

呼吸筋力測定の絶対信頼性

平野 正広, 加藤 宗規

了徳寺大学・健康科学部理学療法学科

要旨

本研究の目的は、呼吸筋力測定における絶対信頼性を検証し、測定回数および採用値について検討することである。若年健常成人50名を対象とし、気流量変化を伴わない口腔内圧法によって得られた最大口腔内圧を呼吸筋力とした。検者および補助者は各1名とした。目標肺気量位は機能的残気量（FRC）、残気量（RV）、全肺気量（TLC）とした。最大吸気筋力（MIPS）はFRC、RVの2点で測定し、最大呼気筋力（MEPS）はFRC、TLCの2点で各3回測定した。絶対信頼性は、Bland-Altman分析を用いて検証した。1回目と2回目の測定値の間には系統誤差を認めなかった。1・2回目の最大値と3回目の測定値の間には固定誤差を認めた。従って、1回の測定で信頼性があることが示された。しかしながら、誤差を考慮すると2回測定を実施し、最大値を採用値とすることが示唆された。

キーワード：呼吸筋力測定, 検者内信頼性, 最大口腔内圧

Reliability of Respiratory Muscle Strength Tests

Masahiro Hirano, Munenori Katoh

Department of Physical Therapy, Faculty of Health Sciences, Ryotokuji University

Abstract

The purpose of this study was to reveal the absolute reliability of respiratory muscle strength tests in order to examine the adapted value and determine the appropriate repetition for measurements. Subjects were 50 healthy young adult. Respiratory muscle strength was the maximum mouth pressure obtained by the mouth pressure method without changes of flow. Target positions used to measure lung volume were functional residual capacity (FRC), residual volume (RV) and total lung capacity (TLC). Measurements of the following four differing measurements were performed three times; a) static maximum inspiratory pressure (MIPS) efforts at FRC, b) MIPS efforts at RV, c) static maximum expiratory pressure (MEPS) efforts at FRC, d) MEPS efforts at TLC. Reliability was verified using Bland-Altman analysis. No systematic bias was observed between the first and second measurement values. A systematic bias between the maximum values obtained in the first and second measurements and the third measurement value was observed. Therefore, single measurement of respiratory muscle strength is reliable. However, it was suggested that, considering there might be a bias in measurement, measurement values should be used the maximum value by two trials.

Keywords : Respiratory muscle strength, absolute reliability, Maximum mouth pressure

I. 背景

呼吸筋力の評価は、慢性心不全患者¹⁻³⁾ や脊髄損傷患者⁴⁾、デュシャンヌ型筋ジストロフィー⁵⁾ や終末期肝疾患患者⁶⁾ などの様々な対象者に応用されており、呼吸器疾患患者のみではなく、呼吸障害を捉えるための重要な評価指標である。健常成人における呼吸筋力は女性に比して男性が大きく、下限値が報告されている⁷⁾。年齢およびBody Mass Indexは吸気筋力の予測因子とされ⁸⁾、呼吸筋力は1秒量の減少とともに低下すると報告されている⁹⁾。慢性閉塞性肺疾患患者の吸気筋力や持久力、機能的運動能力、呼吸困難や生活の質は吸気筋トレーニングによって向上するとされ¹⁰⁾、評価および効果判定に呼吸筋力評価が用いられている。

吸気筋力の測定方法には、最大吸気圧、最大呼気努力後の最大吸気圧、sniffの3つがあり、全て異なるメカニズム、相互作用が働くことされており¹¹⁾、最大吸気筋力はsniff食道内圧との関連から妥当性があることが報告されている¹²⁾。再現性について、Hamnegård CHら¹³⁾ は、小型の携帯型口腔内圧計を用いて5回測定した結果、再現性は高く、誤差が小さいことを報告した。また、セッション内、セッション間の信頼性を各10回の4セッションから検討し、健常者は2セッションが必要であることが報告されている¹⁴⁾。Dimitriadis Zら¹⁵⁾ は、級内相関係数が0.90よりも高く得るためには5回の練習後（最大呼気・吸気）に2回の測定が必要であることを報告した。また、西村ら¹⁶⁾ は、3回の測定において、再現性のよい値が得られたため、最大値を採用している。呼吸筋力の測定において、測定機器には頬筋の関与による口腔内圧発生および声門閉鎖の予防を目的として通気孔が付加されている^{17, 18)}。これら先行研究は、通気孔が付加された測定による検討結果であり、高い再現性が得られるための測定回数は一定の見解には至っていない。一方、Mayos Mら¹⁹⁾ は、通気孔の影響について通気孔の有無による測定圧を比較し、通気孔無の測定方法で得られた口腔内圧が大きかったことを報告している。通気孔を用いない測定による再現性について、絶対信頼性の報告は渉猟したが見当たらない。

