原著

上肢の反復的コンベア作業時における

エネルギー代謝率

ビデオ組立工程について

中 村 栄太郎*, 田 口 貞 善*, 藤 木 幸 雄**
兼 高 明 生**, 永 田 久 紀***

EFFECT OF LOCAL SUSTAINED STRESS ON GENERAL
OXYGEN CONSUMPTION IN BELT
CONVEYER WORKERS

Eitaro NAKAMURA,* Sadayoshi TAGUCHI,* Yukio FUJIKI,**
Akio KANETAKA** and Hisanori NAGATA***

The modern mechanization and rationalization of production procedures have recently reduced the intensity of work in most factories. However, it has been pointed out that monotonous inactive work and/or co-operative work can in some sense impose stronger mental and physical stresses which may induce ill health in workers.

In this study, assuming the assembly and adjustment of videotape-recorders on a belt conveyor to be representative of monotonous inactive and co-operative work, changes in oxygen consumption, heart rate, blood pressure, body temperature, critical flicker fusion and subjective symptoms of fatigue throughout a workday have been followed for six female workers engaged in this type of work.

The main results obtained were as follows:

- 1) The average oxygen consumption of six workers was 230 ml/min, almost unchanged during the work.
- 2) The belt conveyor work indicated the metabolic rate of 0.3 in terms of relative metabolic rate.
- 3) The net daily energy expenditure due to the work was only about 100 kcal.
- 4) The average heart rate during assembly and adjustment were respectively, about 1.4 and 1.2 times the average heart rate at rest.
- 5) The blood pressure and the rate of oxygen removal increased slightly as the work progressed in assembly work, but did not increase at all in adjustment work.
- 6) The critical flicker fusion and body temperature showed little change during the work.

I. 緒 言

近年, 産業界における急速な技術革新によって, 工場

は機械化, 自動化が進み, その労働態様は過激な肉体労働から監視作業へと大きく変わってきた。生産過程の機械化, 自動化は生産効率を向上させ, 重筋労働による作業負担を軽減してきたが, 反面, 動きの少ない単調労働が原因とされる局所疲労や, 生産の高度の管理化および能率化による精神疲労の蓄積が労働衛生上の問題となってきた。そして, この労働態様が若年労働者に主として発生している頸肩腕障害, 腰痛症, 神経症等の健康障害, および中高年労働者に増加する高血圧, 動脈硬化性疾患, 代謝性疾患, 胃・十二指腸潰瘍等の成人病の引き金となっていることが明らかにされるにつれ, その対策

* 京都大学教養部保健体育学教室

** 松下産業衛生科学センター

*** 京都府立医科大学衛生学教室
昭和58年8月10日受付

* Department of Health and Physical Education,
College of Liberal Arts, Kyoto University

** Matsushita Science Center of Industrial Hygiene

*** Department of Hygiene, Kyoto Prefectural
University of Medicine

Received for publication, August 10, 1983

Table 1. Physical characteristics of subjects.

Job	Subject	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	Body surface area* (m ²)	Basal metabolism (ml/min)
Assembly work	I. N.	22	153.2	47.5	1.39	163.3
	H. I.	31	150.2	58.0	1.49	168.9
	F. U.	41	158.0	50.0	1.45	161.4
Adjustment work	T. A.	20	159.0	56.5	1.53	179.8
	H. O.	31	156.0	47.0	1.39	157.6
	T. K.	40	146.0	57.2	1.48	164.8

* Calculated with Fujimoto's formula.

Fig.1. Work and measurement schedules.

