呼気圧測定に関する研究[※]

鶴崎 孝^{※※}・垂井不二男^{※※}

Studies on the Measurement of Expiratory Pressure

Takashi TSURUSAKI[†] and Fujio TARUI[†]

1. 緒 言

これまで、「農作業の作業者に及ぼす生理的な影響」を知るには、心拍数、呼気量、エネルギー代謝量、筋電図およびフリッカー値などがよく測定されてきた^{1), 2)}。

われわれは、作業や運動が烈しければ息も荒くなることに着目し、呼気の動圧の測定方法について研究した。その結果、昭和51年8月、呼気圧の簡単な測定装置を試作し、その大要を報告した³⁾。

本報は、静的作業ならびに歩行、運搬作業における呼気圧を測定し、その実用性を検討するとともに、呼気量・心拍数やエネルギー代謝率などとの相互関係を考察したものである。

2. 呼気圧計の概要

試作した呼気圧計の動圧取出し部および測定部は第1図、第2図に示すとおりである。労研

第1図 呼気の動圧取出し部

式のマスキングと呼吸誘導管を使用し、この管の先端に加工したコルクの栓をして、長さ約4mのゴム管で傾斜管式マノメータを連結したものである。

第2図 呼気圧の測定部

呼気圧は、呼気の動圧で移動するガラス管内の液体の最大斜距離を目盛板によって測定し、次式から求めた。すなわち、

$$P = \ell \cdot (\sin \alpha + \sin \beta) \cdot \rho \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

ただし、P：呼気圧 (g/cm²)

ℓ：液体の移動距離 (cm)

α, β：ガラス管の傾斜角

ρ：液体の密度 (g/cm³)

である。上式で、α = 8°, β = 32° で、ρ = 0.789のアルコールを使用し、ℓをmm単位で測定すれば、

$$P = 0.053 \ell \text{ (g/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

となる。

なお、液体は密度が小さく、蒸発が少ないエチルアルコール (C₂H₅OH) で、この読取りを容

※ 昭和53年6月17日受理、第12回講演会において発表

※※ 愛媛大学農学部、松山市鶴味三丁目5-7、〒790

† Faculty of Agr., Ehime Univ., Tarumi, Matsuyama-shi, Ehime, 790

易にするため赤色着色剤 (Eosin Y ; $C_{20}H_6O_5Br_4Na_2$) を溶かした。

3. 実験方法

1) 被験者

被験者は第1表に示すとおりで、健康な成年男子9名、女子1名であった。安静時における呼気圧、呼吸数、心拍数の測定には10名が被験者となり、基礎実験、応用実験についてはこれらの被験者から1～4名を選出した。なお、体表面積は次式 (昭・44改訂、栄審) により求めた。

$$A = W^{0.444} \times H^{0.663} \times 88.83 \dots\dots\dots ②$$

ただし、A : 体表面積 (m^2)

W : 体重 (kg)

H : 身長 (cm)

第1表 被験者の年齢、体格

被験者 区分	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J [*]
年齢 才	35	31	23	23	22	22	22	22	21	22
身長 cm	167	164	171	166	175	170	165	162	163	153
体重 kg	55	64	70	60	65	59	53	64	53	45
体表 m^2	1.56	1.65	1.77	1.62	1.74	1.63	1.52	1.64	1.51	1.35

注1) *女子

2) 測定法

作業は、立位でコンテナをかかえて静止状態をとる静的作業と、歩行およびコンテナをかかえて運搬する動的作業で、各々の作業負担は速度および重量を増減して変化させた。

なお、すべての測定において、被験者の食後1時間および飲水後30分間は測定をさけた。

実験期間は昭和52年1月中旬から3月中旬までで、作業環境としては気温15℃～20℃、相対湿度44%～73%であった。

(1) 呼気圧測定

傾斜管式マノメータを用いて作業前後の安静時に3分間連続測定するとともに、作業中 (静的作業)、作業後は1～2分間

ごとに連続5回測定し、心拍数がほぼ安静値に回復する時点まで測定を続けた。ただし、歩行および運搬作業中 (動的作業) の呼気圧は測定できなかった。

(2) 心拍数測定

デジタル式ハートレートテレメータを用いて安静時および作業中、作業後の換算心拍数を15秒間ごとに読み、記録した。また、呼気圧測定の被験者に送信機を装着させて、心拍数と呼気圧の同時測定を試みた。

