

研究報告

死腔負荷に伴う運動時1回換気フロー・ボリューム曲線の変化に関する検討*

岩津弘太郎^{1) #} 山田純生²⁾

要旨

慢性心不全患者に生じるとされる運動時1回換気フロー・ボリューム曲線 (exercise tidal flow volume loop: extFVL) の右方偏位に關与する生理学的背景を檢討することを目的として予備研究を行った。健康大学生8名 (男性6名, 女性2名) を対象に嫌気性代謝閾値における仕事量の90%と130%で各6分間運動する2段階定常負荷試験を, 400 mlの外的死腔の有無により2回施行し, extFVLの位相を比較した。400 mlの死腔負荷によって運動時死腔換気率は有意に増加した。extFVLは吸気終末肺気量の増加を伴って拡大したものの, 右方偏位は示さなかった。したがって, 運動時における死腔増加のみではextFVLの右方偏位の原因とならないことが示され, 今後は他の要因に關する検討が必要と思われた。

キーワード 運動時1回換気フロー・ボリューム曲線, 右方偏位, 死腔負荷

はじめに

慢性心不全 (chronic heart failure: CHF) 患者に特異的な臨床症状である労作時呼吸困難感¹⁾は, 労作時における換気亢進と關連しており, 分時換気量/二酸化炭素排出量勾配 (\dot{V}_E/\dot{V}_{CO_2} -slope) の増大など単一運動負荷に対する過剰な換気応答がその背景にあることが示されている¹⁻⁴⁾。したがって, これまでCHF患者における労作時呼吸困難感¹⁾は, 労作時換気反応を量的な側面から評価することによって検討されてきた。しかしながら, 2000年Johnsonらによって, CHF患者の労作時呼吸困難感には労作時換気反応の質的異常が關与していると指摘されたことにより⁵⁾⁶⁾, 労作時換気反応を質的側面から検討することが新たな課題として注目されてきた⁷⁾。すなわち, 安静時の最大努力フロー・ボリューム曲線 (maximum flow-volume envelope: MFVL) 内に extFVL を位置づけ, 両者の位置関係から運動時の換気

様式を評価しようとするものである⁸⁾。

Johnsonらの示した質的異常は, CHF患者ではMFVLに対するextFVLの位相が健康人に比べ右方に偏位するというものであるが⁵⁾⁶⁾, その機序については肺機能および呼吸筋機能低下, 換気亢進など複数が關与するとされるものの⁵⁻⁷⁾, 詳細は未だ明らかではない。したがって, CHF患者のextFVL右方偏位の生理学的背景を明確にするためには, これらを個別に検討することが必要となっている。

もし, extFVL右方偏位の生理学的背景が明確にされれば, extFVLを評価することにより, CHF患者の労作時呼吸困難感に対する介入標的を明確にすることができるものと思う。

一方, CHF患者の労作時換気亢進は, 低心拍出量に伴う死腔の増加と關連することが指摘されている¹⁾⁹⁾¹⁰⁾。死腔の増加に伴うextFVLの変化は, 健康者を対象として漸増負荷運動時に外的死腔を負荷することで検討されているが¹¹⁾¹²⁾, それらの研究では右方偏位は認められていない。しかしながら, CHF患者の死腔増加が運動負荷に伴う心拍出量増加の制限と關連するのに対し¹⁾⁹⁾¹⁰⁾, 健康者で漸増負荷を用いた場合には運動負荷に伴い心拍出量が増加していくため, 死腔を負荷しても心拍出量増加による換気血流不均衡の改善が生じ, 換気に占める死腔の相対的割合が低下することが考えられる。したがって, 健康者においてCHF患者の死腔増加モデルを作成するには, 心拍出量が一定となる定常負荷運動時にて死

* Change in Exercise Tidal Flow-Volume Loops with Added Dead Space during Exercise

1) 名古屋大学大学院医学系研究科博士課程前期課程リハビリテーション療法学専攻

(〒461-8673 愛知県名古屋市東区大幸南1-1-20)

Kotaro Iwatsu, RPT: Program in Physical and Occupational Therapy, Nagoya University Graduate School of Medicine

2) 名古屋大学大学院医学系研究科

Sumio Yamada, PhD, RPT: Nagoya University Graduate School of Medicine

E-mail: j050301m@mbox.nagoya-u.ac.jp

(受付日 2006年4月7日/受理日 2006年8月26日)