が大きな社会問題となってきた¹⁻⁴⁾。

しかし、現在までのところ、機械化、自動化が進んだ工場におけるコンベア作業等の単調・繰り返し作業中の作業強度をエネルギー代謝率(Relative Metabolic Rate)からみた研究はまだ数少ない^{5,6)}。

本研究では、機械化、自動化の非常に進んだ某電気機具製造業のビデオ製造部門のコンベア作業を対象として、その生体への負担を主としてRMRより検討した。

II. 研究方法

1. 被検者

被検者はコンベア作業に従事する6名の健康な女子である。その中の3名はビデオテープレコーダの電子部品の組立作業(assembly work)のうち本体の3か所にセラミック・コンデンサーを挿入する作業に、他の3名はほぼ完成したビデオテープレコーダを左手でスイッチを操作し、右手でドライバーにより調整する調整作業(adjustment work)に従事していた。

両作業の基本的な作業形態は椅子に腰をおろし、上体を前傾して、両腕を前に抱え込むような姿勢で反復的に行う作業である。本報の被検者の年齢および身体的特徴はTable 1に示したとおりである。

2. 測定項目

測定項目は、心拍数、体温、血圧値、フリッカー値、酸素消費量、疲労の自覚症状および歩行数調査である。

3. 実験方法

実験は夏季(1982年8月)に、室温約28°Cに調節された作業場で行った。作業者の勤務時間中の標準的行動と測定計画の概要はFig.1に示したとおりである。

被検者は作業開始1時間前までに出勤し、健康管理室で安静にすることが求められた。就労前の安静時の測定(以下、安静時と略す)として、まず心拍数、体温、血圧とフリッカー値の測定が、続いて疲労の自覚症状調査、最後に酸素消費量の測定を行った。作業中の4回の測定も、安静時の場合と同じ測定項目について、同じ手順と方法で行った。

なお、安静時の心拍数は触診法にて、血圧は通常の水銀血圧計を用いて、体温はナショナル自動体温計を用いて測定した。フリッカー値は柴田社製フリッカー測定器を使用して閃光融合閾測定法によって5回測り、値の最も大きいものと小さいものを除き、中の三つの値の平均値を測定値とした。また、酸素消費量はDouglas bag法によって5分間の呼気ガスを採集し、呼気量を乾式ガスメータ(品川製作所)で計量し、呼気中のO₂およびCO₂濃度をコーニング血中ガス分析器(コーニング

Table 2. Oxygen consumption and relative metabolic rate (RMR) during assembly and adjustment work.

Job	Subject	Oxygen consumption (ml/min) (RMR)						Energy expenditure in duty hours (7.5 hr)	
		Rest	1st measure- ment	2nd measure- ment	3rd measure- ment	4th measure- ment	Mean	Net (kcal)	Gross (kcal)
Assembly work	I. N.	179	213 (0.21)	204 (0.15)	197 (0.11)	240 (0.37)	213.5 (0.21)	74.8	466.0
	H. I.	192	249 (0.34)	252 (0.36)	243 (0.30)	287 (0.56)	257.8 (0.39)	143.8	562.6
	F. U.	189	207 (0.11)	223 (0.21)	254 (0.40)	268 (0.48)	238.0 (0.30)	105.7	519.4
	Mean	186.7	223 (0.22)	226 (0.24)	231 (0.27)	265 (0.47)	236.4 (0.30)	108.1	516.0
Adjust- ment work	T. A.	194	217 (0.13)	263 (0.38)	231 (0.21)	218 (0.13)	232.2 (0.21)	82.4	506.8
	H. O.	177	188 (0.07)	195 (0.11)	235 (0.37)	223 (0.29)	210.2 (0.21)	73.1	458.8
	T. K.	181	210 (0.18)	232 (0.31)	238 (0.34)	234 (0.32)	228.5 (0.29)	103.7	498.7
	Mean	184.0	205 (0.14)	230 (0.27)	235 (0.31)	225 (0.25)	223.6 (0.24)	86.4	488.1

Table 3. Analysis of variance for oxygen consumption during the work.