(3) 呼気量測定

労研式ガスマスクおよびダグラスバッグによって、安静時および作業中、作業後の呼気を採集し、乾式標準型ガスメータで測定した。なお、呼気量の測定は、呼気圧測定と並行することができないので、各被験者とも十分な安静をとって、同じ作業を二度くり返し、呼気量、呼気圧の順に測定して同一の作業負担で両者の関係を見た。

4. 実験結果と考察

1) 安静時および作業時・作業後の呼気圧

(1) 安静時

被験者10名の安静時における呼気圧および呼吸数、心拍数は第2表のとおりである。

呼気圧は0.055～0.111 g/cm^2 と個人差がかなりあり、同時に測定した呼吸数、心拍数などとの関係はほとんど認められなかった。

(2) 作業時・作業後

被験者Aについて、立位静止状態で、5、10、21 kg のかかえ作業を5分間行った。結果を第3図に示す。

静的作業における作業者の生理的負担の大きさが重量に比例して、経時的に呼気圧に現れた。これは作業者の手、腕の部分に加わった作業負

第2表 安静時における被験者の呼気圧、呼吸数、心拍数

被験者 区分	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J [*]	$\bar{X}$	S
呼気圧 g/cm^2	0.061	0.095	0.071	0.108	0.111	0.065	0.064	0.074	0.093	0.055	0.080	0.019
呼吸数 回/分	19.0	15.5	13.3	12.4	16.4	14.0	22.6	10.8	17.7	14.5	15.6	3.3
心拍数 回/分	64.0	67.2	69.5	64.8	70.2	62.1	76.0	78.0	54.3	84.5	69.1	8.3

注 1) *女子

2) $\bar{X}$: 平均値, S : 標準偏差

第3図 かかえ作業時、作業後の呼気圧の変化

担を主に表すものとみてよからう。また、作業後の呼気圧は心拍数などの回復状況とよく類似している。

次に、第4図は速度別歩行後の呼気圧の経時の変化である。

第4図 速度別歩行後の呼気圧の変化

呼気圧は歩行速度による差ははっきりあらわれた。そして、作業終了直後の値がかなり大きいものも安静値への回復時間は約4分と短く、心拍数などで経験する回復曲線⁵⁾よりも少し急な下降線を描くようである。

さらに、被験者4名の歩行作業後の呼気圧を測定し、安静値にほぼ回復したと判断される作業終了後4分間の平均呼気圧を求めて、歩行速度との関係をみたのが第5図である。

各被験者とも、個々には相関関係の高い直線

的回帰であらわされるが、全体的には個人差の大きいことがわかった。

第5図 被験者別の歩行速度と呼気圧の関係

2) 呼気圧指数の算定

作業が同一であっても呼気圧には個人差があるので、これをできるだけ小さくする目的で、次式による指数を考え、これを呼気圧指数E.P.I. (Expiratory Pressure Index) と唱えた。

$$E.P.I. = \frac{P'}{P} \quad \text{..... ③}$$

ただし、 P' ：作業終了後一定時間内の平均呼気圧

P ：安静時の呼気圧

第6図 歩行速度と呼気圧指数 (E.P.I.) の関係

次に、第5図の呼気圧を各々のE.P.I. で表わせば第6図のようになり、相関係数も0.93と高く、個人差もほとんどなくなり、目的を達し得た。

3) 心拍数および呼気量と呼気圧の関係

(1) 心拍数と呼気圧

被験者3名について、歩行作業後の心拍数と呼気圧を同時測定し、作業終了後1分間の平均値から両者の関係をみると第7図のようになり両者間には非常に高い相関関係があった。

