研究論文

作業速度が workload および作業の質に与える影響について

梅村 守¹⁾ 相澤 直行²⁾

Influence of Work Speed on Workload and Quality of Work.

Mamoru UMEMURA¹⁾ and Naoyuki AIZAWA²⁾.

1) Department of management science, Science University of Tokyo, 1-3 Kagurazaka Shinjyuku-ku Tokyo 162 Japan. TEL 03-260-4271.

2) The Medical Information System Development Center.

J. Exerc. Physiol. 4(1):3-9, 1989. ISSN 0912-7100. Received Dec. 16, 1988.

ABSTRACT

This paper describes how the change in work speed affects workload or the quality of work during a simple, repeated work, stamping activity. Indication for workload were the changing ratios of heart rate (RHR) and the flicker value (CFF), and that for quality of work was percent defective of stamping. The results indicated a certain effect of change in work speed on RHR and percent defective of stamping, not on the changing ratio of CFF. The work speed at which the minimum RHR was obtained was not always in accord with that at which the minimum percent defective of stamping was shown. Furthermore, both of RHR and the percent defective of stamping tended to become higher regardless of work speed. These results suggested that each operator might have the different work speed at which his minimum workload was obtained, and that quality of work may depend on workload.

Key words; workload, RHR, CFF

要旨

本報では、単純繰り返し作業としてスタンプ押し作業を取り上げ、ベルトコンベアにより作業速度を変化させたときに、workload及び作業の質にどのような影響を及ぼすかを実験を通して考察した。workloadの指標として心拍変動率(RHR)、フリッカー値(CFF)変化率を、作業の質を表わす指標としてスタンプ不良率を用いた。

実験結果より、RHR、スタンプ不良率は作業速度の変化による影響が認められたが、CFF変化率については認められなかった。RHRが最小となる作業速度とスタンプ不良率が最小となる作業速度は必ずしも一致しないが、それより作業速度を速くしても遅くしてもRHR、スタンプ不良率ともに上がる傾向がみられた。

上記の実験結果より、作業者によりworkloadの最小となる作業速度に違いがあること、workloadに応じて作業の質も変わることを指摘している。

キーワード: workload、作業速度、心拍変動率、フリッカー値

1) 東京理科大学工学部第二部経営工学科: 東京都新宿区神楽坂1-3 (〒162) TEL 03-260-4271

2) (財) 医療情報システム開発センター: 東京都港区赤坂2-3-4 (〒107) TEL 03-586-6321.

運動生理 4(1):3-9, 1989.

受付日 1988年12月16日

1. はじめに

一般に作業を行う場合、作業速度を速めると単位時間当りの生産量は上がるが、作業者のworkload（生体負担）は増し、作業の質は低下すると考えられる。かつ作業速度を速めた状態で長時間作業を行うと、workloadの増加のみならず疲労が生じてくる。また作業の質も相当下がってくる。反対に、作業速度を必要以上に遅くすると、単位時間当りの生産量は低下し、その作業のリズムに乗れず、かえっていらいらしたりしてworkloadが増す傾向にある。そこで、単位時間当りの生産量も多く、workloadも比較的少く、作業の質も適切である作業速度が存在すると考えられる。

上記の事は、特にコンベアなどを用いる流れ作業においては、そのコンベアのスピードを定める上で重要なことである。例えばコンベアを用いた組み立て工程、洗ピン工程後のピンの検査工程、ガラス製品（例、ガラス）

の泡、傷等を発見する検査工程、プリント基盤の半田付け工程、及びその検査工程などである。これらの工程におけるコンベアのスピードを定める事は生産性の面からも、作業の質の面からも、また特に作業者のworkloadの面からも重要事項である。コンベアのスピードの不適切な設定は、生産性を下げ、作業の質の低下にともなう不良品の増大、特にworkloadの増加のみならず長時間、長期間の作業の従事による疲労の蓄積、その結果による事故、災害の発生につながることも考えられる。

そこで本研究では、ベルトコンベアによる単純繰り返し作業を行い、作業速度を変化させたときに、workload及び作業の質にどのような影響を及ぼすかを、実験を通して明らかにすることを研究目的とする。

2. 実験方法

2.1 実験内容

定められた順序に従い、実験用紙（図1）に6ヶ所のスタンプ（図2）を押す作業である。実験用紙は、前もって定められた時間間隔でベルトコンベアによって流される。被験者はベルトコンベア上のピッチマークに実験用紙が来た時、実験用紙を取り上げて手元に置き、スタンプにインクを付けて、実験用紙における正方形の中にスタンプがはみ出さないように押す。6箇所にスタンプを押し終えたら1枚の完成品とし、完成品収納箱に入れる。もし、1枚のスタンプ押しが終わらないうちにつぎの用紙が流れてきた場合は、その用紙は取らずにそのつぎの用紙で作業を行うこととする。作業時間は1時間である。

図2
スタンプ印形

図1 実験用紙

2.2 作業速度の規制の考え方

作業速度の指標にピッチタイム (pitch time) を用いる。これを用いる根拠はつぎによる。

一般にピッチタイムとは次のように定義できる。「流れ作業で、製品1単位 (例えば1個、1台、1枚、・・・) 当りが出来上がっていく時間間隔である。」そこで、本実験におけるピッチタイムを次のように定義する。