Source of variance	df	Sum of square	Mean square	F value
Between work systems (P)	1	975.42	975.42	3.847
Between individuals (B(P))	4	5,039.33	1,259.83	*4.969
Between times (W)	3	2,960.17	986.72	3.891
Interaction (P×W)	3	1,947.41	649.14	2.560
Residual (E)	12	3,042.67	253.56	
Total (PBW)	23	13,965.50		

* Significant at 0.05 level.

社, Model 168) で分析し, それらの結果をもとに計算した。

作業中の心拍数は, 作業の開始から終了まで携帯用ハートコーダ (三栄測器, 232 型) を用いて記録した。また, 作業中の酸素消費量は, 前述の方法に従い 3 分ごとに 3 回 (計 9 分間) 測定し, 定常になったと考えられる 2 回目と 3 回目の測定値の平均を用いた。

エネルギー代謝率は, 沼尻によって提案された“定常状態の成立する場合の計算式”に当てはめて計算した⁷⁾。なお, 基礎代謝量については, 藤本式⁸⁾で身長, 体重から体表を計算し, 沼尻の性, 年齢別の kcal/m²/hr の表を用いて計算した。

疲労の自覚症状については, 1) 全身がだるい, 2) ねむい, 3) 目が疲れる, 4) 頸や肩がこる, 5) 腰がだるい, の 5 項目を, 次の三つの尺度, 1) とくに感じる, 2) やや感じる, 3) 感じない, で調査した。

1 日の歩行数は万歩計 (ヤマサ時計, オーローラー型) を用いて測定した。

Ⅲ. 結 果

Table 2 に安静時と作業中 (4 回) の酸素消費量, RMR を示した。作業中の酸素消費量は時間経過による差が若干認められるが, 分散分析の結果 (Table 3), その平均値の差は統計上有意と認められなかったの, 各

ASSEMBLY WORK

ADJUSTMENT WORK

Fig.2. Heart rate responses in all-day work, and changes in blood pressures (B.P.), critical flicker fusions (C.F.F.), and body temperatures (B.T.) in four work periods in workers engaging in assembly and adjustment.

被検者ごとに4回の測定酸素消費量の平均値を求め、この値から1日の作業中（拘束時間を7.5として）のエネルギー消費量を求めTable 2に付記した。組立作業者3名の作業中1分当り酸素消費量の平均は236.4 mlで、一方、調整作業者のそれは223.6 mlであった。両作業形態の間に12.8 ml/minの差が認められたが、分散分析の結果、その平均値の差は統計上有意と認められなかった（Table 3）。なおRMRは、組立作業者では平均0.30、一方、調整作業者では平均0.24であった。1日の作業中のエネルギー消費量は、安静時代謝を差引いた労作量値としてみると、組立作業者の場合108 kcal、調

整作業者の場合86 kcalで、平均で97.3 kcalであった。

Fig.2は、6名の被検者の代表例として、20歳台の組立作業者と調整作業者各1名の1日の作業中の心拍数、体温、血圧値、フリッカー値の変化を示したものである。

作業による心拍数の増加を推定するために、6名の各被検者ごとに、全実作業中の記録を用いて3分間隔でR-R間隔を15秒間読み取り、この値を1分値に換算した値から安静時の心拍数（1分値）を引いた値の平均値（平均心拍数増加量）を求めた。平均心拍数増加量は、組立

Table 4. Steps per day among workers recorded by pedometer.

Job	Subject	Before work (steps)	During work (steps)	After work (steps)	Total steps
Assembly work	I. N.	2,400	900	2,900	6,200
	H. I.	1,000	800	3,400	5,200
	F. U.	1,750	1,050	3,200	6,600
	Mean	1,717	1,117	3,167	6,000
Adjustment work	T. A.	2,600	2,500	3,100	8,200
	H. O.	500	2,700	1,900	5,100
	T. K.	1,750	2,650	2,000	6,400
	Mean	1,617	2,617	2,333	6,567

Fig. 3. Changes in the ratio of oxygen removal while working to oxygen removal at rest.

