一側上肢挙上運動と両側上肢挙上運動時における 呼吸循環反応の比較

Comparison of Respiratory and Cardiovascular Responses during Arm Elevation Exercise in Unilateral and Bilateral Arms

大友 真弓¹⁾ 佐藤 悠²⁾ 飯田 佳世³⁾ 佐々木 誠⁴⁾

MAYUMI OTOMO, RPT¹⁾, HARUKA SATO, RPT²⁾, KAYO IIDA, RPT³⁾, MAKOTO SASAKI, RPT, PhD⁴⁾

¹⁾ Department of Physical Therapy, Masu Memorial Hospital: 100 Sumiyosi, Nihonmatsu-shi, Fukushima 964-0867, Japan.
TEL +81 243-22-3100

²⁾ Department of Physical Therapy, Kyouritu Rehabilitation Hospital

³⁾ Department of Physical Therapy, Chigasaki Tokushukai Medical Center

⁴⁾ Course of Physical Therapy, School of Health Science, Akita University

Rigakuryoho Kagaku 18(2): 79-82, 2003. Submitted Jul. 10, 2002. Accepted Feb. 10, 2003.

ABSTRACT: The purposes of this study were 1) to compare respiratory and cardiovascular responses during arm elevation exercise in unilateral and bilateral arms and 2) to clarify the effect of change in respiratory pattern on respiratory and cardiovascular responses during both exercises of twelve healthy young volunteers, respiratory and cardiovascular responses were examined during two exercises. In both exercises breathing patterns consisted of two conditions; natural breathing and breathing with an extended expiration time. The results were as follows: In both arm elevation exercises, respiratory and cardiovascular responses were stronger under breathing with an extended expiration time than under natural breathing. Oxygen consumption (VO_2/kg) tended to be higher during bilateral arm elevation exercise, but under the breathing with an extended expiration time, there was no difference between the exercises. Rating of perceived exertion (RPE) was higher during unilateral arm elevation. These results suggest that unilateral arm elevation exercise may induce less load to respiratory and cardiovascular system than bilateral arm exercise, under the condition muscle strength of upper extremity are sufficiently maintained. In addition, breathing with an extended expiration time may contribute to decline of oxygen demand during bilateral arm elevation exercise.

Key words: arm elevation exercise, breathing with an extended expiration time, respiratory and cardiovascular responses

要旨：一側上肢挙上運動と両側上肢挙上運動時における呼吸循環反応を呼吸様式の相違の影響とともに比較し、生体への負荷を検討した。対象は健康若年者12名で、座位での一側上肢挙上運動と両側上肢挙上運動を、条件設定を加えない自然呼吸と呼気を延長させた呼吸パターンの状況下で行い、運動中の呼吸循環反応を測定した。一側、両側上肢挙上運動を呼気延長呼吸で行った際の呼吸循環反応は、自然呼吸での運動時に比べ、高い値を示した。運動様式の違いとして、両側上肢挙上運動の方が VO_2/kg が高値の傾向を示した($P=0.080$)が、呼気延長呼吸によって、その傾向を認めなくなった。RPEは一側上肢挙上運動の方が両側上肢挙上運動よりも高値となった。以上のことから、上肢の筋力が十分に維持された状態では、一側上肢挙上運動の方が生体に与える呼吸循環系への負担が少ないと考えられた。また、呼気延長呼吸は両側上肢挙上運動中の酸素需要量を減じる効果があることが示唆された。

キーワード：上肢挙上運動、呼気延長呼吸、呼吸循環反応

¹⁾ 枳記念病院リハビリテーション室：福島県二本松市住吉100（〒964-0867）TEL 0243-22-3100

²⁾ 協立リハビリテーション病院リハビリテーション科 ³⁾ 茅ヶ崎徳洲会病院リハビリテーション室

⁴⁾ 秋田大学医学部保健学科 理学療法専攻

受付日 2002年7月10日 受理日 2003年2月10日

I. はじめに

我々は、日常生活上で重量物を持ち上げたり、それを保持したりする動作を繰り返している。このような上肢挙上運動の生体への影響は代謝ならびに換気の要求を有意に増大させると言われている¹⁻⁴⁾。健常人や呼吸器疾患患者の上肢挙上運動に対する代謝・換気反応¹⁻⁴⁾はすでに検討されているが、一側と両側上肢挙上運動時の生体に与える負荷についての検討はあまりなされていない。