通気孔を用いた測定は、気流量の変化を伴い、肺気量位が変化する。これは、得られた口腔内圧が呼吸筋力のみならず、胸郭および肺コンプライアンスの影響などを受けることを意味する。また、呼吸筋力のみを反映させる口腔内圧の測定には、胸郭弾性と肺弾性の釣り合う機能的残気量（Functional Residual Capacity: FRC）位における測定が必要とされる²⁰⁾。そのため、呼吸筋力の測定には通気孔を用いず、肺気量位を一定にした静的な測定が適当であると考えられる。本研究は、肺気量位を一定にした測定方法における呼吸筋力測定の信頼性を明らかにすることで、採用値について検討することとした。

II. 目的

本研究の目的は、口腔内圧法による測定肺気量位を一定にした呼吸筋力測定の絶対信頼性を検証し、測定回数および採用値について検討することである。

III. 方法

対象は若年健常成人50名（男性28名、女性22名、年齢20-22歳、身長165.8±8.0cm（平均値±標準偏差）、体重60.2±10.9kg）である。呼吸筋力は最大口腔内圧法によって得られた圧とした。測定機器は多機能スパイロメータ（チェスト株式会社製、Multi-Functional Spirometer HI-801）に呼吸筋力センサー（チェスト株式会社製、Respiratory pressure）を使用して口腔内圧を測定した。また、ノーズクリップ、呼吸機能検査用フィルタおよびマウスピースを使用し、呼吸筋力センサーと呼吸機能検査用フィルタは、空気漏れがない

ようにビニールテープで連結部を補強した。測定方法は、呼吸筋力センサーに設置されている通気孔を検者が塞ぐことによって気流量をゼロとし、測定管が完全に閉鎖された状態における静的な測定とした。しかしながら、通気孔を塞ぐことによって声門閉鎖および頬筋関与による口腔内圧発生の予防が困難となる。そのため、測定時における検者の操作により判断をすること、測定補助者を配置することによって対応した。

測定は、検者1名（理学療法士、経験年数10年）、補助者1名で実施した。検者はオリエンテーション、口頭指示、測定管閉鎖、測定後において表示される圧力のグラフィックモニターで安定した値が得られているのか確認することを実施した。また、測定時に被験者が声門を閉鎖していないかの確認は、測定中における吸気または呼気努力時において呼吸機能検査用フィルタとマウスピースを急に引き離す際の呼出および開放音によって判断した。頬筋の関与による口腔内圧発生を予防するためには、測定補助者が被験者の後方から検査時に頬筋を圧迫する役割を行うことにより対応した。検者および被験者に対する測定値の盲検化は、測定圧の読み取りを行う記録者を別に配置し、実施した。検者は、被験者に対して頬筋の影響を除くための力の入れ方と声門を閉鎖しないための事前の十分なオリエンテーションを実施した。その後、被験者は椅子座位でノーズクリップを装着し、マウスピースをくわえて口に保持した。検者はマウスピースの前に手を置くことで気流量および肺気量位の確認をした（図1）。目標測定肺気量位となった際、検者は気流量がないことを確認し、被験者が挙手すると同時に通気孔を塞ぎながらマウスピースと呼吸機能検査用フィルタを繋ぐことによって測定管を閉鎖状態とした。そして、被験者に最大吸気努力または最大呼気努力を実施させた。その時に発生した口腔内圧を静的最大吸気筋力（Static Maximum Inspiratory Pressure: MIPS）、静的最大呼気筋力（Static Maximum Expiratory Pressure: MEPS）として測定した。この際、補助者は被験者の後方に位置し、検査時に後方から頬筋を圧迫すると同時に口唇からの空気漏れを防いだ（図2）。吸気筋力はFRCと残気量（Residual Volume: RV）、呼気筋力はFRC、全肺気量（Total Lung Capacity: TLC）の各肺気量位で各3回測定した。測定には30秒以上の間隔を空けた。測定記録圧は1.5秒以上持続し、検査中に得られた最高値とした。