作業では、それぞれ 21.5 拍、31.4 拍、30.1 拍。一方、調整作業では、20.2 拍、9.6 拍、15.4 拍になった。両群の平均値は 26.9 拍と 15.4 拍で、その差は t -検定の結果、1%以下の危険率で有意であった。

血圧については、安静時と作業終了直前に測られた第4回目の値の差 (mmHg) について検討した。組立作業3名の場合、13/10 (SBP/DBP)、44/8、14/12、調整作業の場合はそれぞれ、9/9、4/2、16/7 で、組立作業の1名 (44/8) に若干高くなっている者を認めた。

フリッカー値の安静時と作業中の第4回目の測定値の差は、組立作業の場合、4.5、0.6、1.0、調整作業の場合、2.7、1.5、2.0 で、僅かに低下する程度であった。安静時の値からの低下の割合は、組立作業の場合、3名の平均で4.0%、調整作業の場合、4.5%で、両群の差は僅か0.5%で、この差は t -検定の結果、有意でなかった。

体温については、組立作業、調整作業とも、作業中ほとんど変化が見られなかった。

Fig. 3 は、酸素摂取率の作業中の変化を、安静時の値を100として示したものである。組立作業の場合、酸素摂取率は安静時と比較して作業中の値は若干高い値を示したが、調整作業の場合はそれほどの変化を認めなかった。

自覚症状からみた疲労の調査結果では、安静時 (就労前) は全被検者とも訴えはなかったが、組立作業の場合、被検者 I.N. のみが4回目の測定で“頸や肩がこる”の項目で“やや感じる”と訴えた。一方、調整作業では訴えがやや多く、2回目の測定で、H.O. が“目が疲れる”の項目で“やや感じる”と、3回目の測定で、H.O. と T.A. が“頸や肩がこる”の項目で“やや感じる”と、4回目の測定で、3名全員が“頸や肩がこる”の項目で“やや感じる”と訴え、H.O. が“目が疲れる”の項目で“やや感じる”と訴えた。

Table 4 は、万歩計を用いて調査した1日の歩行数を示す。被検者全員の平均は約6,300歩であった。しかし個人差は大きく、少ない者では5,100歩、多い者では8,200歩となっている。拘束時間外の歩行数については、個人の活動状態や出勤方法が異なるため、当然個人差が大きい。そこで、条件が同じである出社から退社までの間の、すなわち、会社にいる間の歩行数についてみると、被検者全員の平均は約1,900歩となる。これについても個人差が大きく800~2,700歩の範囲に分布した。

IV. 考 察

1. テクノロジーの発達にともなう作業の近代化の結果、労働態様はコンベア作業やVDT作業にみられるように局部の筋肉のみを主として使用する軽作業に変わりつつある。本研究で対象とした某電気機具製造業のビデ

オ製造部門のコンベア作業においても、1分当りの酸素消費量は約 230 ml (安静時の約 1.2 倍) で、エネルギー消費の非常に少ない軽労作となっていた。この値から1日の作業そのものに消費したカロリー、いわゆる労作量値を求めると、約 100 kcal となった。100 kcal のエネルギー消費は、1分当り 80 m の成人男子の普通の歩行で、約 22 分で消費するカロリーに匹敵する⁹⁾。

このように、生産過程の機械化、合理化が非常に進んだ工場では、エネルギー消費量は安静時を若干上回った程度の非常に少ないものであった。なお、対象作業の RMR を従来の報告と比較するために求めたところ、組立作業では 0.30、調整作業では 0.24 という値を得た。この値は“編み物”をしている時の労働強度にほぼ等しい¹⁰⁾。

沼尻¹¹⁾は、ビールの製造過程で、椅子にすわってコンベアによって流れてくるビンの検査を行っている時のエネルギー代謝を測定し、RMR が 0.5 であったことを報告している。この値は、沼尻によって報告された労働中の RMR の中では最も低いものであるが、本研究の対象作業の RMR はそれを下回るものであった。