腔負荷を行う必要がある。

以上より、我々はCHF患者に指摘されているextFVL右方偏位の生理学的背景を死腔増加による換気亢進の観点から検討するため、健常大学生を対象として定常負荷における死腔増加の生理学的モデルを作成し、死腔負荷とextFVLの変化を検討した。

対象と方法

1. 対象者

喫煙歴が無く、呼吸器または循環器疾患歴の無い健常大学生8名〔男性6名、女性2名、年齢：21.5 ± 1.3歳、身長：163.9 ± 7.4 cm、体重：54.9 ± 6.1 kg、肺活量：3.5 ± 0.5 L、1秒量：2.7 ± 0.3 L/sec、1秒率：90.3 ± 5.6 %、最大努力換気量：114.6 ± 23.6 L〕を対象とした。全対象者には実験内容を十分に説明し、書面による同意を得た。また、本研究は名古屋大学医学部倫理委員会による承認を得た（承認番号：5-516）。

2. 研究デザイン

1) 心肺運動負荷試験

最初に自転車エルゴメータ(232C-XL：COMBI社製)を用いて心肺運動負荷試験(cardiopulmonary exercise testing: CPX)を施行し、嫌気性代謝閾値(anaerobic threshold: AT)を測定した。プロトコルは、男性は40 Wのwarm-up 3分間の後、20 W/分のramp負荷で、女性は20 Wのwarm-up 3分間の後、15 W/分のramp負荷で行った。駆動回転数は60回転/分とした。呼気ガス代謝指標は呼気ガス分析器(AE-300S：ミナト医科学社製)を用いbreath by breath法にて測定した。心拍数は心電図モニターにて運動中連続モニターし、血圧は自動血圧計(STBP-780B：COLIN社製)にて1分ごとに測定した。

2) 2段階定常負荷試験

CPXとは別の日に、運動前安静5分、CPXにより検出されたATの1分前の仕事量をAT wattsとし、50% AT wattsで3分間のwarm-upを行った後、90% AT wattsで6分間行い、さらに続けて130% AT wattsで6分間の負荷を行う2段階定常負荷試験を行った(図1)。運動後は6分間の安静をとった。MFVLは、安静時2分、3分、4分経過時、運動時各負荷強度の2分、5分経過時に、AE-300SのextFVL測定プログラムを用いて自動測定し、extFVLは、運動時にMFVLの測定を開始する直前の30秒間、同様に自動測定した(図1)。位相評価に用いるextFVLは、各MFVL測定前に30秒間測定した中で最後の1回換気に相当するものを同プログラムにて自動的に選択した。MFVLは、1回換気を2~3回行った後、最後の1回換気の呼気終末肺気量位から最大吸気位まで吸気を行ってから、最大努力にて最大呼気位まで呼出し、さらにもう一度最大吸気を行うように指示して測定した。各extFVLの位相は、測定した直後のMFVLにおける深吸気量(inspiratory capacity: IC)によって補正した⁸⁾。2段階定常負荷試験施行前には、安静3分後、20 Wで5分間の運動を行ない、安静時、運動時ともに3回ずつMFVLを測定する練習を行った。練習と施行の間は5分間休憩をとった。運動中は呼気ガス指標ならびに心拍数を連続的にモニターした。労作時における呼吸困難感と下肢疲労感の指標には修正Borg指数を用い¹³⁾、それぞれ呼吸困難感をBorg C、下肢疲労感をBorg Lとして、1分ごとに測定した。

各被験者はこの負荷試験を、外的死腔を加えた場合と加えない場合の2条件で行なった。外的死腔量は十分な過剰換気を引き起こすとした先行研究にしたがい¹²⁾、全被験者の肺活量の約10%以上に相当した400 mlを採用した。外的死腔は、呼気ガス分析器の流量計とマスクの間に、流量計と同径のステンレス製円筒を加え作成し

