大換気量 (maximum voluntary ventilation: MVV) の 65-75%程度までしか上昇しないが, 換気の制限によってオールアウトに達するか MVV を上回ることが示されている⁶⁴⁾. さらに呼気終末の残気量も安静時より大きくなり, いわゆる COPD の動的肺過膨張と似た状態に陥り, エネルギー消費も大きく容易に呼吸筋疲労を起こすことになる. 本研究では, 呼吸回数の増加や MVV に関しては示すことはできないが, 呼吸補助筋を動員した効率の悪い換気により, 運動耐容能に影響したことが考えられる. さらに呼吸筋酸素摂取量・呼吸筋血流量と運動強度の関係における観点では, 運動強度が高まり換気量が増大すると呼吸筋の活動が増加して指数関数的に呼吸筋の酸素摂取量が増加するとされている⁶⁵⁾. さらに, 呼吸筋の酸素需要に伴い呼吸筋への血流量が増大すると四肢の活動筋血流量が減少するとの報告もみられる⁶⁶⁾. 今回のように呼吸筋力が低下した対象者では, 呼吸補助筋を含めた呼吸筋活動の増大が本来ならば下肢に再分配される血流を減らし, 下肢筋の運動継続の困難にさせたことも考えられる. 呼吸困難感や下肢疲労感の有意な増加がみられたことから, 呼吸機能が四肢などの活動筋へ影響を及ぼすことが考えられる.

今回, 呼吸筋力が 6MWD に直接影響する因子となると予測したが, 両群とも 6MWD に対する有意な独立変数として選択されなかった. 影響因子としては%VC が選択されたが, %VC と呼吸筋力の関連性については低下群で $r=0.34$ と低い相関が認められる程度であった. 先行研究においても, VC と呼吸筋力の関連性に関しては一定の見解が示されていない. 今後さらに検討していく必要があると考えるが, 高齢者において呼吸筋に十分な筋力を維持することの重要性が示唆された. 高齢者の健康増進や介護予防の現場において, 高齢者の身体, 運動機能の維持向上を目的とする際, 筋力や歩行などの運動機能にあわせて, 呼吸機能, 呼吸筋力に対する視点が必要である事が示唆された.

III-6 研究 2 の結論

運動機能低下群と維持群の比較から、フレイルやサルコペニアの診断基準となっている握力と歩行速度の成績は、高齢者のその他の運動機能を反映することが改めて確認された。また運動機能の低下と併せて呼吸筋力も低下することが示された。握力と歩行速度は運動機能だけではなく呼吸機能も反映する可能性も考えられる。

さらに、運動機能のレベルにかかわらず運動耐容能の影響因子としては歩行速度の影響が強いことが明らかになった。それに加えて運動機能が低下した高齢者においては呼吸機能（VC）が影響することが示された。運動耐容能の維持には高齢者の歩行速度と呼吸機能を維持することの重要性が示された。

第Ⅳ章 研究 3：吸気筋トレーニングの運動耐容能に対する効果検証

Ⅳ-1 目的

研究 1 より高齢者の呼吸機能、呼吸筋力、運動耐容能が低下していることを明らかにされ、運動耐容能に関連する因子として歩行速度、吸気筋力が示され、研究 2 では運動機能が低下している高齢者では、運動耐容能に影響する因子として歩行速度に加えて肺活量も重要であることが示された。これらの結果を踏まえ、研究 3 ではこれらの呼吸機能を向上させることは運動耐容能も向上させることにつながる、との仮説のもと呼吸筋トレーニングによる介入効果の検証を行った。この仮説の根拠としては、呼吸機能と運動耐容能の関連について研究 1, 2 の考察で述べてきたような生理的機序が考えられる。横隔膜を中心とした呼吸筋力の増強により、不要な呼吸補助筋の動員が軽減できエネルギー消費を抑えることが可能となること、また換気増大に対する予備力を蓄えることで呼吸困難感の発生を遅らせることができること、呼吸筋活動を減らすことで下肢筋に分配される血流を担保できると考えた。

呼吸機能を向上させる方法として呼吸筋力に対する介入が挙げられる。近年、呼吸筋トレーニングは、新しい機器の開発やトレーニング方法の改善が行なわれた結果、COPD や心不全などの有疾患患者における有用性に関する成績が多く報告され、エビデンスレベルが高くなっている⁶⁷⁾。呼吸筋は呼気筋と吸気筋に分けられ、呼気筋トレーニング (Expiratory Muscle Training : 以下 EMT) に関しては、疾患に関わらず誤嚥時の異物排出能力や排痰能力に直結する咳嗽力との関係で論じられ、呼気筋力の向上は直接的に呼気流速を高め、咳嗽力を高めることにつながることは一定の見解が示されているといっている⁶⁸⁾。吸気筋トレーニング (Inspiratory Muscle Training : 以下 IMT) に関しては、COPD を対象とした報告が多く、2011 年に報告されたメタアナリシスの結果、吸気筋力の向上は最大吸気圧、呼吸筋耐久力、運動耐容能、ボルグスケール、呼吸困難、健康関連 QOL を有意に改善するとの報告されている³⁰⁾。しかし、心肺系に疾患を持たない高齢者に対して運動耐容能との関連で IMT の効果を検証した報告は少なく、その報告も必ずしも一致していない。高齢者においても有疾患患者と同様に、呼吸に焦点を当てた介入が運動耐容能を向上させる可能性があるかと推察できる。

そこで研究 3 の目的は、高齢者の呼吸筋への介入により運動耐容能が改善する可能性を示すことである。IMT の介入効果を、直接的な呼吸機能の変化だけではなく運動耐容能に対する効果まで明らかにすることとした。

IV-2 対象と方法

1. 対象

対象は通所リハビリテーションに通う要支援の認定を受けた高齢女性 21 名（平均年齢 85.4 ± 4.3 歳，平均身長 146.7 ± 7.2 cm，平均体重 52.1 ± 8.3 kg，平均 BMI 24.3 ± 4.0 kg/m²）とした。対象の選定条件として，歩行補助具の有無にかかわらず歩行が自立し，すべての測定が可能な者，自宅での呼吸筋トレーニングを実施可能な者とした。また，COPD，気管支喘息，呼吸不全，肺結核，肺癌，1 か月以内の呼吸器感染症などの呼吸器疾患を有する者，歩行に支障をきたすような重度な整形外科的疾患は除外した。

2. 方法

1) 介入方法

IMT の方法は吸気負荷装置（POWERbreathe: HaB International 社製）（図 4）を用いた。吸気回数 30 回を 1 セットとして 1 日 2 セットを毎日，負荷強度は介入前に測定した PImax の 30～40% で実施させた。POWERbreathe を対象者に貸与し，自宅トレーニングとした。実施記録を手渡し，実施状況を毎日記載してもらい実施率を確認した（図 5）。予防事業に通所する際は持参させ，施設の理学療法士にトレーニングの実施方法とあわせて実施状況の確認を行ってもらった。介入期間は 1 か月間とした。この介入期間中，従来行われていた運動器へのアプローチは変更なく継続し，それ以外の特別な運動などは追加しないように統制した。運動器へのアプローチとしては，理学療法士による個別プログラムと集団で行う体操（筋力やバランス能力にアプローチする施設のオリジナル体操）である。