上肢運動時には呼吸補助筋群は肩甲帯の固定や上肢挙上保持に働き、呼吸筋としての働きが制限される⁵⁾。そのため、両側上肢挙上運動の方が、呼吸筋としての働きが制限され、呼吸循環反応が顕著に変化するのではないかと考えた。

また、慢性呼吸不全患者の多くは、呼吸が頻回で浅く、分時換気量は十分にあって、有効な換気量は減少していることが少なくない。このような場合、有効な換気を行うためには呼吸をゆっくりと行う呼吸法が良いとされ⁶⁾、一般に呼吸と吸気の時間を2:1とする歩行が推奨されている⁷⁾。横隔膜の動きを増加し、呼吸補助筋の活動を減少させることで、一回換気量が増加し、呼吸数、分時換気量を減少させる腹式呼吸が指導されている⁷⁾。このことから、呼吸時間を延長することで、一回換気量が増加し、より多くの酸素摂取が可能になり、上肢挙上位保持の負荷が軽減されるのではないかと仮説を立てた。

以上を検証するために、同一負荷の重量での一側、両側上肢挙上運動を行わせ、呼吸循環反応を比較するとともに、呼吸を延長した時の反応への影響について検討した。

II. 対象および方法

対象は健常若年者12名(男性6名、女性6名)であった。被検者の年齢、身長、体重、BMIの平均値±標準偏差はそれぞれ、 21.0 ± 0.9 歳、 167.6 ± 7.3 cm、 61.3 ± 7.5 kg、 21.9 ± 2.3 kg/m²であった。これらの被検者に対し、本研究の説明を行い、同意を得た。

方法として、まず、被検者に対し、測定前に背臥位にて10分程度の安静をとらせた。測定のための機器備品を装備し、座位にて安静をとらせ、測定を実施した。この際の値を安静時値とした。その後、座位で一側上肢(利き手)の場合と両側上肢の場合で、それぞれ手首に重錘バンドを付け、前腕中間位で肩関節を屈曲120°(ゴニオメーターにて計測)に3分間挙上し、保持させた。重錘は

外的負荷が同一であるように、一側上肢に1 kg、両側上肢にそれぞれ500 gとした。これらの2条件に対し、自然に呼吸した場合(以下、自然呼吸)と、メトロノームと検者の声がけにより呼吸:吸気=2秒:1秒となるよう設定した呼吸を行った場合(以下、呼吸延長呼吸)での呼吸循環反応を測定した。測定は、一側上肢挙上(自然呼吸)、両側上肢挙上(自然呼吸)、一側上肢挙上(呼吸延長呼吸)、両側上肢挙上(呼吸延長呼吸)の4測定とし、測定順序はランダム化し、各測定間には1日以上の間隔をあけた。測定パラメータのうち、分時換気量(以下 $\dot{V}_E$)、呼吸数(以下RR)、一回換気量(以下TV)、体重当たりの酸素摂取量(以下 $\dot{V}O_2$ /kg)はSensor Medics社製呼吸ガス分析器metabolic measurement system 2900Cを用いて測定した。心拍数は日本光電社製ベッドサイドモニターLife scope 8に送信された心電波形から算出した心拍数(以下HR)をコンピューターに取り込んで測定した。測定パラメータとして、座位での1分間安静時の終了前30秒間の値、3分間運動時の終了前30秒間の値を平均し用いた。さらにBorg scaleにて自覚的運動強度(以下RPE)を運動終了時に記録した。各測定条件が同一となるよう、環境は室温23℃前後に設定して行った。