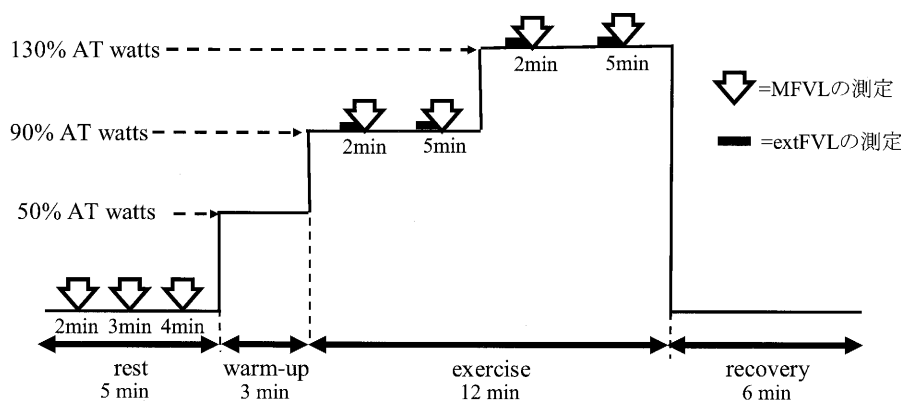


図1 2段階定常負荷試験プロトコル

AT watts: CPXにて検出されたATの1分前の仕事量

MFVL: 最大努力フローボリューム曲線

extFVL: 運動時1回換気フローボリューム曲線

た(図2)。各施行の順序はくじ引きによりランダムに決定し、各施行には1日以上の間をあけた。

3) MFVLにおけるextFVLの位相の評価

図3にMFVLとextFVLならびにextFVLの位相を評価するための指標を示した。extFVLのMFVLにおける位相の評価は、extFVLの位相の規定要因である吸気終末肺気量と呼気終末肺気量の変化を評価することで行なった。吸気終末肺気量と呼気終末肺気量の指標にはそれぞれ吸気予備量 (inspiratory reserve volume: IRV) /努力性肺活量 (forced vital capacity: FVC) (%)¹⁴⁾, IC/FVC (%)⁸⁾ を用いた。本研究では、IRV/FVCと

IC/FVCの両者の増加をもって右方偏位と定義した。

また、extFVLの位相は、安静時のMFVLを用いた場合と、運動時のMFVLを用いた場合で評価した。安静時MFVLには、外的死腔を加えない施行にて安静時に3回測定されたMFVLのうち、FVCが最大であったMFVLを用い、運動時MFVLは各施行のextFVL測定直後に測定したMFVLをそれぞれ用いた。