2) 測定項目と測定方法

介入前後の測定は研究 1，2 と同様の測定項目，測定方法とした。

3) 分析方法

統計解析は各測定値を Shapiro-Wilk 検定にて正規性の検定を行った後，介入前後の比較を MannWhitney 検定にて分析した。6MWT による呼吸困難感，下肢疲労感の Borg スケールと SpO₂ の変化量については Mann-Whitney の検定にて分析した。また介入前，介入後のそれぞれにおける 6MWT による呼吸困難感，下肢疲労感の Borg スケールと SpO₂ は Wilcoxon 符号付順位和検定で分析した。

対象者全体の分析をしたのち，対象者の PImax の結果より，IMT 介入後に PImax が増加した群（以下 PImax 増加群）と低下した群（以下 PImax 低下群）に分類して同様の分析を行った。統計解析は統計ソフトウェア SPSS Statistics 22 を使用し，有意水準は 5% とした。

IV-3 倫理上の配慮

対象者にはヘルシンキ宣言に従い，本研究の目的と概要を十分に説明し，個人情報保護，研究中止の自由が記載された説明文を用いて説明し，書面にて同意を得たうえで実施した。なお，本研究に際しては，国際医療福祉大学研究倫理審査委員会の審査を受け，承認を得たのちに行った（承認番号：17-Ig-126）。



図 4 Threshold 型 POWERbreathe

呼吸筋トレーニング 実施記録用紙														お名前 _____ 様							
トレーニングを実施したら○を付けてください。忘れたときやできなかったときは×をつけてください。																					
1 週 目	月	日	(月)	月	日	(火)	月	日	(水)	月	日	(木)	月	日	(金)	月	日	(土)	月	日	(日)
	1回目	2回目		1回目	2回目		1回目	2回目		1回目	2回目		1回目	2回目		1回目	2回目		1回目	2回目	
2 週 目	月	日	(月)	月	日	(火)	月	日	(水)	月	日	(木)	月	日	(金)	月	日	(土)	月	日	(日)
	1回目	2回目		1回目	2回目		1回目	2回目		1回目	2回目		1回目	2回目		1回目	2回目		1回目	2回目	
3 週 目	月	日	(月)	月	日	(火)	月	日	(水)	月	日	(木)	月	日	(金)	月	日	(土)	月	日	(日)
	1回目	2回目		1回目	2回目		1回目	2回目		1回目	2回目		1回目	2回目		1回目	2回目		1回目	2回目	
4 週 目	月	日	(月)	月	日	(火)	月	日	(水)	月	日	(木)	月	日	(金)	月	日	(土)	月	日	(日)
	1回目	2回目		1回目	2回目		1回目	2回目		1回目	2回目		1回目	2回目		1回目	2回目		1回目	2回目	
5 週 目	月	日	(月)	月	日	(火)	月	日	(水)	月	日	(木)	月	日	(金)	月	日	(土)	月	日	(日)
	1回目	2回目		1回目	2回目		1回目	2回目		1回目	2回目		1回目	2回目		1回目	2回目		1回目	2回目	
<p>※トレーニング方法※</p> <ul style="list-style-type: none"> ・パワーブリーズのメモリは_____です。 ・お口にくわえて、強く早く息を吸います。息を吐くときはくわえたままゆっくりはいてください。これを30回繰り返します。 ・1日2度実施してください。どのタイミングでもよいですが、続けて実施すると疲れますので、朝と晩などがよいでしょう。 ・4週間実施してください。 ・体調がすぐれないときは無理をせず、実施しなくても大丈夫です。 																					

図 5 実施記録用紙

IV-4 結果

21名のうち3名が途中で脱落した。脱落理由は、IMTが直接的な原因ではない体調不良が2名、義歯の不具合が1名であった。

介入を完遂した18名の介入前後の測定結果を表10に示す。介入前後の比較において、有意差を示す項目はなかった。しかし呼吸筋力の結果を見ると標準偏差が大きくばらつきが影響していると考えられたため、対象者の吸気筋力の値が介入前より増加した PImax 増加群と、低下した PImax 低下群に分類し分析を進めた。

PImax 増加群は11名、PImax 低下群は7名であった。各群における介入前後の測定結果を表11に示す。また、個別のケースと全体の傾向を把握するため、表12に PImax 低下群、表13に PImax 増加群の対象者の測定値をすべて示した。また表14には介入前後における6MWT前後のBorgスケール、SpO₂の結果を示した。

PImax 増加群ではIMT介入によりPImaxは有意に増加し、それに併せて6MWDの有意な増加がみられた。個別の変化でもPImaxが増加したすべての対象者で6MWDは増加する結果となった。一方で、介入前後とも呼吸困難感の指標である呼吸Borgスケールは6MWTによって有意に増加するが、その増加量は介入前後で有意差が見られなかった。PImaxが介入前の50%近く増加した対象者が2例存在したが、6MWDや呼吸困難感に影響を及ぼしている傾向はみられなかった。

PImax 低下群ではIMT介入によりPImaxが有意な低下を示す結果となった。それに併せてPEmaxと膝伸展筋力も有意な低下を示した。6MWDには有意差は見られなかった。介入前後ともに呼吸Borgは6MWT後に有意に増加するが、その増加量は介入前後で有意差が見られなかった。個別にみると6MWDが増加した対象者が2名存在した。低下した対象者においても呼吸Borgの値は変化しない結果であった。

表 10 全対象者の介入前後の測定結果

	介入前	介入後
年齢	85.4±4.3	
身体組成		
身長(cm)	146.7±7.2	
体重(kg)	52.1±8.3	51.3±7.7
BMI (kg/m ²)	24.3±4.0	23.9±3.7
呼吸機能		
VC (L)	1.8±0.4	1.9±0.4
%VC (%)	90.9±16.3	92.1±16.7
FEV1.0 (L)	1.3±0.3	1.4±0.4
FEV1.0% (%)	78.2±7.7	79.8±6.9
PEmax (cmH ₂ O)	58.5±18.5	57.5±21.0
%PEmax (%)	97.3±35.1	95.1±35.1
PImax (cmH ₂ O)	39.9±11.0	41.7±16.5
%PImax (%)	96.1±27.4	100.5±40.1
運動機能		
握力 (kg)	18.5±6.5	18.9±6.8
等尺性膝伸展筋力 (kgf)	24.6±10.0	22.5±10.1
膝伸展筋力体重比 (kgf/kg)	0.5±0.2	0.4±0.2
5m歩行時間 通常 (sec)	5.5±1.6	6.1±2.1
速歩 (sec)	4.4±1.5	4.8±1.5
開眼片脚立位 (sec)	11.7±11.1	9.1±9.7
TUG (sec)	13.5±6.1	12.6±4.6
FR (cm)	20.8±6.3	20.7±7.0
CS-30 (回)	12.6±4.8	12.3±4.9
6MWD (m)	279.2±63.3	293.3±85.3
呼吸困難感Borgスケール変化量	2.58 ± 1.17	2.74 ± 1.78
下肢疲労感Borgスケール変化量	1.67 ± 1.14	2.52 ± 1.92
SpO ₂ 変化量	0.17 ± 1.15	0.38 ± 1.54

n=18

平均値±標準偏差.