第7図 作業後の心拍数と呼気圧の関係

(2) 呼気量と呼気圧

呼気量と呼気圧は、理論的には比例関係にあるはずである。まず、歩行速度と作業呼気量との関係を、4名の被験者について求めると第8図のようになった。ただし、作業呼気量とは作業中および回復期の呼気量から安静値を差引き作業1分間あたりに換算した呼気量である。

次に、作業呼気量と呼気圧から求めたE.P.I.は、同じ歩行作業の速度Vによって関連づけられるから、④と⑥式より、

$$Q = 73.53 \log E - 1.96 \dots \dots \dots \textcircled{7}$$

の関係式を求めた。この式の定数項は実験上の誤差である。

4) E.P.I.とエネルギー代謝率の関係

エネルギー代謝率(R.M.R.)は、一般によく用いられる筋作業の強度指数であるが、この測定には高度の熟練と多くの時間を必要とする。

第8図 被験者別の歩行速度と作業呼気量の関係

そのため各方面で、いくつかの生体機能を測定することによってR.M.R.の推定を試みている。ここではE.P.I.とR.M.R.の関係を検討してみることとした。

沼尻氏は作業呼気量とR.M.R.の関係について、歩行的作業(下肢)と上肢作業を区別し、それぞれの回帰直線を推定している。前者の方程式は、

$$Q = 5.54 \cdot R \dots \dots \dots \textcircled{8}$$

ただし、Q:作業呼気量(l/分)

R:R.M.R.

である。

この式と⑦式より、E.P.I.とR.M.R.の関係図、第9図を得た。

これらから、歩行的作業においては、安静時と作業終了後の呼気圧を測定することによってR.M.R.がほぼ推定できることになった。

第9図 E.P.I.とR.M.R.の関係

そこで、具体的な応用例として、被験者1名で、かかえ運搬作業について実験を行い、作業後の呼気圧を測定し、R.M.R.との関係をみたら第10図のようになった。

第10図 かかえ運搬作業の歩行速度と作業強度

すなわち、歩行(空)は直線的に増加し、かかえ運搬(実)は60m/分前後の速度において最小値を取り、曲線的な増加をしている。ここで、呼気圧のスケール…(縦軸)にE.P.I.およびR.M.R.のスケールを並立させてみると、作業負担の大きさに対応した生体負担ならびに作業の強さを概略的に知ることができるようである。

5. 圃場での実験事例

昭和52年12月、温州みかん園の連絡道において、果実の運搬作業を行ったときの、呼気圧測定の実地応用例の結果を第3表に示す。

このときの被験者は男子(20才)で、歩行、肩かつぎ運搬、新式・旧式の一輪車および二輪車運搬で、試作一、二輪車の価値を判定しようとしたものである。運搬路は幅員約1m、全長約80m、勾配10~17°で、往路(上り)は空荷、復路(下り)を実荷とした。呼気圧は1往復の作業終了後30秒間の平均値とし、各試験とも心拍数が安静値に回復するまで十分な休息をとった。

第3表において、作業後の呼気圧およびE.P.I.は各運搬作業の負担に差異のあることを表わしている。すなわち、運搬重量が等しく、作業時間および歩行速度がほぼ同じくらいであると見れば、呼気圧は一輪車と二輪車、また新式と旧式との間に作業負担の大小があることを示しているの、作業強度の判別をするものさしになり得ると思われる。

6. 要約と結言

農作業が作業者に及ぼす生体負担をとらえる新たな方法として、簡便な呼気圧計を試作した。これの実用性を検討するため、主に歩行作業、特に運搬作業について呼気圧を実測し、研究を進めた結果の要約は次のようである。

① 安静時および作業後の呼気圧は、個人差がかなり大きい。しかし、作業時における定常状態の成立や作業後の指数函数的な回復曲線などは他の生体機能測定でみられるのとはほぼ類似していた。作業直後の平均呼気圧は静的作業、