以前のように、エネルギー消費の大きい、肉体的活動の多い労働にあつては、職場の休憩時間や家庭生活における休息はなるべくエネルギー消費を少なくして、身体を休めることによって疲労を回復させるという意味で意義があった。しかし、1日の作業によるエネルギー消費が 100 kcal にみえないような労働にあつては、むしろ運動不足に落ちることが危惧される。休憩時間にはむしろ積極的に身体を活動させる必要があるように思われる。また、Table 4 から明らかなように、被検者の出社してから退社するまでの平均歩行数は、約 1,900 歩と非常に少ない。

多くの企業では、局所的な筋肉疲労の回復や精神的ストレスの解消を目的として、現在、6~10 分程度の職場体操を導入している。しかし、これからの職場体操では、むしろ運動不足の解消を計ることを考えて、適切な休憩時間の長さやあり方、運動処方等について検討することが重要である。

2. この製造部門のコンベア作業のエネルギー代謝量は、安静時の代謝量とほとんど変わらず、RMR にして約 0.3 という非常に小さな値を示した。しかし、この結果は決してこれらの作業が生体におよぼす負担という点で、問題がないことを意味しているのではない。上肢を反復して動かすコンベア作業特有な不自然な労働姿勢を持続することによって、局所の筋肉疲労や、神経感覚器の疲労がおこり、さらに共同作業の責任の重さなどでエ

ネルギー消費の大小であらわすことのできない負担が生体にかかると考えられる。したがって、作業者自身が感じる主観的労働強度は、むしろ以前の労働形態の時のそれよりも大きくなることやその性質の異なることが推察される。

1日の作業中の平均心拍数は、組立作業者の場合、安静時の値の約 1.4 倍に、一方、調整作業者の場合、1.2 倍になっている。この安静時からの上昇分は、身体活動の結果によるというよりも、むしろ精神的緊張によってもたらされたものと考えられる。そして、組立作業のほうが調整作業よりも、作業がより精密で、かつスピードが要求されるため、精神的緊張が強くなっていると考えられる。しかし、フリッカー値は、作業終了直前の測定で、組立作業者、調整作業者とも安静時よりも約 4% の低下で、その低下率は軽作業の適正範囲内 (5% 以内)¹²⁾ にあった。

3. 上肢を反復して動かすコンベア作業によって代表される静的作業が“頸や肩のこり”を誘発することは、多くの研究者によって認められている^{1,2,13)}。本研究においても、6名中4名がコンベア作業に従事することによって頸や肩のこりをやや感じると訴えている。頸や肩のこりは、筋が持続的に緊張し、血流が妨げられて代謝産物(乳酸など)が蓄積し、その結果、筋の固縮がおこることによって生ずると言われている¹⁴⁾。本研究では、血流量や筋肉中の代謝産物の測定を行っていないので、このメカニズムについて明解な結論を導くことはできないが、対象作業の作業形態から考えると次のような理由が考えられる。本作業のように指、手先の小筋群が主として使われる繊細な作業では、精度の高い作業を行うことが要求されればされるほど、その小筋群が自由に(柔軟性が大きい)、速く、正確に動くために、それより軀幹部側の筋群、いわゆる腕と肩の固定が要求される。同時に、作業対象の注視は、視覚情報の正確な伝達のために頸の固定も強制することになる。したがって、実際の動作自体にかかわるエネルギーが少ないにもかかわらず、これらの作業態様が長時間に及ぶと頸や肩の疲労を生じさせる原因になるのではないかと考えられる。さらに、以上の理由のほかに、コンベア流れ作業では共同作業の責任の重さに加えて、生産の高度の管理化および能率化によって精神的緊張が強いられ、それが先の原因と相乗的に働き筋の固縮を生むとも考えられる。