略称は表1と同様.

表 11 PImax 増加群, 低下群における介入前後の測定結果

	PImax低下群 (n=7)		PImax増加群 (n=11)	
	介入前	介入後	介入前	介入後
年齢	82.7±3.7		88.0±3.3	
身体組成				
身長(cm)	145.0±6.1		148.4±8.3	
体重(kg)	52.6±5.3	51.9±4.3	51.6±11	50.6±10.5
BMI (kg/m ²)	25.2±3.9	24.8±3.4	23.4±4.2	23.0±4.1
呼吸機能				
VC (L)	1.7±0.4	1.8±0.4	2.0±0.5	2.0±0.5
%VC (%)	89.5±20.9	90.6±22.6	92.2±11.7	93.7±9.6
FEV1.0 (L)	1.2±0.3	1.3±0.3	1.4±0.4	1.4±0.4
FEV1.0% (%)	78.9±9	80.0±6.4	77.5±6.7	79.6±7.8
PEmax (cmH ₂ O)	49.9±17.7	44.7±16.8 *	67.1±16.1	70.3±17.0
%PEmax (%)	85.2±25.4	77.1±26.3	109.5±40.9	113.1±34.8
PImax (cmH ₂ O)	39.0±13.2	34.3±13.7 *	40.9±9.4	49.1±16.5 *
%PImax (%)	96.5±33.8	86±36.7 *	95.7±22.0	115.0±40.6 *
運動機能				
握力 (kg)	17.2±5.7	17.1±5.2	19.8±7.4	20.6±8.0
等尺性膝伸展筋力 (kgf)	23.2±9.5	19.8±9.2 *	26.0±11.0	25.6±11.1
膝伸展筋力体重比 (kgf/kg)	0.4±0.2	0.4±0.2	0.5±0.2	0.5±0.2
5m歩行時間 通常 (sec)	5.7±1.9	6.7±2.8	5.4±1.2	5.5±1.3
速歩 (sec)	4.5±1.8	5.3±1.8	4.3±1.2	4.4±1.1
開眼片脚立位 (sec)	16.1±13.5	11.6±12.4	7.2±6.1	7.0±6.9
TUG(sec)	14.9±7.5	12.7±4.8	12.1±4.6	12.5±4.8
FR (cm)	20.7±6.1	16.4±4.8	20.9±7.0	25.8±5.7
CS-30 (回)	12.9±6.0	13.1±5.2	12.3±3.8	11.3±4.8
6MWD (m)	297.4±73.6	296.2±100.5	261.0±49.9	290.5±75.2 *
呼吸困難感Borgスケール変化量	2.71 ± 1.11	3.00 ± 1.83	2.49±1.25	2.39±1.30
下肢疲労感Borgスケール変化量	1.71 ± 1.25	3.71 ± 2.14 *	1.65±1.13	1.77±1.38
SpO ₂ 変化量	0.57 ± 0.53	0.71 ± 1.49	-0.09±1.38	0.18±1.60

平均値±標準偏差.

Mann-Whitneyの検定、前後比較 *:p<0.05, **:p<0.01

略称は表1と同様.

表13 P1max増加群 対象者ごとの測定結果

ID	年齢	身体組成						呼吸機能														
		身長 (cm)		体重 (kg)		BMI (kg/m ²)		VC (L)		%VC (%)		FEV1.0 (L)		FEV1.0% (%)		P1max (cmH ₂ O)		%P1max (%)				
		前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後			
1	90	1390	44.2	45.8	22.9	23.7	1.69	1.70	95.8	96.2	1.44	1.27	88.9	84.1	79.9	79.1	162.3	160.3	360	37.1	107.0	109.7
2	84	1594	68.8	67.1	27.1	26.4	2.36	2.58	81.2	88.9	1.43	1.60	74.5	73.1	65.7	80.2	60.6	75.4	44.2	65.6	65.9	99.2
3	83	1484	41.6	40.9	19.1	18.8	1.63	1.49	83.4	75.3	1.11	1.09	79.9	80.7	35.2	43.5	67.1	83.2	48.7	48.7	96.2	101.9
4	86	1404	36.3	36.5	18.4	18.5	1.27	1.48	69.1	80.3	1.07	1.04	78.1	73.8	31.7	26.9	68.7	58.1	32.6	36.4	52.3	70.3
5	88	1395	51.6	50.6	23.4	23.0	1.96	1.99	92.2	93.7	1.36	1.42	77.5	79.6	67.1	70.3	109.5	113.1	40.9	49.1	95.7	115.0
6	89	1430	53.4	53.1	26.1	26.0	1.96	2.20	92.2	93.7	1.36	1.42	77.5	79.6	67.1	70.3	109.5	113.1	37.9	28.0	86.3	78.2
7	93	1430	57.6	55.9	28.2	27.3	1.86	1.99	105.2	112.5	1.30	1.27	76.5	91.4	95.8	93.1	165.5	163.0	46.1	71.9	128.4	201.4
8	89	1494	42.2	41.7	18.9	18.7	1.38	1.56	72.0	81.7	0.89	1.14	82.4	78.1	55.4	54.9	105.1	104.6	41.2	45.9	106.1	118.6
9	89	1427	54.8	54.1	26.9	26.6	1.69	1.63	92.4	89.2	1.03	1.04	67.8	70.3	59.2	60.5	103.9	107.1	37.2	38.6	100.3	104.3
10	87	1450	37	35.4	17.6	16.8	1.87	1.74	99.4	92.5	1.34	1.30	78.4	73.9	47.9	45.1	99.2	95.1	25.6	26.7	69.4	72.7
11	84	1600	56.7	54.4	22.1	21.3	2.90	2.76	99.5	94.7	2.09	2.32	73.9	86.2	65.6	78.9	69.7	86.4	55.8	58.2	93.0	99.2