値は平均値±標準偏差で表した。統計学的処理について、呼吸循環パラメータは、2種の上肢挙上それぞれの自然呼吸と呼吸延長呼吸との比較のために対応のあるt検定を用いた。また、自然呼吸ならびに呼吸延長呼吸それぞれにおいて、一側上肢挙上と両側上肢挙上とを対応のあるt検定を用いて比較した。RPEについては同様の比較のためにWilcoxon符号付順位和検定を用いた。

III. 結 果(表1)

まず、安静時の測定値には全ての条件で有意な差異は認められなかった。

$\dot{V}_E$ は、自然呼吸時の一側上肢挙上運動では 13.7 ± 5.7 l/min、呼吸延長呼吸時の一側上肢挙上運動では 20.3 ± 6.9 l/minであった。自然呼吸時の両側上肢挙上運動では 14.8 ± 6.7 l/min、呼吸延長呼吸時の両側上肢挙上運動では 21.1 ± 6.8 l/minであった。共に自然呼吸に比べ、呼吸延長呼吸の $\dot{V}_E$ は有意に高値であった($P < 0.05$)。また、RRは、自然呼吸時の一側上肢挙上運動では 17.0 ± 5.5 breaths/min、呼吸延長呼吸時の一側上肢挙上運動では 20.8 ± 1.5 breaths/minであった。自然呼吸時の両側上肢挙上運動では 16.8 ± 5.3 breaths/min、呼吸延長呼吸時の両側上肢挙上運動では 21.1 ± 2.2 breaths/minであった。これらは共に自然呼吸に比べ、呼吸延長呼吸でRRの値は有意に高値であった($P < 0.05$)。

表1 各上肢挙上条件における応答パラメータの測定値

		一側上肢挙上条件		両側上肢挙上条件		有意性
		安静時	挙上時	安静時	挙上時	
HR (bpm)	(自然呼吸)	80.27 ± 10.31	90.25 ± 11.14	77.33 ± 10.83	91.50 ± 9.79	* N.S.
	(呼気延長呼吸)	77.25 ± 12.71	95.50 ± 14.25	74.33 ± 8.98	94.25 ± 11.39	
VE (l/min)	(自然呼吸)	9.97 ± 3.60	13.68 ± 5.67	10.40 ± 4.17	14.76 ± 6.69	** N.S.
	(呼気延長呼吸)	11.95 ± 6.07	20.26 ± 6.92	10.47 ± 3.46	21.11 ± 6.80	
RR (breaths/min)	(自然呼吸)	15.91 ± 5.36	17.00 ± 5.51	15.33 ± 5.47	16.83 ± 5.31	** N.S.
	(呼気延長呼吸)	15.83 ± 4.47	20.83 ± 1.47	16.33 ± 6.24	21.08 ± 2.19	
TV (l)	(自然呼吸)	0.68 ± 0.25	0.86 ± 0.33	0.74 ± 0.34	0.93 ± 0.34	N.S.
	(呼気延長呼吸)	0.71 ± 0.24	0.98 ± 0.36	0.73 ± 0.42	1.02 ± 0.36	
VO ₂ /kg (ml/kg/min)	(自然呼吸)	4.12 ± 1.61	4.72 ± 0.89	4.71 ± 1.43	5.38 ± 1.17	P=0.080
	(呼気延長呼吸)	4.75 ± 1.54	5.28 ± 1.34	3.91 ± 0.95	5.10 ± 0.84	
RPE	(自然呼吸)		15.33 ± 1.97		14.58 ± 1.62	N.S.
	(呼気延長呼吸)		15.50 ± 1.73		14.17 ± 1.53	

平均値 ± 標準偏差

paired t-test, Wilcoxon 符号付順位検定

有意性；異なる上肢挙上条件間の挙上時の比較

* P=0.053, ** P<0.05, N.S.; not significant

しかし、TVでは値の有意な差は認められなかった。さらに、呼気を延長すると、両側上肢挙上運動において、HRが高値になる傾向がみられた (P=0.053)。

一側上肢挙上運動と両側上肢挙上運動を比較した場合にHR、VE、RR、TVに有意な差は認められなかった。しかし、自然呼吸でのVO₂/kgは、両側上肢挙上運動では4.7 ± 0.9 ml/kg/min、一側上肢挙上運動では5.4 ± 1.2 ml/kg/minであった。両側上肢挙上運動で一側上肢挙上運動よりもVO₂/kgが高値である傾向が示された (P=0.080)。この傾向は呼気延長呼吸では認めなかった。呼気延長時には、RPEは一側上肢挙上運動15.5 ± 1.7に対し、両側上肢挙上運動14.2 ± 1.5で有意に低値であった (P<0.05)。