3. データ解析

2段階定常負荷試験の運動時IC/FVC, IRV/FVC, FVC, 呼吸ガス代謝指標, そしてBorg指数の外的死腔

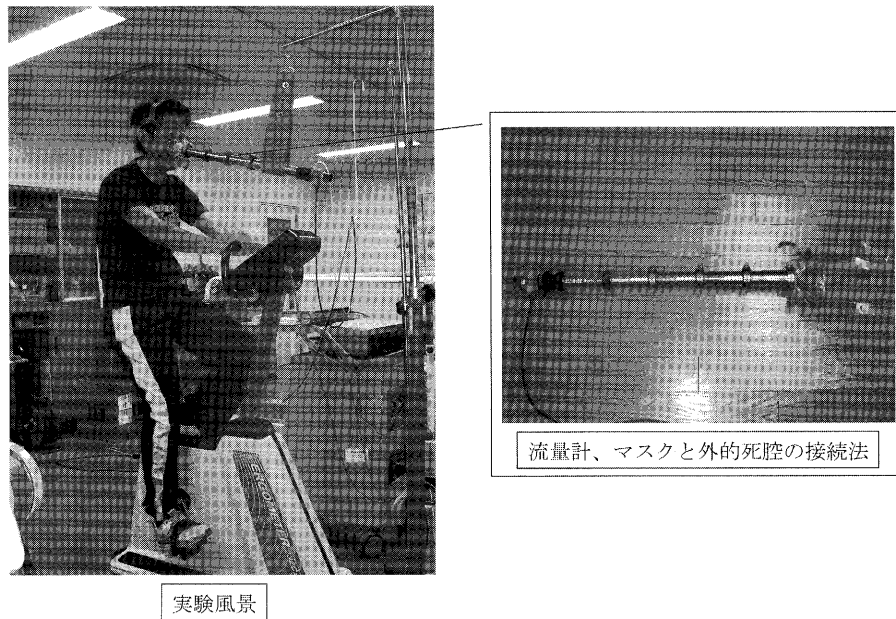


図2 外的死腔負荷方法

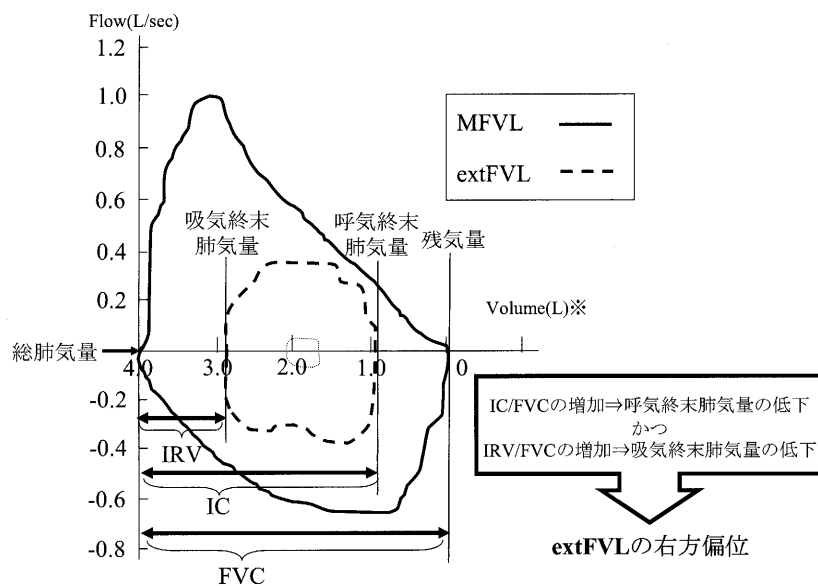


図3 運動時1回換気フロー・ボリューム曲線 (extFVL) と最大努力フロー・ボリューム曲線 (MFVL) の位置関係
IRV : 吸気予備量, IC : 深吸気量, FVC : 努力性肺活量
※残気量位を0Lとした。

有無における比較, extFVLの位相評価に安静時MFVLを用いた場合と, 運動時MFVLを用いた場合のIC/FVCおよびIRV/FVCの比較には, 時間を主効果とした二元配置分散分析法を用いた。さらに, 二元配置分散分析法にて有意差の認められた指標のみ, 測定時間ごとに対応のあるt検定を行なった。

統計ソフトはSPSS-version12.0を用いた。有意水準は5%とした。

結 果

本研究で用いた400 mlの外的死腔は, 各被験者の肺活量の $11.8 \pm 2.0\%$ に相当した。各負荷強度における体重あたりの分時酸素摂取量 (minute oxygen uptake/weight: $\dot{V}O_2/\text{kg}$), 分時換気量 (minute ventilation: \dot{V}_E), 1回換気量, 呼吸数, 死腔換気率 (死腔/1回換気量, dead space/ volume tidal: V_D/V_T), Borg C,

Borg L, 安静時および運動時MFVLを用いたIC/FVC, IRV/FVC, そしてFVCの外的死腔ありと外的死腔なしの各施行における値を表1に示した。外的死腔を負荷したことで, $\dot{V}O_2/\text{kg}$ は90% AT wattsの2分経過時と130% AT wattsの5分経過時に, また \dot{V}_E , 1回換気量, V_D/V_T はすべての時間帯で有意な増加を示した。IRV/FVCは, 安静時と運動時どちらのMFVLを用いた場合でも, 外的死腔を負荷したことによって, 90% AT wattsの2分, 5分経過時に有意な減少を示した。呼吸数, Borg C, Borg L, 安静時および運動時MFVLを用いたIC/FVC, そしてFVCには施行間で有意差は認められなかった。また, 安静時から運動時にかけてFVCに有意な変化は認めなかった。安静時MFVLを用いた場合と, 運動時MFVLを用いた場合で, IC/FVCおよびIRV/FVCに有意な変化は認めなかった。しかしながら, 各指標の値は運動強度が増すごとに乖離して行く傾