統計学的処理は、R2.8.1を使用し、絶対信頼性についてBland-Altman分析（Bland-Altman analysis: BAA）を用いて検証した。採用値には最大値を用いる方針とし、BAAは、3回測定における必要な測定回数を検討するために、1回目と2回目の測定値の間、1・2回目の最大値と3回目の測定値の間においてBAAを実施した。有意水準は5%未満とした。



図1. 呼吸筋力測定における目標肺気量位にするための工夫

- a. 検者は、通気孔を塞ぐ。
- b. 検者の手により、気流量および肺気量位の確認を行う。
- c. 補助者は被験者の頬を圧迫し、頬筋の関与による口腔内圧発生を予防するとともに口唇からの空気漏れを防止する。



図2. 呼吸筋力測定 (image)

IV. 倫理的配慮

本研究はヘルシンキ宣言に則り行われ、了徳寺大学生命倫理審査委員会の承認（承認番号：2708）を得た。被験者には十分な説明と同意を得て実施し、個人情報保護を遵守した。

V. 結果

呼吸筋力の測定結果を表1に示す。BAAの結果を表2に示す。各肺気量位における吸気・呼気筋力測定において、1回目と2回目の測定値の間に系統誤差を認めなかった。1回測定における最小可検変化量の95%信頼区間（minimal detectable change 95%：MDC₉₅）は、MIPS（FRC, RV）、MEPS（FRC, TLC）において、それぞれ25.1cmH₂O、20.6cmH₂O、29.0cmH₂O、32.1cmH₂Oであった。1・2回目の最大値と3回目の測定値の間には固定誤差を認めた。

表1 最大口腔内圧法による呼吸筋力

	1回目	2回目	3回目	1・2回目の最大値
MIPS (FRC)	80.5±32.9	78.1±32.8	80.1±32.8	84.3±33.1
MIPS (RV)	89.5±33.8	89.9±33.5	90.9±34.2	93.9±33.9
MEPS (FRC)	78.5±41.7	81.1±40.8	81.6±42.7	85.5±42.6
MEPS (TLC)	106.2±46.6	104.8±48.6	103.4±48.2	111.8±48.7

n=50, 平均値±標準偏差 (cmH₂O)

MIPS (Static Maximum Inspiratory Pressure) : 静的最大吸気圧,
 MEPS (Static Maximum Expiratory Pressure) : 静的最大呼気圧,
 FRC (Functional Residual Capacity) : 機能的残気量,
 RV (Residual Volume) : 残気量, TLC (Total Lung Capacity) : 全肺気量

表2 呼吸筋力測定におけるBland-Altman分析 (n=50)

測定項目	比較	固定誤差		比例誤差		LOA	MDC ₉₅ (cmH ₂ O)		
		95%信頼区間	有無	直線の傾き	有無				
呼吸筋力	MIPS (FRC)	A	-1.25~6.02	なし	0.002	p=0.967	なし	-	25.1
		B	1.28~7.17	あり	0.008	p=0.858	なし	-11.0~19.4	-
	MIPS (RV)	A	-3.35~2.61	なし	0.009	p=0.839	なし	-	20.6
		B	0.54~5.51	あり	-0.007	p=0.833	なし	-9.8~15.8	-
	MEPS (FRC)	A	-6.78~1.60	なし	0.023	p=0.650	なし	-	29.0
		B	0.50~7.34	あり	-0.001	p=0.975	なし	-13.7~21.6	-
	MEPS (TLC)	A	-2.26~6.05	なし	-0.041	p=0.408	なし	-	32.1
		B	3.06~13.74	あり	0.010	p=0.854	なし	-19.2~36.0	-

A : 1回目と2回目の測定値の比較, B : 1・2回目との最大値と3回目の測定値の比較

LOA (limits of agreement) : 誤差の許容範囲, MDC₉₅ (minimal detectable change 95%) : 最小可検変化量の95%信頼区間

VI. 考察

本研究は、呼吸筋力測定の同日内繰り返しの検者内信頼性について、3回測定における絶対信頼性を検証し、測定回数および採用値を検討した。呼吸筋力は、気流変化を伴わない肺気量位を一定にした口腔内圧法によって測定した。通気孔を利用した肺気量変化を伴う測定は、呼吸筋力以外の要素も含まれるため、肺気量位を一定にした測定よりも測定値に及ぼす因子が多くなる。また、FRCにおける測定は、呼吸筋力のみを反映するため²⁰⁾、静的な測定方法を採用し、MIPS (FRC, RV) およびMEPS (FRC, TLC) を測定した。