IV. 考 察

今回、我々が普段何気なく行っている上肢挙上運動で起こる呼吸循環反応に着目し、その動作の中でも一側上肢挙上と両側上肢挙上における反応の違いについて検討を試みた。

これらの上肢運動に関係する筋群は多くが補助呼吸筋としての働きもあり、両側上肢挙上運動の方が、これらの筋群の呼吸筋としての働きが制限され、呼吸循環反応が影響されやすいのではないかと考えた。また、呼気を延長することで一回換気量の増加が期待され、多くの酸

素の摂取が可能となるため、自然呼吸よりも上肢挙上による呼吸循環反応が少ないのではないかと仮説を立てた。これらの仮説を検証し、より効率の良い方法を見出すことで、酸素運搬能力の低下している者の日常生活動作や上肢トレーニングに応用できるのではないかと考えた。

結果から、一側上肢挙上運動、両側上肢挙上運動共に呼気延長呼吸ではVEならびにRRが高値であった。さらに、呼気延長時の両側上肢挙上においてHRが高値である傾向がみられた。このVEが高値であったことについてその要因をRRが高値であったことに帰することができると考えられた。呼吸の吸気相では横隔膜が下降することにより、胸腔内圧は陰圧になる⁸⁾。静脈環流量は静脈を圧迫する筋ポンプ作用や胸腔内圧の陰圧による呼吸ポンプ作用などによって維持されている⁹⁾。健常者における安静時の呼吸1サイクル中の吸気時間は呼気時間の約半分とされている¹⁰⁾。しかし、上肢挙上運動時では慢性閉塞性肺疾患患者における呼気時間と吸気時間の比はおおよそ1.63:1とのデータがあり¹⁾、健常者でもほぼ1.23:1であったとされている²⁾。すなわち、呼吸器疾患の有無に関わらず、上肢挙上運動中では吸気時間は呼気時間の半分を上回る。本研究結果より、RRは呼気延長呼吸で有意に高値であったことから呼気延長呼吸では呼吸1サイクルの時間が短く、かつ、1サイクル中の相対的な吸気時間は短

かったものと考えられる。呼気延長呼吸では、胸腔内圧の陰圧時間の短縮により静脈環流量は自然呼吸よりも減少し、そのため、特に、胸郭の動きが制限される両上肢挙上で、一回拍出量の不足を補うようにHRの増加が起きたものと考えられた。これは、今回設定した3秒1サイクルの呼吸様式を4秒：2秒、すなわち、6秒1サイクルなどのゆっくりした呼吸様式にした場合に抑制し得る可能性がある。

一側上肢挙上運動と両側上肢挙上運動を比較したところ、HR、VE、RR、TVに有意な差はみられなかったが、自然呼吸において $\dot{V}O_2/kg$ が両側上肢挙上運動で高値になる傾向が認められた。上肢の運動には呼吸運動のために使われるShoulder girdleのいくつかの筋肉群（大胸筋、僧帽筋など）が動員されているため、横隔膜への負担が増えると考えられている¹¹⁾。この上肢挙上中の、横隔膜の動員の増大は、呼吸器疾患患者^{12, 13)}のみならず健常者^{13, 14)}においても認められている。さらに、呼吸器疾患患者では上肢挙上運動によって非同調呼吸が助長され^{12, 13)}、吸気と呼気の経横隔膜圧の差異が増大することが示されており^{1, 3)}、これらの現象は健常者でも確認されている^{4, 14)}。これらの要因によって、自然呼吸における両上肢挙上運動の方が、両条件で合計1 kgに統一した外的負荷（重錘）に加えて、一側上肢分だけ重い重量を挙上しておくために、活動する骨格筋量が多いことと相まって、 $\dot{V}O_2/kg$ が高値であったと考えられる。呼気延長呼吸ではこの差異のある傾向は認められなくなり、呼吸様式を変えることで、横隔膜活動が呼吸相と同期した効率的な呼吸がもたらされた可能性がある。RPEについては、一側上肢挙上運動の方が両側上肢挙上運動よりも疲労の訴えが強かった。これは、RPEの値が主に上肢の疲労感を反映していたために、重量は同じでも一側上肢挙上運動では、両側上肢挙上運動の倍の重量が一側上肢のみに負荷されていたためと考えられた。