表1 死腔有無による各指標の変化

	rest DS (-)	90% AT watts			
		2 min		5 min	
		DS (-)	DS (+)	DS (-)	DS (+)
$\dot{V}O_2/\text{kg}$ (ml/kg/min)		22.6 ± 3.9	24.0 ± 4.7 *	23.1 ± 4.2	24.2 ± 4.3
\dot{V}_E (L)		31.9 ± 6.3	42.0 ± 9.6 *	33.6 ± 6.4	42.8 ± 7.7 *
1回換気量 (ml)		1299.3 ± 288.2	1610.8 ± 298.0 *	1314.5 ± 252.6	1648.0 ± 306.4 *
呼吸数 (回/min)		25.4 ± 6.6	26.9 ± 7.2	26.1 ± 5.8	26.9 ± 6.7
V_D/V_T		0.27 ± 0.02	0.41 ± 0.04 *	0.27 ± 0.02	0.41 ± 0.06 *
Borg C		2.1 ± 1.2	2.7 ± 1.4	2.9 ± 0.83	2.8 ± 1.6
Borg L		2.2 ± 1.1	2.4 ± 1.2	2.9 ± 1.2	2.5 ± 0.9
IC/FVC (%)	59.1 ± 5.1	72.8 ± 4.6	72.5 ± 6.1	73.8 ± 4.5	75.6 ± 4.9
IRV/FVC (%)	46.7 ± 5.8	34.4 ± 7.2	27.3 ± 5.6 *	37.6 ± 5.3	31.1 ± 8.0 *
IC/exFVC (%)		73.3 ± 5.8	74.8 ± 8.2	75.2 ± 6.1	76.9 ± 6.9
IRV/exFVC (%)		34.7 ± 7.5	28.1 ± 5.9 *	38.3 ± 5.7	31.7 ± 8.8 *
FVC (L)	3.75 ± 0.69	3.73 ± 0.73	3.66 ± 0.77	3.69 ± 0.73	3.70 ± 0.75
		130% AT watts			
		2 min		5 min	
		DS (-)	DS (+)	DS (-)	DS (+)
$\dot{V}O_2/\text{kg}$ (ml/kg/min)		30.9 ± 5.9	31.2 ± 5.7	32.4 ± 7.0	34.0 ± 6.9 *
\dot{V}_E (L)		46.9 ± 10.9	55.9 ± 10.3 *	51.1 ± 13.5	62.6 ± 15.5 *
1回換気量 (ml)		1621.5 ± 358.4	1857.5 ± 286.8 *	1612.3 ± 240.3	1871.0 ± 349.1 *
呼吸数 (回/min)		30.4 ± 10.3	30.8 ± 7.0	32.5 ± 11.5	34.8 ± 11.8
V_D/V_T		0.26 ± 0.02	0.38 ± 0.04 *	0.25 ± 0.02	0.36 ± 0.05 *
Borg C		4.4 ± 0.92	4.4 ± 1.5	4.9 ± 1.2	5.0 ± 1.3
Borg L		4.5 ± 1.5	4.0 ± 1.2	5.0 ± 2.3	4.9 ± 1.4
IC/FVC (%)		76.2 ± 6.0	76.6 ± 6.2	79.4 ± 6.9	78.4 ± 5.0
IRV/FVC (%)		28.7 ± 9.6	21.8 ± 8.1	34.2 ± 10.5	26.2 ± 9.7
IC/exFVC (%)		79.1 ± 9.8	78.7 ± 7.4	81.0 ± 8.1	84.3 ± 7.4
IRV/exFVC (%)		29.7 ± 9.5	22.2 ± 7.8	34.6 ± 10.3	28.1 ± 9.8
FVC (L)		3.64 ± 0.76	3.67 ± 0.77	3.71 ± 0.73	3.52 ± 0.80

DS (+): 外的死腔あり, DS (-): 外的死腔なし, $\dot{V}O_2/\text{kg}$: 体重あたりの分時酸素摂取量, \dot{V}_E : 分時換気量, V_D/V_T : 死腔/1回換気量, Borg C: 胸部疲労感, Borg L: 下肢疲労感, IC/FVC: 深吸気量/努力性肺活量, IRV/FVC: 吸気予備量/努力性肺活量, IC/exFVC: 運動時MFVLにおけるIC/FVC, IRV/exFVC: 運動時MFVLにおけるIRV/FVC, *: $p < 0.05$; 同じ測定時間におけるDS (-)とDS (+)との比較。

向にあった。

図4, 5に8名の被験者の中で、最も典型的な変化を示した1名の各負荷強度における extFVLの位相を示した。図4, 5に示したように、外的死腔を負荷したことにより呼気終末肺気量は変化せず、吸気終末肺気量が増加することでextFVLは拡大を示した。すなわち、外的死腔の負荷による extFVLの右方偏位は認められなかった。

考 察

本研究では、CHF患者にて報告されている extFVLの右方偏位⁵⁻⁷⁾の生理学的背景を検討するための予備研究として、健常人を対象に400 mlの外的死腔負荷に

よる extFVLの位相変化を検討したが、extFVLの右方偏位は認められなかった。

extFVLの位相評価は、評価に用いるMFVLによって影響を受ける⁸⁾。安静時MFVLと運動時MFVLは変わらないとする意見がある一方で⁶⁻⁸⁾、運動時のMFVLを検討する必要性を指摘するものもあり¹⁵⁾、本研究では安静時MFVLと運動時MFVLの両者を用い、それぞれでextFVLの位相を評価した。その結果、2条件間に有意差は認められなかったものの、位相評価に用いた各指標の値は運動強度が増すごとに乖離して行く傾向にあった。これは、高強度におけるMFVLが低~中等度の負荷におけるMFVLとは異なる可能性を示唆しており、今後のextFVLの位相評価に際して検討すべき課題とな