呼吸筋力は、1秒間の平均値よりも最高値の方が再現性は低いとされている¹⁸⁾。再現性が低いとされる最高値において高い再現性が得ることが可能であれば、測定方法として、より信頼性が高いものになると考え、最高値を用いた信頼性を検証した。呼吸筋力測定の再現性については、5回¹³⁾ や18回¹⁵⁾ の測定において検討されている。金子ら²¹⁾ は、最大吸気筋力を20回測定し、反復測定による最大吸気筋力増大には、横隔膜の筋活動増大だけでなく内腹斜筋の筋活動制御も関与している可能性を指摘している。そのため、複数回の測定によって各呼吸筋の参加動員が変化し、得られる呼吸筋力値は測定回数によって変化することが考えられた。しかし、本研究における3回測定の結果においては、1回目と2回目の測定値の間に系統誤差を認めなかった。系統誤差を認めなかったことより、測定回数は1回を採用することが考えられたが、MIPS (FRC, RV)、MEPS (FRC, TLC) それぞれ、MDC₉₅の値は平均値の31.1%、23.0%、36.9%、30.2%と大きな割合を占め、偶然誤差による値が大きかった。1・2回目の最大値と3回目の測定値の間に固定誤差を認めた。この固定誤差は、呼吸筋力測定の経験のある同一検者による測定であるため、検者要因は小さく、被験者要因である学習効果や疲労が影響することが推測された。今回、採用値には最大値を用いることとし、3回測定における絶対信頼性を検証することによって測定回数について検討したが、測定回数内における最大値は測定回数が増える毎に大きくなることも考えられた。1・2回目の最大値と3回目の測定値の間に固定誤差を認め、1・2回目の最大値は3回目の測定値よりも大きかった。これより、誤差を考慮すると2回の測定を実施し、最大値を採用値に用いることが考えられた。しかしながら、2回測定における最大値を採用した場合、誤差の許容範囲が大きいことから、治療やトレーニングの効果判定における参考値とすることは留意する必要がある。そのため、換気におけるメカニクスの変化が反映されているのか、呼吸筋力が運動耐容能や呼吸困難感等の他の要因に対して影響を及ぼしているのかを含めて、呼吸筋力測定に

おける測定値の変化を解釈することが肝要であると考えられた。

本研究は、通気孔を塞ぎ、肺気量位を一定にした測定における最高値を用いる方法によって呼吸筋力測定を実施した。MIPS (FRC, RV), MEPS (FRC, TLC) は、一般的に用いられている通気孔付加のある機器を使用し、通気孔を利用せずに塞ぐことによって測定管を閉鎖状態とした静的な測定をした。本測定方法は、少ない測定回数で信頼性が得られることが明らかになった。信頼性は1回の測定回数で得られるが、誤差を考慮すると2回の測定を実施し、最大値を採用値とすることが有用であると示唆された。

本研究では、呼吸筋力測定における検者内の絶対信頼性を検証し、必要な測定回数および採用値について検討した。今後は、4回以上の複数回における呼吸筋力や筋活動の変化、時間帯による変化をみるための同日内または別日における再現性、検者間信頼性や高齢者および有疾患者を対象とした検討を要する。

Ⅶ. 結論

本研究は、測定肺気量位を一定にした呼吸筋力測定の検者内の絶対信頼性について若年健常成人を対象に検証し、測定回数および採用値について検討した。1回目と2回目の測定値の間に系統誤差を認めなかったことより、1回の測定で信頼性があることが示された。しかしながら、1・2回目の最大値と3回目の測定値の間に固定誤差を認め、誤差を考慮すると2回の測定を実施し、最大値を採用することが有用であると示唆された。

謝辞

本研究にご協力していただきました被験者の皆様に深謝申し上げます。また、補助者、記録者として測定協力をしていただきました本学学生の鎌田優樹さん、岩口朝子さん、久保徹治さんに謝辞を申し上げます。