これらのことから、重量物を挙上するような動作をする時は、一側上肢を挙上する運動の方が上肢筋に与える負荷は大きい、生体に与える呼吸循環反応の変動は少ないと言えるものと考えられた。よって、酸素運搬能力が低下している者の日常生活動作や上肢トレーニングを行う際は、上肢筋力が十分に維持・増強された上で、一側上肢運動にて行う方法が呼吸循環系への負担が少ない

と考えられた。また、呼気延長呼吸は両上肢挙上運動中の酸素需要量を減じる効果があることが示唆された。

引用文献

- 1) Criner GJ, Celli BR: Effect of unsupported arm exercise on ventilatory muscle recruitment in patients with severe chronic airflow obstruction. *Am Rev Respir Dis*, 1988, **138**: 856-861.
- 2) Breslin EH, Adams E, Lutz A, et al.: Instrument development in the measurement of unsupported arm exercise endurance in normal adult subjects. *Arch Phys Med Rehabil*, 1993, **74**: 649-652.
- 3) Martinez FJ, Couser JJ, Celli BR: Respiratory response to arm elevation in patients with chronic airflow obstruction. *Am Rev Respir Dis*, 1991, **143**: 476-480.
- 4) Couser JJ, Martinez FJ, Celli BR: Respiratory response and ventilatory muscle recruitment during arm elevation in normal subjects. *Chest*, 1992, **101**: 336-340.
- 5) 高橋哲也：上肢筋訓練法．宮川哲夫，黒川幸雄 責任編集，理学療法 MOOK4 呼吸理学療法，三輪書店，東京，1999，pp145-151．
- 6) 芳賀敏彦，高木昭輝，高橋正明・他：リハビリテーション医学講座 第17巻 循環器疾患／呼吸器疾患．医歯薬出版，東京，1995，pp159-161．
- 7) 千住秀明：改訂 呼吸リハビリテーション入門 理学療法士の立場から．神陵文庫，神戸，1993，pp100-104．
- 8) 石田 暉，江藤文夫，里宇明元：呼吸リハビリテーション．医歯薬出版，東京，1999，pp24．
- 9) 沼田克雄，奥津芳人：新版 図説ICU 呼吸管理編．真興交易出版部，東京，1996，pp 244．
- 10) 前田光一，成田亘啓：呼吸異常．呼吸器病 New Approach 1 症候からみた診断へのアプローチ．永井厚志，大田健，飛田渉・編，メジカルビュー社，東京，2001，pp 183-189．
- 11) 高松 一，中原祥文，平田俊幸・他：上肢挙上運動を中心とした運動療法を実施し運動耐容能の改善を認めたHugh-Jones IV度の慢性閉塞性肺疾患患者（COPD）の一例．臨床スポーツ医学，1997，**14**(8)：939-940．
- 12) Celli BR, Rassulo J, Make BJ: Dyssynchronous breathing during arm but not leg exercise in patients with chronic airflow obstruction. *N Engl J Med*, 1986, **314**: 1485-1490.
- 13) Breslin EH: Dyspnea-limited response in chronic obstructive pulmonary disease: reduced unsupported arm activities. *Rehabil Nurs*, 1992, **17**(1): 12-20.
- 14) Breslin EH, Garoutte BC: Respiratory responses to unsupported arm lifts paced during expiration. *W J Nurs Res*, 1995, **17**(1): 91-100.