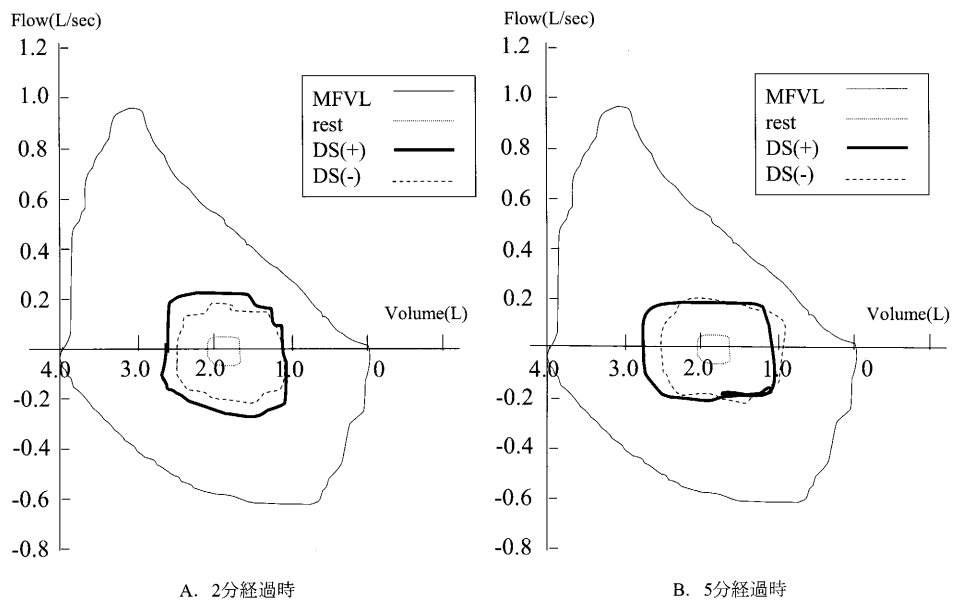


図4 90% AT watts時のextFVL

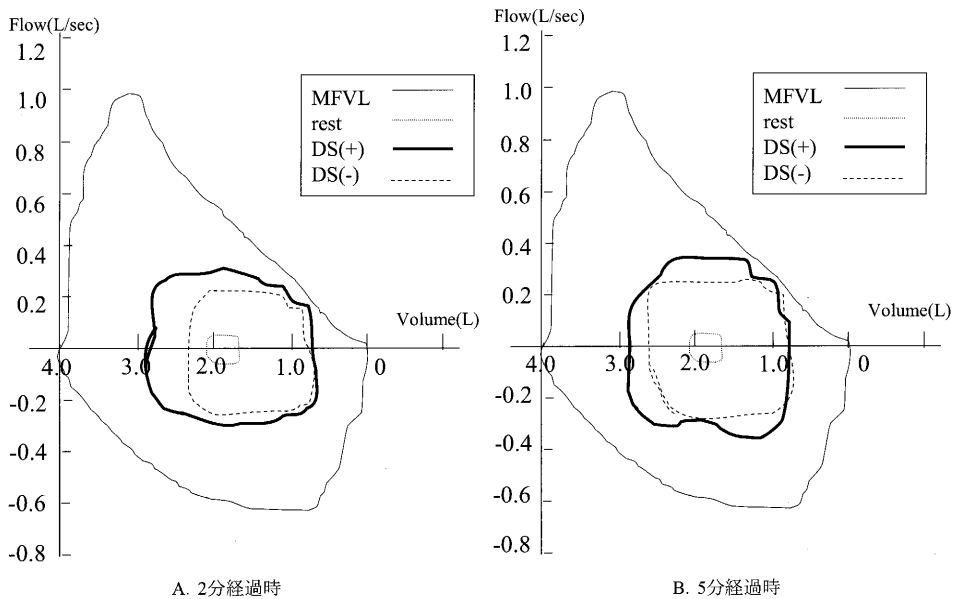


図5 130% AT watts時のextFVL

るものと思われた。

extFVLの位相は、図3に示したように吸気終末肺気量と呼気終末肺気量によって規定される。本研究では、先行研究に従い⁸⁾¹⁴⁾、IRV/FVC (%)とIC/FVC (%)をそれぞれの指標として用いた。本研究では、FVCは安静時から運動時にかけて有意な変化を示さず、また外的死腔の負荷によっても有意な変化を示さなかったことから、両値の変化はそれぞれIRV、ICの変化を反映しているものと思われた。本来ならば、吸気終末肺気量および呼気終末肺気量の変化は、IRVとICと共に総肺気量を測定した上で検討すべきであるが、健常者では最大負荷時でも総肺気量は変化しないとされることより¹⁶⁾、本研究ではIRV、ICの変化をもって吸気終末肺気量、呼気終末肺気量の変化とした。