以上、現在、日本で機械化、自動化が非常に進んでいるといわれている電気機具製造業のビデオ製造部門のコンベア作業の生体に対する負担を、主として RMR の検討から考察した。しかし、僅か 6 名の被検者についての

調査結果であるので、この結果がいわゆる母集団の実態を十分に反映していないことも考えられる。今後、この種の調査結果の積み重ねによって、単調・繰り返し作業の生体に対する影響の実態をさらに明らかにしたいと考える。

V. 結 語

機械化、自動化の非常に進んだ某電気機具製造業のビデオ製造部門のコンベア作業の生体に対する負担を明らかにするため、6名の健康な女子従業員（3名は組立作業員、他の3名は調整作業員）について、心拍数、体温、血圧値、フリッカー値、酸素消費量の測定、および疲労の自覚症状と歩行数の調査を行った。その結果は以下のとおりである。

1) 作業中の1分当り平均酸素消費量は約230 mlで、1日の作業中で大きな変化はなかった。

2) この製造部門のコンベア作業は、RMRにして、0.3 弱の労働強度であった。

3) 1分当り平均酸素消費量をもとに、1日の作業中のエネルギー消費量（労作量値）を計算すると約100 kcalであった。

4) 1日の作業中の平均心拍数は、組立作業員の場合、安静時の約1.4倍、調整作業員の場合、約1.2倍となり、両作業形態の間に有意差がみられた。この作業による心拍数の増加は、主として精神的緊張によるものと考えられた。なお、体温については、1日の作業中ほとんど変化がなかった。

5) 血圧値と酸素摂取率については、組立作業員の場合、作業の経過とともに若干高くなる者が認められたが、調整作業員の場合、作業中ほとんど変化がなかった。

6) フリッカー値は1日の作業中ほとんど変化がなく、作業終了直前においてもその低下率は少なかった。

本研究の概略は第56回日本産業衛生学会（1983年、大阪）において発表した。

文 献

- 1) 小山内博：作業の機械化と健康障害，労働科学，46：467-472，1970。
- 2) 小山内博，佐野裕司：腰痛症と頸肩腕症候群の発生要因，診断，治療予防に関する研究，労働科学，55：83-100，1979。
- 3) 鈴木庄亮：職場環境と健康：労働と健康，182-192，大修館書店，東京，1974。
- 4) 黒田善雄：職場の健康づくり，保健の科学，24：696-698，1982。
- 5) 沼尻幸吉：活動のエネルギー代謝，345，労働科学研究所出版部，東京，1979。
- 6) 沼尻幸吉：労働者の労働時間とエネルギー代謝の変化について，労働科学，49：1-10，1973。
- 7) 沼尻幸吉：活動のエネルギー代謝，62-63，労働科学研究所出版部，東京，1979。
- 8) 藤本薫喜：日本人の体表面積に関する研究，長崎公衛誌，6：118-132，1957。
- 9) 体育科学センター編：健康づくり運動カルテ，70-72，講談社，東京，1969。
- 10) 沼尻幸吉：活動のエネルギー代謝，204-205，労働科学研究所出版部，東京，1979。
- 11) 沼尻幸吉：活動のエネルギー代謝，81-89，労働科学研究所出版部，東京，1979。
- 12) 三浦豊彦：現代保健体育学大系・労働の衛生学，43-44，大修館，東京，1969。
- 13) 青山英康：職業病としての頸肩腕障害（青山英康編：頸肩腕障害—職場におけるその対策—），20-25，労働基準調査会，東京，1979。
- 14) 沼尻幸吉：活動のエネルギー代謝，37-40，労働科学研究所出版部，東京，1979。

著者への通信先：中村栄太郎，〒606 京都市左京区吉田二本松町 京都大学教養部保健体育学教室
 Reprint requests to Department of Health and Physical Education, College of Liberal Arts,
 Kyoto University, Yoshida Nihonmatsu, Sakyo-ku, Kyoto, 606 Japan (E. Nakamura)