ID	握力 (kg)		等尺性膝伸筋力 (kgf)				膝伸筋力/体重比 (kgf/kg)				5m歩行時間 通常 (sec)		5m歩行時間 速歩 (sec)		閉眼片脚立位 (sec)		TUG (sec)		FR (cm)		CS-30 (回)		6MWD (m)		呼吸困難Borg スケール変化量		下肢疲労Borg スケール変化量		SpO ₂ 変化量	
	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後
1	17.9	18.2	37.5	34.9	0.85	0.76	3.7	4.1	2.5	3.2	3.8	3.1	7.8	8.4	24.2	28.6	11	8	216.0	254.2	2	2	2	2	2	2	-1	-1		
2	30.3	31.8	40.7	34.5	0.59	0.51	3.6	3.7	2.7	2.7	7.9	4.4	8.3	8.0	25.5	25.5	18	18	338.5	408.7	4	2	2	2	0	0	0	0		
3	12.0	12.0	12.7	12.4	0.31	0.3	8.1	12.3	7.7	9.1	2.8	2.4	23.3	26.1	23.7	25.8	8	9	208.1	291.9	2	2	1	1	0	2				
4	16.4	15.2	16.8	16.1	0.46	0.44	4.8	4.5	4.6	4.0	12.9	7.3	11.5	10.6	16.3	23.3	9	12	319.0	294.5	3	4	2	3	1	1				
5	17.2	20.6	26.0	25.6	0.51	0.48	5.4	5.5	4.3	4.4	7.2	7.0	12.1	12.5	20.9	25.8	12	13	261.0	291.9	4	3	2	3	1	1				
6	20.0	20.6	25.8	26.4	0.48	0.50	5.4	5.0	4.3	4.5	7.2	7.9	12.3	10.4	21.1	25.8	17	16	281.8	239.0	2	2	2	3	1	-4				
7	14.2	16.2	15.0	18.9	0.26	0.34	6.0	6.6	4.1	4.5	3.0	3.1	12.6	13.8	27.5	25.5	13	11	249.5	259.0	2	0	2	0	-1	1				
8	14.0	13.0	12.4	12.5	0.29	0.30	5.4	4.8	4.9	4.0	10.8	6.4	7.5	8.0	27.3	23.5	8	6	325.0	388.5	2	4	2	0	2	0				
9	16.3	17.1	21.1	15.8	0.39	0.29	6.4	7.0	5.5	5.4	4.0	7.8	12.4	12.5	18.4	35.6	8	8	233.0	260.0	0	1	0	2	-3	1				
10	15.3	15.5	22.6	22.6	0.61	0.61	6.2	6.8	5.4	5.3	1.8	2.3	19.4	20.7	11.1	19.7	12	12	221.2	240.5	2	2	0	4	0	1				
11	30.7	32.5	32.5	37.2	0.57	0.68	6.3	5.7	5.0	5.5	19.0	22.0	16.7	16.3	12.0	21.7	16	16	244.0	252.3	4	4	4	2	-1	0				

略称は表1と同様。
前:介入前 後:介入後

表 14 各群における介入前後の Borg スケール, SpO₂ の結果

対象者全体						
	介入前			介入後		
	6MWT前	6MWT後		6MWT前	6MWT後	
呼吸困難感	10.08 ± 1.21	12.66 ± 0.75	**	10.17 ± 1.62	12.90 ± 1.48	**
下肢疲労感	11.48 ± 1.22	13.04 ± 1.55	**	11.50 ± 1.89	14.02 ± 1.48	**
SpO ₂	97.44 ± 1.20	97.61 ± 1.38		96.78 ± 0.94	97.17 ± 1.29	

PImax低下群						
	介入前			介入後		
	6MWT前	6MWT後		6MWT前	6MWT後	
呼吸困難感	9.86 ± 1.57	12.57 ± 0.98	**	11.00 ± 1.15	12.43 ± 1.13	**
下肢疲労感	10.14 ± 2.54	13.14 ± 1.35	**	10.29 ± 2.36	14.00 ± 1.53	**
SpO ₂	96.14 ± 0.90	97.71 ± 1.11		96.57 ± 0.53	97.29 ± 1.11	

PImax増加群						
	介入前			介入後		
	6MWT前	6MWT後		6MWT前	6MWT後	
呼吸困難感	10.22 ± 0.97	12.71 ± 0.61	**	10.09 ± 1.04	12.48 ± 1.36	**
下肢疲労感	11.78 ± 1.26	13.43 ± 1.70	**	12.27 ± 1.01	14.04 ± 1.52	**
SpO ₂	97.64 ± 1.36	97.55 ± 1.57		96.91 ± 1.14	97.09 ± 1.45	

平均値±標準偏差.

Wilcoxon符号付順位和検定, 6MWT前との比較 **: p<0.01

略称は表1と同様.

IV-5 考察

研究 1, 2 より高齢者の運動耐容能に関連する因子には歩行速度や膝伸展筋力以外にも呼吸筋力、肺活量などの呼吸機能が影響因子であることが示された。その結果から、呼吸機能を向上させることは運動耐容能も向上させることにつながるとの仮説のもと、研究 3 では呼吸筋トレーニングによる介入効果の検証を行った。

呼吸機能を向上させる方法として IMT を選択した理由は、呼吸リハビリテーションのガイドライン³⁸⁾で IMT は呼吸リハビリテーションの中で検討すべき項目の一つと示されていること、COPD において運動耐容能の向上に有効であるとのエビデンスが構築されていることから³¹⁾、今回の対象者の呼吸機能を向上させるために有効であると考えたためである。また、解良らが示すように、肺活量は性別、体格、年齢との関係が強いが、それ以外に胸郭の硬さや呼吸筋力に影響を受け、胸郭がより柔軟で、呼吸筋力がより強力であれば肺・胸郭の拡張・縮小の程度が増すため、肺活量は増加することが明らかにされている⁶⁹⁾。さらにこれが該当するケースは呼吸筋が弱い場合である⁶⁹⁾と示されていることから、今回の対象者に適応すると考え IMT を選択した。また、GOLD のガイドライン³¹⁾では一般的な運動療法と併用することで有用であると示されているため、従来行われていた運動器へのアプローチに IMT を追加するという介入方法に決定した。

4 週間にわたる IMT 介入の結果、対象者全体では呼吸機能、運動機能のどの項目にも有意な変化は認められない結果であった。しかし呼吸筋力の結果を見ると標準偏差が大きくばらつきが影響していることが考えられたため、研究 3 の目的である呼吸機能の向上が運動耐容能に影響を及ぼすかを検証するため、IMT によって吸気筋力が介入前より増加した PImax 増加群と、低下した PImax 低下群に分けて検討を行った。以下、それぞれの結果について考察する。

1. 対象者全体の結果に対する考察

対象者全体では呼吸機能、運動機能のどの項目にも有意な変化は認められない結果であった。IMT では吸気筋に対して直接アプローチをしたことになるが、PImax や他の呼吸機能に直接的な効果を認めなかった。今回の IMT の方法は、①現在、COPD における吸気筋トレーニング様式は、負荷圧は 30% PImax 以上で 1 回 15 分を 1 日 2 回実施することが呼吸リハビリテーションマニュアルに明記されている³⁸⁾。②近年の報告では持続時間ではなく実施回数に重点をおいた方法が考案され、1 回の実施を 30 回とするトレーニング方式で最大吸気圧の増加が報告された⁷⁰⁾。③呼吸筋トレーニングを 1 回 15 分 1 日 2 回という時間指定から、1 回での吸入回数 30 回を 1 日 2 回という回数指定に変更することで、そのアドヒアランスの改善も期待される⁷¹⁾、というエビデンスに基づいて採択した。つまり、効果と継続性の両者を勘案して、吸気回数 30 回を 1 セットとして 1 日 2 セットを毎日、負荷強度は介入前に測定した PImax の 30~40% で実施させた。また自宅でのトレーニングとなるため実施方法を担保するため、最初にトレーニング方法の指導を行い、介護予防デイケアに通所する際には施設の理学療法士による実施方法の確認を行った。さらに脱落を予防するため、実施記録に実施状況を記載して実施率を確認した。よって、最後まで完遂した対象者はほぼ 100% の実施率であった。しかし、対象者全体で IMT による呼吸機能への直接的な効果が認められなかった。さらに PImax が低下した対象者も 40% 近く存在した。この原因の一つとして、自宅でのトレーニングに限界があることは否定できない。実施方法の確認は重ねた