本研究では、外的死腔と運動負荷を用いることで換気を亢進させ、運動時吸気終末肺気量と、呼気終末肺気量の変化を検討した。本研究で用いた400 mlの外的死腔は、対象者の肺活量の $11.8 \pm 2.0\%$ に相当した。この外的死腔の負荷により、運動時 V_D/V_T は有意に増加し、その値は各負荷強度における2分と5分経過時に、90% AT wattsで 0.41 ± 0.04 , 0.41 ± 0.06 , 130% AT wattsで 0.38 ± 0.04 , 0.36 ± 0.05 を示した。Myersらは、CHF患者35名を対象にトレッドミルでCPXを行い、 V_D/V_T がAT時に 0.29 ± 0.08 、最大負荷時に 0.28 ± 0.08 の値を示したと報告している⁹⁾。さらに、本研究では外的死腔の負荷により \dot{V}_E および \dot{V}_{O_2}/kg が共に有意な増加を示し、死腔増加による換気亢進とそれに伴う呼吸仕事量の増加が示された。以上のことから、本研究で用いた400 mlという外的死腔は、CHFに認められる運動時の死腔増加とそれに伴う換気亢進のモデルを作製するにあたり適切であったと思われる。

本研究では、外的死腔負荷により、 \dot{V}_E が定常状態にとどまった90% AT wattsでextFVLの右方偏位が認められなかったことから、死腔増加のみによる換気の亢進は右方偏位に関与しないことが示された。また、 \dot{V}_E が定常状態とならない130% AT wattsにおいても同様に右方偏位は認められなかったことから、死腔の増加に運動負荷による換気亢進が加わっても右方偏位は生じないことが示された。McClaranらは、高体力者を対象として、本研究よりも多いVCの約19%に相当する1 Lの外的死腔負荷を行い、漸増負荷運動におけるextFVLの変化を検討しているが¹¹⁾、extFVLの右方偏位は認められていない。さらにO'Donnellらは、extFVLは測定していないものの、健常男性を対象にFVCの約10%に相当する600 mlの外的死腔を負荷し、漸増負荷運動における吸気終末肺気量および呼気終末肺気量の変化を検討しているが、両者の低下は認められなかったとしている¹²⁾。定常負荷運動を用いた本研究もこれら2つの先行研究の

結果を支持するものとなった。これら2つに加え、外的死腔を負荷しない状態ではあるが、健常人では最大負荷までの漸増負荷運動中に、吸気終末肺気量と呼気終末肺気量両者の低下は認められないとする報告が多いことより¹¹⁾¹⁴⁾¹⁷⁾¹⁸⁾、外的死腔や運動負荷による換気亢進のみではextFVLは右方偏位を生じないものと思われた。また、外的死腔の負荷により、換気亢進は認められたものの労作時呼吸困難感の指標として用いたBorgCは有意な増加を示さず、その値も130% AT wattsの5分経過時で“ややきつい”から“きつい”の中間程度にとどまった。労作時呼吸困難感は最大換気量に対する換気量の比で表される相対的呼吸仕事量によって規定されるとすると¹⁹⁾、130% AT watts時において本研究の対象者は換気予備能を十分に有していたものと推測される。CHFにおけるextFVL右方偏位の生理学的背景には、換気亢進以外に胸郭・肺コンプライアンスや呼吸筋など換気予備能に関わる要因の関与が考えられており⁵⁻⁷⁾、今後は換気予備能の視点より検討する必要があると思われる。また、本研究で作成した運動時死腔増加モデルは、心拍出量が一定となる定常負荷運動時に外的死腔を加えることによって解剖学的死腔を増加させたモデルである。したがって、CHF患者で指摘されている低心拍出状態に伴う生理学的死腔の増加¹⁾⁹⁾¹⁰⁾と、生理学的背景が厳密に一致しないという点は、本研究の限界である。

CHF患者で報告されたextFVL右方偏位という質的異常は労作時呼吸困難感と関連するとされることから⁶⁾、その生理学的背景の検討は労作時呼吸困難感の生理学的機序の解明に結びつくことが期待される。今後はextFVLによる運動時換気反応の質的評価を、より多要因を複合させたモデルにて検討することが必要と思われる。