引用文献

- 1) Meyer FJ, Borst MM, Zugck C et al (2001) Respiratory Muscle Dysfunction in Congestive Heart Failure Clinical Correlation and Prognostic Significance. *Circulation*.103, 2153-2158.
- 2) Graetz JP, Zamuner AR, Moreno MA (2012) Evaluation of maximal inspiratory and sniff nasal inspiratory pressures in pre- and postoperative myocardial revascularization. *Rev Bras Cir Cardiovasc*. 27 (4), 607-613.
- 3) Habedank D1, Meyer FJ, Hetzer R et al (2013) Relation of respiratory muscle strength, cachexia and survival in severe chronic heart failure. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 4 (4), 277-285.
- 4) Mateus SR, Beraldo PS, Horan TA (2007) Maximal static mouth respiratory pressure in spinal cord injured patients: correlation with motor level. *Spinal Cord*. 45 (8), 569-575.
- 5) Terzi N1, Orlikowski D, Fermanian C et al (2008) Measuring inspiratory muscle strength in neuromuscular disease: one test or two?. *Eur Respir J*. 31, 93-98.
- 6) Kaltsakas G, Antoniou E, Palamidis AF et al (2013) Dyspnea and respiratory muscle strength in end-stage liver disease. *World J Hepatol*. 5 (2), 56-63.
- 7) Evans JA, Whitlaw WA (2009) The assessment of maximal respiratory mouth pressures in adults. *Respir Care*. 54 (10), 1348-1359.

- 8) Hautmann H, Hefele S, Schotten K (2000) Maximal inspiratory mouth pressures (PIMAX) in healthy subjects--what is the lower limit of normal?. *Respir Med.* 94 (7), 689-693.
- 9) Terzano C, Ceccarelle D, Conti V et al (2008) Maximal respiratory static pressures in patients with different stages of COPD severity. *Respir Res.* 9:8. doi:10.1186/1465-9921-9-8
- 10) Gosselink R, De Vos J, van den Heuvel SP et al(2011)Impact of inspiratory muscle training in patients with COPD: what is the evidence?. *Eur Respir J.* 37 (2), 416-425.
- 11) Nava S, Ambrosino N, Crotti P et al (1993) Recruitment of some respiratory muscles during three maximal inspiratory manoeuvres. *Thorax.* 48 (7), 702-707.
- 12) Wijkstra PJ, van der Mark TW, Boezen M et al (1995) Peak inspiratory mouth pressure in healthy subjects and in patients with COPD. *Chest.* 107 (3), 652-656.
- 13) Hamnegård CH, Wragg S, Kyroussis D et al(1994)Portable measurement of maximum mouth pressures. *Eur Respir J.* 7 (2), 398-401.
- 14) Smeltzer SC, Lavietes MH (1999) Reliability of maximal respiratory pressures in multiple sclerosis. *Chest.* 115 (6), 1546-1552.
- 15) Dimitriadis Z, Kapreli E, Konstantinidou I et al(2011)Test/retest reliability of maximum mouth pressure measurements with the MicroRPM in healthy volunteers. *Respir Care.* 56 (6), 776-782.
- 16) 西村善博, 前田均, 田中勝治ほか (1991) 加齢の呼吸筋力に及ぼす影響 - 最大口腔内圧を用いた検討 -. *日胸疾会誌.* 29 (7), 795-801.
- 17) Black LF, Hyatt RE (1969) Maximalrespiratorypressures: normal values and relationship to age and sex. *Am Rev Respir Dis .* 99 (5), 696-702.
- 18) Malcolm G, Jeremy R, Gary C. Sieck et al (2002) Tests of respiratory muscle strength. *ATS/ERS Statement on Respiratory Muscle Testing. Am J Respir Crit Care Med.* 166, 528-547.
- 19) Mayos M, Giner J, Casan P et al (1991) Measurement of maximal static respiratory pressures at the mouth with different air leaks. *Chest.* 100 (2), 364-366.
- 20) Agostoni E, Mead J (1964) Statics of the respiratory system. In: Fenn WO and Rahn H, editors. *Handbook of physiology: respiration., Vol. 1, Section 3, American Physiology Society, Washington DC.* 387-409.
- 21) 金子秀雄, 永井良治, 吉住 浩平 (2010) 最大吸気圧測定 of 反復に伴う呼吸筋活動の変化. *理学療法科学.* 25 (4) , 487 - 492.

(平成27年11月30日稿)

査読終了日 平成27年12月22日