が、高齢者が生活の中で行うトレーニングがどの程度確実にできていたかは不明である。これについてはさらなる工夫が必要と考える。また、介入期間が短かったことも原因の一つと考えられる。COPD では 4 週間の IMT 期間により呼吸筋力、呼吸筋持久力が増大することが示されているが呼吸困難感や ADL 能力は改善しなかったと報告されている⁷³⁾。対して 12 か月や 15 か月の長期間にわたるトレーニングで 6MWD が延長し呼吸困難感が軽減するとの報告がみられる⁷³⁾。今回の対象は呼吸器疾患ではないため COPD の期間を当てはめることは適切ではないが、4 週間ではトレーニング効果が出現するには十分ではなかったことも考えられるため、今後は期間の検討も必要である。

2. PImax 増加群の結果に対する考察

PImax 増加群では IMT により PImax は有意に増加し、それに併せて 6MWD が有意に増加した。個別の変化でも PImax が増加したすべての対象者で 6MWD は増加する結果となった。6MWT という運動負荷により呼吸困難感の指標である呼吸 Borg スケールは「ややきつい」レベルまで増加するが、その増加量に関しては、長い距離を歩行した介入後であっても介入前と比較して有意な増加を示さなかった。つまり、息切れ感や疲労感が増加することなく長い距離を歩けるようになったことを示しており、吸気筋力が増加すると運動耐容能も増加する可能性が示唆された。この生理学的な機序は、研究 1, 2 で考察してきたように、運動時の換気量の増大と、呼吸筋の酸素摂取量、血流量の観点から説明できると考える。さらに、増強された吸気筋は運動中の胸腔内圧の減少を助長し、それに伴う静脈還流量の増大によって一回拍出量を増加させるためには心拍数を減じたものと考えられる。つまり、運動時の循環反応にも好影響を及ぼし運動耐容能の増加につながったと考える。また、一般に骨格筋の耐久力は筋線維の種類・特性や、筋血流量など多くの因子に影響されることが報告されている⁷⁴⁾。高齢者の呼吸筋耐久力の検討は少ないが、いくつかの報告において、筋線維の加齢変化で生じる呼吸筋力の減少が呼吸筋耐久力の低下に関与する可能性が報告されている⁷⁵⁻⁷⁹⁾。本研究では呼吸筋耐久力に関する検討は行っておらずその影響は不明であるが、IMT により胸郭コンプライアンスにも好影響を及ぼしたと推察され、吸気筋力が向上した結果とあわせると、それらが呼吸筋耐久性を向上させたことも考えられる。

3. PImax 低下群の結果に対する考察

PImax 低下群では IMT により PImax, PEmax が有意に低下した。IMT により呼吸筋にネガティブな効果が出現した原因は、4 週間にわたる毎日のトレーニングにより呼吸筋疲労が生じ、その蓄積により過用性筋力低下 (overwork weakness) を起こしたことが考えられる。四肢の骨格筋が高強度の負荷により疲労を起こすことと同様に呼吸筋も最大収縮能に対して強い負荷がかかると収縮能が減少していく⁸⁰⁾。これは一般に筋力低下が著しい筋ほど起こりやすいといわれ、加えられた運動負荷に対する過度の機能亢進のため、代謝負担に耐えられず筋損傷が生じるとされる⁸⁰⁾。本研究では COPD におけるエビデンスを基に、対象者ごとに測定した PImax の 40% という負荷強度を設定した。この負荷では筋疲労を生じさせるものではないが、結果から対象者の身体特性によっては筋疲労を起こす可能性が考えられた。また、もう一つの視点として、膝伸展筋力の有意な低下があったことから、呼吸筋トレーニングの要因ではなく活動性の低下などが要

因となり、呼吸筋も膝伸展筋力も低下させたことも考えられる。しかし、本研究ではこれらを明らかにすることはできず推論の域を脱しないことから、今後の課題と考える。負荷強度の観点では、呼吸筋も他の骨格筋のレジスタンストレーニングと同様に適切な運動負荷量を加えることが重要であるため、今後は廃用も過用も予防できる適切な負荷強度の設定が重要と考える。

また、研究 1, 2 において 6MWD の影響因子が呼吸筋力と膝伸展筋力、歩行速度であったことを踏まえると、今回の結果である呼吸筋力と膝伸展筋力の低下は 6MWD を減少させると予測した。しかし結果では 6MWD に有意な減少はみられず、呼吸困難 Borg スケールの変化量も有意な増加を示さなかった。一方で下肢疲労感 Borg スケールの変化量は増加した。仮説では呼吸筋力の低下が歩行時の換気を不利にし、膝伸展筋力の低下は骨格筋代謝に影響を及ぼし歩行時の筋疲労を発生させ運動耐容能に影響を及ぼすと考えた。下肢疲労感の結果はこの仮説を裏付ける結果であったが、運動耐容能に影響を与えるという結論までは至っていない。これに関しては、6MWD の標準偏差が大きいことや対象者ごとの 6MWD の変動が増加、減少ともにみられることから、対象者数が少ない本研究においては結論を出すことは困難と考える。

IV-5 研究 3 の結論

本研究では、1 ヶ月の IMT 介入の効果は認められない結果であった。介入期間や負荷強度の設定、ホームエクササイズの方法などに関してさらに詳細な検討が必要であることが示された。しかし、介入により吸気筋力が増加した対象者においては、息切れ感や疲労感が増加することなく長い距離を歩くことが可能となった。この結果は、吸気筋力が増加することで運動時に余力を持った換気応答が可能であり、それが運動耐容能を増加させることにつながることを示唆している。このことから、運動耐容能の向上には呼吸筋力には十分な予備力が備わっている必要があり、呼吸機能へのアプローチが重要と考える。そのためにも、呼吸筋トレーニングの負荷量や方法論に関しては今後さらなる検討を重ねる必要がある。