文 献

- 1) Sullivan MJ, Higginbotham MB, *et al.*: Increased exercise ventilation in patients with chronic heart failure: intact ventilatory control despite hemodynamic and pulmonary abnormalities. *Circulation* 77(3): 552-559, 1988.
- 2) Buller NB, Pool-Wilson PA: Mechanism of the increased ventilatory response to exercise in patients with chronic heart failure. *Br Heart J* 63(5): 281-283, 1990.
- 3) Clark AL, Poole-Wilson PA, *et al.*: The relationship between ventilation and carbon dioxide production in patients with chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol* 20(6): 1326-1332, 1992.
- 4) Al-Rawas OA, Carter R, *et al.*: Ventilatory and gas exchange abnormalities on exercise in chronic heart failure. *Eur Respir J* 8: 2022-2028, 1995.
- 5) Johnson BD, Beck KC, *et al.*: Pulmonary mechanics during exercise in patients with chronic heart failure. *Eur Respir J* 12(Suppl 28): 428S, 1998.
- 6) Johnson BD, Beck KC, *et al.*: Ventilatory constraints during exercise in patients with chronic heart failure. *Chest* 117(2): 321-332, 2000.

- 7) Schroeder CA, Balfe DL, *et al.*: Airflow limitation and breathing strategy in congestive heart failure patients during exercise. *Respiration* 70(2): 137-142, 2003.
- 8) Johnson BD, Weisman IM, *et al.*: Emerging concepts in the evaluation of ventilatory limitation during exercise. *Chest* 116(2): 488-503, 1999.
- 9) Myers J, Salleh A, *et al.*: Ventilatory mechanisms of exercise intolerance in chronic heart failure. *Am Heart J* 124(3): 710-719, 1992.
- 10) Wasserman K, Zhang YY, *et al.*: Lung function and exercise gas exchange in chronic heart failure. *Circulation* 96(7): 2221-2227, 1997.
- 11) McClaran SR, Wetter TJ, *et al.*: Role of expiratory flow limitation in determining lung volumes and ventilation during exercise. *J Appl Physiol* 86(4): 1357-1366, 1999.
- 12) O'Donnell DE, Hong HH, *et al.*: Respiratory sensation during chest wall restriction and dead space loading in exercising men. *J Appl Physiol* 88(5): 1859-1869, 2000.
- 13) Borg GA: Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 14(5): 377-381, 1982.
- 14) Nourry C, Deuelle F, *et al.*: Exercise flow-volume loops in prepubescent aerobically trained children. *J Appl Physiol* 99(5): 1912-1921, 2005.
- 15) Johnson BD, Beck KC, *et al.*: Advances in pulmonary laboratory testing. *Chest* 116(5): 1377-1387, 1999.
- 16) Younes Y, Kivinen G: Respiratory mechanics and breathing pattern during and following maximal exercise. *J Appl Physiol* 57(6): 1773-1782, 1984.
- 17) Johnson BD, Saupe KW, *et al.*: Mechanical constraints on exercise hyperpnea in endurance athletes. *J Appl Physiol* 73(3): 874-886, 1992.
- 18) McClaran SR, Harms CA, *et al.*: Smaller lungs in women affect exercise hyperpnea. *J Appl Physiol* 84(6): 1872-1881, 1998.
- 19) 山田純生, 河野裕治・他: 換気補助による主観的疲労感の軽減効果機序に関する研究. *心臓リハビリテーション* 10(2): 243-249, 2005.

〈Abstract〉

Change in Exercise Tidal Flow-Volume Loops with Added Dead Space during Exercise

Kotaro IWATSU, RPT

Program in Physical and Occupational Therapy, Nagoya University Graduate School of Medicine

Sumio YAMADA, PhD, RPT

Nagoya University Graduate School of Medicine

The purpose of this study was to investigate the physiological factor which contributed to the right shift in exercise tidal flow-volume loop (extFVL) observed in patients with chronic heart failure by Johnson BD. Eight healthy volunteers in our college underwent two-step constant load exercise which was composed of 90 and 130% work load of anaerobic threshold under the following two conditions, in randomized order: 1) control, and 2) added dead space of 400 ml. We compared extFVLs between these two conditions. The ratio of ventilatory dead space to tidal volume during exercise was significantly increased by adding dead space. As a result, extFVLs expanded with an increase in end-inspiratory lung volume, but it did not take on the right shift. This indicates that only the increase in dead space dose not contribute to the right shift in extFVL observed in patients with chronic heart failure. Future investigation will be necessary to examine other contributing factors.