第3表 みかん運搬作業における呼気圧

測定項目 作業区分	作 業 時 間			歩行速度		作業後	E. P. I.	備 考	
	往・横	復・下ろす	計	往	復	呼気圧			
歩 行 (空)	1.57	1.52	3.09	51.0	52.6	0.066	1.1		
肩 かつ ぎ	1.42	1.53	2.95	56.3	52.3	0.085	1.4	21kg×1	
一 輪 車	新 ①	2.33	2.02	4.35	43.2	50.6	0.120	2.1	21kg×3
	＃ ②	2.53	2.00	4.53	42.1	47.1	0.110	1.9	
	旧 ①	2.80	1.98	4.78	41.5	47.9	0.189	3.2	
	＃ ②	2.53	2.00	4.53	40.6	47.1	0.178	3.1	
二 輪 車	新 ①	2.28	2.05	4.33	41.0	47.6	0.136	2.3	21kg×3
	＃ ②	2.25	1.90	4.15	43.7	52.3	0.166	2.9	
	旧 ①	2.50	1.93	4.43	36.9	50.6	0.281	4.8	
	＃ ②	2.41	1.92	4.33	41.5	49.4	0.262	4.5	

注1) 安静時平均呼気圧 0.058g/cm² 2) ①, ②実験回数

動的作業にかかわらず作業負担が大きいほど高く、小さいほど低くなる傾向を示すので、負担の程度をおおむね把握することができる。

② 呼気圧は同じ作業でも個人差が大きい。しかし、呼気圧指数 (E.P.I.) によって作業の強度を知り得ることがわかった。すなわち、 $E.P.I. = P'/P$ 、ただし、 P' : 作業終了後一定時間内の平均呼気圧、 P : 安静時の呼気圧、である。

③ 歩行作業後の呼気圧と心拍数との間には個人差の少い、非常に高い順相関の関係が成立し、一次式が推定された。

④ 呼気量と呼気圧については、同一の作業における作業呼気量 (Q) と $E.P.I.$ (E) との関係からみると、 $Q = a \log E - e$ 、(a : 定数、 e : 誤差) なる指数函数式で表わされる。

⑤ $E.P.I.$ と $R.M.R.$ の間には指数函数的な関係がある。すなわち、呼気圧によって $R.M.R.$ が推定され、作業負担の軽重を把握できた。このことは、現地での運搬作業実験においても確認された。

本論文は愛媛大学総合農学研究彙報第 20 号 (1977) において報告した内容に、多少の補足、修正を加えたものである。

最後に、本研究にあたり、ご協力をいただいた佐原助教授 (現、筑波大学)、元根事務官、ならびに本研究室専攻学生梅田君に対し厚くお

礼を申し上げます。また、現地実験は愛媛県果樹試験場岡添、渡部両主任研究員、愛媛県農林技術センター福本専技、ならびに伊予農業改良普及所の各位と共に行ったものである。ここに感謝の意を表します。

7. 参考文献

- 1) 酒井学, 阿見艶子 : (1968), 心拍数とエネルギー代謝率との関係 (続報), 農業機械学会誌第 30 巻第 3 号, P. 180~183。
- 2) 佐原伝三 : (1972), 乳牛舎における作業姿勢と作業強度の分析, 農業機械学会誌第 35 巻第 3 号, P. 299~302。
- 3) 垂井不二男・鶴崎孝 : (1977), 呼気圧計の試作と呼気圧指数, 愛媛大学総合農学研究彙報第 20 号, P. 85~88。
- 4) 橋本邦衛・遠藤敏夫 : (1973), 生体機能の見かた (人間工学への応用), 人間と技術社, P. 4~18。
- 5) 桐原葆見 : (1957), 疲労判定のための機能検査法, 日本産業衛生協会出版部, P. 165~218。
- 6) 沼尻幸吉 : (1955), 労働の強さと適正作業量, 労働科学研究所出版部, P. 197~201。