第V章 総括

V-1 本研究で得られた知見

高齢者の活動範囲を拡大させるには、運動耐容能の維持が必要不可欠である。とくに軽度の要介護認定者にとって、息が切れることなく長く歩き続けられるということは、活動性を維持するためには重要な要素である。本研究の目的は、高齢者の運動耐容能に影響を及ぼす因子を呼吸機能の視点から明らかにし、さらに、その影響因子に対する直接的介入により運動耐容能が向上する可能性を示すことであった。まず研究1, 2の観察研究にて、高齢者の呼吸機能・身体機能の実態把握を行い、運動耐容能との関連や影響因子を明らかにした。その結果として呼吸機能が影響因子であることが明らかになったため、研究3では、介入研究として、呼吸機能を作り出す呼吸筋力に対して直接的に介入し、運動耐容能が向上するか検討を行った。

本研究にて明らかになったことは、以下のとおりである。

研究1より、軽度の要介護認定者で運動器の機能向上プログラムを実施している高齢者においても、全身筋量や筋力が保たれているにも関わらず、呼吸機能、運動耐容能は著明に低下していることが明らかになった。この傾向は、介護度による差異は見られなかった。また身体機能としても膝伸展力以外に差は見られなかった。さらに、運動耐容能の関連因子としては歩行速度の影響度が高いことが示された。それに加え、介護度により吸気と呼気の違いはあったが、呼吸機能（特に呼吸筋力）も影響することが示された。高齢者の歩行能力の維持とそれに追加して呼吸機能を維持することの重要性が示唆された。

研究2では、フレイル診断基準の運動機能のレベルによって高齢者の運動耐容能を分析した。握力と歩行速度が低い運動機能低下群は、その他の運動能力も追従して低い値となり、呼吸機能と運動耐容能も低値を示した。握力と歩行速度は高齢者の運動機能を正しく反映していることが改めて示された。また、運動機能の低下と連動して呼吸筋力が低下していたことから、握力と歩行速度は呼吸機能も反映する指標となる可能性も考えられる。さらに、運動耐容能への影響因子の分析により、運動機能が低下した高齢者の運動耐容能には呼吸機能が影響することが示された。

研究3では、IMTの介入期間や負荷強度の設定、ホームエクササイズの方法などに関してさらに詳細な検討が必要であることが示された。しかし、IMTにより吸気筋力が増加した対象者においては、息切れ感や疲労感が増加することなく長い距離を歩けるようになった。これは、運動耐容能の向上には呼吸筋力に十分な予備力を持つことが必要であり、呼吸機能へのアプローチの重要性を示唆していると考ええる。研究1, 2から、運動耐容能の影響因子として運動機能が重要であることは再確認されており、運動器に対するアプローチは必須である。この運動器へのアプローチに吸気筋トレーニングを追加することで、呼吸筋と骨格筋の相乗効果による運動耐容能への効果が期待できると考える。

以上のことから、本研究の目的である高齢者の運動耐容能に影響を及ぼす因子を呼吸機能の視点を取り入れて明らかにし、さらにその影響因子に対する直接的介入により運動耐容能が向上する可能性を示すことができたと考ええる。また高齢者の身体機能の把握において呼吸機能測定の意味も示すことができたと考ええる。高齢者の身体機能をより早くより確実に把握することで、軽度の要介護認定者の増加や重度化の抑制につながると考える。

V-2 本研究の限界と課題

本研究の限界として、まずは1施設の高齢者を対象とした限定的な結果であることが挙げられる。さらに平均年齢が85歳と後期高齢者に集中しており、対象者数も少ないことから、今後は、地域や年齢を拡大し対象者数を増やすことが重要と考える。その上でさらに分析を進め、呼吸筋力の水準によりADLに及ぼす影響なども明らかにしていくことで、高齢者において呼吸筋力を維持することの重要性を示せると考える。

さらに今回、吸気筋トレーニングにより吸気筋力が低下した対象者も存在した。その原因として過用性筋力低下を考察したが、本研究ではこれ以上の解明は不可能である。今後、最適な負荷量を検討することが課題となるが、そのような過用性筋力低下を引き起こす高齢者の身体特徴は何かを明らかにすることも、吸気筋トレーニングを実施する際の有益な情報となると考える。

また、今回は呼吸機能の中でも換気機能の動力源である呼吸筋力に焦点を当てた。研究1,2の結果から、吸気筋力がターゲットであると仮説を立て吸気筋のみに介入し、呼気筋や胸郭のコンプライアンスに関しては介入の対象としていない。それゆえ、全体の結果として介入効果が見られなかった可能性が考えられる。吸気筋トレーニングの介入方法や実施の支援方法について検討することに加えて、他の呼気や胸郭についての検討も今後の課題と考える。それに基づき、吸気筋、呼気筋に対して呼吸筋トレーニングを実施することは、誤嚥や咳嗽力などの呼吸そのものの機能を上げるのみならず、運動耐容能、全身筋力の維持、向上につながると考える。その際には、呼吸筋トレーニングの効果を運動耐容能にとどまらず、買い物などの生活行為をアウトカムにした検討を重ねることで、介護予防の一助になると考える。

謝辞

本研究を遂行し学位論文を作成するにあたり、終始熱心なご指導とご支援を賜りました研究指導教員の丸山 仁司 教授、副研究指導教員の久保 晃 教授、その他多くのご助言をしてくださった国際医療福祉大学大学院 医療福祉学研究科 保健医療学専攻 理学療法学分野の諸先生に深く感謝を申し上げます。

また、東京医療学院大学の内田 学 先生には、研究の遂行と論文作成にあたり日頃より多くのご助言を頂き、学会発表の際にもご指導・ご助言をいただき大変お世話になりました。深く感謝申し上げます。

本研究は社会福祉法人同胞互助会 在宅サービスセンター愛全園に通所されている高齢者様にご協力いただきました。対象者の皆様には、各種測定にご協力いただきましたこと、また、1か月の自宅での呼吸筋トレーニングに熱心に取り組んでくださったことに深く感謝いたします。また、本研究の趣旨を理解し快く協力して頂いた施設長ならびにスタッフの皆様にも心から感謝いたします。東京医療学院大学の鈴木 輝美 先生には、施設との調整から実際の測定、分析においてご協力並びにご指導を頂きました。測定にあたっては、東京医療学院大学理学療法学専攻の学部生を始め、施設のスタッフの方々のご協力も頂きました。心より感謝いたします。

最後に日々の業務を行いながら大学院進学を含めて理解し、支えてくださった職場の皆様にも感謝し、本論文の謝辞とさせていただきます。誠にありがとうございました。

文献一覧

- 1) 内閣府.平成 30 年度版高齢社会白書 高齢化の状況
https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2018/zenbun/pdf/1s1s_01.pdf
2018.11.2
- 2) 健康日本 21（第二次）推進専門委員会.「健康日本 21（第二次）」中間評価報告書
https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-10601000-Daijinkanboukouseikagakuka-Kousei-kagakuka/0000166300_4.pdf
2018.12.20
- 3) 厚生労働省.平成 28 年版厚生労働白書 我が国の高齢者を取り巻く状況
<https://www.mhlw.go.jp/wp/hakusyo/kousei/16/dl/1-01.pdf>
2018.12.20
- 4) 厚生労働省.国民の健康の増進の総合的な推進を図るための基本的な方針
https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/dl/kenkounippon21_01.pdf 2018.11.3
- 5) 厚生労働省.介護予防マニュアル（改訂版：平成 24 年 3 月）
https://www.mhlw.go.jp/topics/2009/05/dl/tp0501-1_1.pdf 2018.11.2
- 6) 新井武志, 大淵修一, 柴喜崇ら. 高負荷レジスタンストレーニングを中心とした運動プログラムに対する虚弱高齢者の身体機能改善効果とそれに影響する身体・体力諸要素の検討. 理学療法学 2003; 30(7): 377-385
- 7) 新井武志, 大淵修一, 逸見治ら. 地域在住虚弱高齢者への運動介入による身体機能改善と精神心理面の関係. 理学療法学 2006; 33(3): 118-125
- 8) Liu CJ, Latham NK. Progressive resistance training for improving physical function in older adults. Cochrane Database Syst Rev 2009; 3: CD002759.
- 9) 大淵修一.介護予防 介護予防運動指導員養成講座テキスト. 東京: 東京都健康長寿医療センター, 2018: 25
- 10) 認定支援ネットワーク. 要介護認定における認定調査結果（平成 24 年 2 月 15 日集計時点）
<https://www.mhlw.go.jp/topics/kaigo/kaigi/030908/6-5.html> 2018.11.3
- 11) 大淵修一.介護予防 介護予防運動指導員養成講座テキスト. 東京: 東京都健康長寿医療センター, 2018: 253
- 12) Wasserman.K, Hansen.J, Sue.D.Y, et al. Principles of exercise testing and interpretation. J Cardiopulmonary Rehab and Prev 1987; 7(4): 189
- 13) 石井直方. サルコペニアそのメカニズムと予防策としての運動. 医学のあゆみ 2011; 236(5): 519-524
- 14) 奈良勲. 老年学. 第 3 版. 東京: 医学書院, 2009: 13-22
- 15) 井口昭久. これからの老年学 サイエンスから介護まで. 第 2 版. 名古屋: 名古屋大学出版会, 2008: 129-149
- 16) 中村重信. 老年医学への招待. 東京: 南山堂, 2010: 75-100
- 17) Shock, N. W. Energy metabolism, caloric intake and physical activity of the aging. Nutrition in old age 1972; 12-23

- 18) 永岡賢一, 植松昭仁, 岡本直樹ら. 呼吸機能と加齢. 日本気管食道科学会会報 2014; 65(2): 99-100
- 19) 玉木彰. リハビリテーション運動生理学. 東京: メジカルビュー, 2016: 18-53
- 20) 野添匡史, 間瀬教史, 村上茂史ら. 高齢者の呼吸機能と理学療法. 理学療法ジャーナル 2009; 43(10): 869-876
- 21) Mizuno M: Human respiratory muscles: fibremorphology and capillary supply. Eur Respir J 1991; 4: 87-601
- 22) 沢辺元司, 櫻井うらら, 新井富生ら. 病理からみた呼吸器系の加齢性変化. THE LUNG perspectives 2012; 20: 125-130
- 23) Kera T, Kawai H, Hirano H, et al. Relationships among peak expiratory flow rate, body composition, physical function, and sarcopenia in community-dwelling older adults. Aging Clin Exp Res 2018; 30(4): 331-340
- 24) Arora NS, Rochester DF: Effect of body weight and muscularity on human diaphragm muscle mass, thickness, and area. J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol, 1982;52:64-70
- 25) 山口泰弘. 高齢者の気道・肺機能. 日本気管食道科学会会報 2014; 65(5): 395-402
- 26) Fukuchi Y, Nishimura M, Ichinose M, et al. COPD in Japan: the Nippon COPD Epidemiology study. Respirology 2004; 9: 458-465
- 27) 阿波邦彦, 村田伸, 岩瀬弘明ら. 閉塞性換気障害と拘束性換気障害が疑われる地域在住高齢者の身体機能の特徴.ヘルスプロモーション理学療法研究 2016; 6(1): 17-22
- 28) Vaz Fragoso CA, Gill TM. Respiratory impairment and the aging lung: a novel paradigm for assessing pulmonary function. J Gerontol A Biol Sci Med Sci 2012; 67(3): 264-75
- 29) 近藤哲理. 呼吸生理からみた老化. THE LUNG perspectives 2012; 20(2): 26-30
- 30) Gosselink R, De Vos J, Van den Heuvel SP, et al. Impact of inspiratory muscle training in patients with COPD: what is the evidence? Eur Respir J 2011; 37: 416-425
- 31) GOLD website. Diagnosis, management and prevention of chronic obstructive pulmonary disease. Update of the Management Sections, NHLB/WHO workshop report.
<http://www.goldcopd.com> 2015.11.20
- 32) 堀江淳, 村田伸, 林真一郎ら. 居宅高齢者における運動習慣の有無による呼吸機能, 呼吸筋力, 運動耐容能への影響. 日本呼吸ケア・リハビリテーション学会誌 2011; 21(3): 264-269
- 33) 巻直樹, 高橋大知, 仲田敏明ら. 嚥下機能低下を呈した要介護認定高齢者に対する呼吸トレーニングが呼吸機能, 嚥下機能, QOL に与える効果. 理学療法学 2017; 44(2): 138-144
- 34) 巻直樹, 高橋大知, 高田祐ら. 要介護高齢者における呼吸機能と ADL・QOL との関連. 日本プライマリ・ケア連合学会誌 2015; 38(1): 23-30
- 35) 富田和秀, 岡崎大資, 赤池優ら. 地域在住高齢者における呼吸筋力低下の実態—群馬県山間部の横断的予備調査から— . 理学療法群馬 2008; 19: 13-19
- 36) 堀江淳, 村田伸, 熊谷祥子ら. 要介護高齢者における呼吸筋力と身体能力との関係～最大呼吸筋力は体幹屈曲筋力評価への応用できるのか～. 西九州リハビリテーション研究 2011; 4:

- 37) 高橋泰子, 石坂正大, 久保晃ら. 健常高齢者における骨格筋量と呼吸機能の関係. 理学療法科学 2017; 32(3): 429-433
- 38) 日本呼吸ケア・リハビリテーション学会, 日本呼吸器学会, 日本リハビリテーション医学会, 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—改訂第 2 版. 東京. 照林社. 2012: 109-113
- 39) 大淵修一. 介護予防 介護予防運動指導員養成講座テキスト. 東京: 東京都健康長寿医療センター, 2018: 140-189
- 40) 後藤和也, 久保晃, 神津教倫. 介護度の異なる要支援者における身体活動量の違い. 国際医療福祉大学学会誌 2017; 22(1): 60-64
- 41) American Thoracic Society/European Respiratory Society. ATS/ ERS Statement on respiratory muscle testing. Am J Respir Crit Care Med 2002; 166: 518-624
- 42) Miller MR, Hankinson J, Brusasco V, et al. ATS/ERS Task Force: standardization of spirometry. Eur Respir J 2005; 26: 319-338
- 43) 佐々木英忠, 中村雅夫, 木田厚瑞ら. 日本人スパイログラムと動脈血ガス分圧基準値—日本呼吸器学会肺生理専門委員会報告—. 日本呼吸器学会誌 2001; 39: 1-17
- 44) 鈴木正史, 寺本信嗣, 須藤英一ら. 最大呼気・吸気筋力の加齢変化. 日本胸部疾患学会雑誌 1997; 35(12): 1305-1311
- 45) Miyatani M, Kanehisa H, Masuo Y, et al. Validity of estimating limb muscle volume by bioelectrical impedance. J Appl Physiol 2001; 91(1): 386-394
- 46) Richard N, Kathleen M, Dymrna G, et al. Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico. American journal of epidemiology 1998; 147(8): 755-763
- 47) 厚生労働省. 平成 29 年度国民健康・栄養調査結果の概要
<https://www.mhlw.go.jp/content/10904750/000351576.pdf>
2018.12.20
- 48) 厚生労働省. 日本人の食事摂取基準 (2015 年版) の概要
<https://www.mhlw.go.jp/file/04-Houdouhappyou-10904750-Kenkoukyoku-Gantaisakuken-kouzoushinka/0000041955.pdf>
2018.12.20
- 49) Chen LK, Liu LK, Woo J, et al. Sarcopenia in Asia: consensus report of the Asian Working Group for Sarcopenia. J Am Med Dir Assoc 2014; 15(2): 95-101
- 50) Seino S, Shinkai S, Iijima K. et al. Reference values and age differences in body composition of community-dwelling older Japanese men and women: a pooled analysis of four cohort studies. PLoS One 2015, 10(7), e0131975.
- 51) 村上雅仁. 理学療法士・作業療法士のためのヘルスプロモーション (日本ヘルスプロモーション理学療法学会 編). 東京: 南江堂, 2011: 23-30
- 52) 宮原洋八, 八谷瑞紀. 理学療法士・作業療法士のためのヘルスプロモーション (日本ヘルスプロモーション理学療法学会 編). 東京: 南江堂, 2011: 31-40

- 53) Fried LP, Tangen CM, Walston J, et al. Frailty in older adults: evidence for a phenotype. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2001; 56:146-156
- 54) Enright PL, Sherrill DL. Reference equations for the six-minute walk in healthy adults. *Am J Respir Crit Care Med* 1998; 158: 1384-1387
- 55) 池田望, 村田伸, 大田尾浩ら. 地域在住女性高齢者の握力と身体機能との関係. *理学療法科学* 2011; 26: 255-258
- 56) Lee Ingle, Alan S Rigby, Sean Carroll, et al. Prognostic value of the 6 min walk test and self-perceived symptom severity in older patients with chronic heart failure. *Eur Heart J* 2007; 28(5): 560-568
- 57) 小西英樹. 要介護高齢者に対する 6 分間歩行の臨床的有用性について. *中部日本整形外科災害外科学会雑誌* 2008; 51(6): 1099-1100
- 58) 中谷敏昭, 灘本雅一, 三村寛一ら. 30 秒椅子立ち上がりテスト(CS-30 テスト)成績の加齢変化と標準値の作成. *臨床スポーツ医学* 2003; 20: 349-355
- 59) 西島智子, 小山理恵子, 内藤郁奈ら. 高齢患者における等尺性膝伸展筋力と歩行能力との関係. *理学療法科学* 2004; 19: 95-99
- 60) 中谷敏昭, 灘本雅一, 三村寛一ら. 日本人高齢者の下肢筋力を簡便に評価する 30 秒椅子立ち上がりテストの妥当性. *体育学研究* 2002; 47: 451-461
- 61) 玉木彰. *リハビリテーション運動生理学*. 東京: メジカルビュー, 2016: 63-67
- 62) Yamada M, Kimura Y, Ishiyama D, et al. Differential characteristics of skeletal muscle in community-dwelling older adults. *J Am Med Dir Assoc* 2017; 18(9): 807
- 63) 国立長寿医療研究センター. 長寿医療研究開発費 平成 26 年度総括報告書 フレイルの進行に関わる要因に関する研究
<http://www.ncgg.go.jp/ncgg-kenkyu/documents/25-11.pdf> 2018.1.26
- 64) Sue DY, Hansen JE. Normal values in adults during exercise testing. *Clin Chest Med* 1984; 5(1): 89-98
- 65) Mckerrow CB, Otis AB. Oxygen cost of hyperventilation. *J Appl Physiol* 1956; 9(3): 375-379
- 66) 片山敬章. 運動時の循環調節に対する呼吸筋活動の影響. *循環制御* 2018; 39(2): 91-96
- 67) 塩谷隆信, 佐竹將宏, 上村佐知子ら. 呼吸筋トレーニングのエビデンスと新展開. *日本呼吸ケア・リハビリテーション学会誌* 2016; 26(1): 26-32
- 68) Kim J, Sapienza CM. Implications of expiratory muscle strength training for rehabilitation of the elderly: Tutorial. *J Rehabil Res Dev* 2005; 42: 211-211.
- 69) 解良武士, 古泉一久. 呼吸筋トレーニングによる持久性能力の向上の可能性. *理学療法科学* 2009; 24(5): 767-775
- 70) Langer D, Charususin N, Jacome C, et al. Efficacy of a novel method for inspiratory muscle training on people with chronic obstructive disease. *Phys Ther* 2015; 95: 1-10
- 71) 塩谷隆信, 佐竹將宏, 高橋仁美. 外来呼吸リハビリテーション - 外来での適応と効果. *Medicina* 2015; 52(9): 1532-1537

- 72) Beaumont M, Mialon P, et al. Inspiratory muscle training during pulmonary rehabilitation in chronic obstructive pulmonary disease: A randomized trial. *ChronRespir Dis* 2015; 12(4): 305-312
- 73) Beckerman M, Magadle R, et al. The effects of 1 year of specific inspiratory muscle training in patients with COPD. *Chest* 2005; 128(5): 3177-3182
- 74) Clanton TL. Respiratory muscle endurance in humans. *The Thorax*. Marcel Dekker. New York, 1995: 1199-1230
- 75) 解良武士. 呼吸筋力と増強. *理学療法科学* 2003; 18(1): 1-6
- 76) 解良武士. 呼吸筋力の特性. *理学療法科学* 2001; 16(4): 231-238
- 77) 解良武士. 呼吸筋力の測定. *理学療法科学* 2002; 17(4): 265-271
- 78) 一場友実, 解良武士, 島本隆司ら. 呼吸抵抗負荷の相違による呼吸筋活動の分析. *理学療法科学* 2002; 17(3): 195-198
- 79) Morrison NJ, Richardson J, et al. Respiratory muscle performance in normal elderly subjects and patients with COPD. *Chest* 1989; 95: 90-94
- 80) 臼田滋, 江崎重昭, 川村次郎ら. 筋力低下. *理学療法ジャーナル* 2003; 37(6): 503-515