「実験用紙の所定欄に、決められた方法で、スタンプ押し作業が完了する時間間隔である。」例えば、ピッチタイム10秒とは、10秒間隔で製品が1枚ずつ出来上がっていくことを意味する。見方をかえれば、作業者は10秒間隔 (すなわち10秒ピッチ) で、実験用紙1枚当りのスタンプ押し作業を完了せねばならず、それに見合った作業速度で作業を行うことを余儀なくされる。

実際、企業において流れ作業での作業速度を規制するには、ピッチタイムによることが多い。具体的には、コンベヤ速度とピッチマークによって作業速度を規制している。

以上のことより、作業速度の指標として、ピッチタイムを用いることにする。以下、例えばピッチタイム10秒を“P₁₀”、ピッチタイム11秒を“P₁₁”のように略して用いる。

2.3 workloadを表す指標

workloadを表す指標として、心拍数 (Heart Rate beats/min. 以下HRと略す) とフリッカー値 (CFF) を用いる。

それぞれの測定はつぎによる。HRを作業前10分間、作業中、作業後10分間10拍平均で測定する。作業前のデータから平常値を求める。また、CFFを作業前後にそれぞれ5回ずつ測定し、それぞれの値の最大値と最小値の値を除いた3つの値の平均値をその時のCFFとする。

解析には、それぞれの値の個人差を除くために心拍変動率 (Ratio of Heart Rate 以下

RHRと略す) とフリッカー値変化率 (Ratio of CFF) を用いる。

ただし、

$$RHR(\%) = \frac{\text{作業中のHR} - \text{平常値}}{\text{平常値}} \times 100$$

$$\text{Ratio of CFF}(\%) = \frac{\text{作業前値} - \text{作業後値}}{\text{作業前値}} \times 100$$

2.4 作業の質を表す指標

作業の質を表す指標として、スタンプ不良率 (%) を用いる。スタンプ不良率、は全作業枚数に対するスタンプ不良枚数の割合を%表示をしたもので表す。

つぎの1)、2)のいずれかに該当するものをスタンプ不良と定義する。

1) 定められたピッチタイム内で、スタンプ押し作業を完了しなかったもの。

2) 1枚の実験用紙中1箇所でも、つぎの項目のいずれかに該当するもの。

イ、正方形の枠に触れるもの。

ロ、一部が欠けているもの。

ハ、枠内の線に対して45度以上ずれているもの。

ニ、スタンプずれがあるもの。

2.5 実験条件

1) ピッチタイム

実験に用いるピッチタイムの決定はつぎによる。

2.1に示した実験作業についてのMTM (注1)分析結果を参考にして、P₁₁、P₁₀、P₉、P₈、P₇の5水準ととする。ちなみに、MTM分析結果の所要時間は約9秒である。従って、9秒を中心にその前後に2水準ずつ (11秒、10秒と8秒、7秒) とし、計5水準とする。

2) 被験者

被験者は男性 (34才、24才、22才) 3名とする。

3) 実験順序

実験順序はランダムに行う。

4) 習熟に対する配慮

実験を行う1週間前より1日2時間の練習を行った。

5) 実験期間

ピッチタイム5水準、被験者3水準計15実験条件の実験を4日間にて行った。

(注1) Methods-Time Measurement の略

3. 実験結果及び考察

3.1 ピッチタイムとRHRとの関係

各ピッチタイムごとに、作業中(60分間)

図3 経過時間と心拍変動率との関係

のRHRの変化を図示したものが図3である。図3では、横軸に経過時間(分)を5分おきに取り、縦軸は被験者3名の5分間のRHRの平均を表している。図3より、RHRは3名の平均でみると時間の経過とともに、いずれのピッチタイムについても相対的に低くなる傾向がある。RHRは測定値が得られた時期によって測定値のもつ意味が異なる。作業を行うことによる心拍反応の大きさを見るには作業中、特に初期の心拍反応を調べる必要がある。そこで作業開始後30分間の心拍反応をみることにする。図3における前半30分間の各ピッチタイムごとの変化より次のことがいえる。P₁₀のときにRHRは最も小さい値を推移し、それよりピッチタイムを短くしても長くしてもより大きな値を推移する傾向がある。

つぎに、各被験者ごとの1.25分おきのRHRの推移を示したものが図4である。ここでは被験者Bについてのみ図示する。図4における前半30分間の測定値および被験者A、Cのそれらについて、ピッチタイム、被験者を因子として分散分析をした結果、ピッチタイム間、被験者間、およびピッチタイムと被験者の交互作用が有意となった。しかし、これは誤差の自由度が大きいために、検出力が上

図4 経過時間と心拍変動率(被験者B)

図5 被験者ごとの心拍変動率およびスタンプ不良率の関係（前半30分）

がり、有意となったきらいがある。そこでそれぞれの寄与率を求めたところ、ピッチタイム間5%、被験者間24%、ピッチタイムと被験者の交互作用52%、誤差19%となった。これより次のように解釈できる。ピッチタイムの違いによる効果のうち、被験者によって影響される部分が52%であることを示している。このことはRHRへの影響を考察するには、ピッチタイムの変化による単独の効果ではなくに被験者との組合せで考える必要のあることを示している。

そこで、各被験者ごとにピッチタイムを変えたときに前半30分間のRHRの平均値がどのように変わるかを示したのが図5（注2）（上段）である。図5（上段）より、被験者によってRHRの最小となるピッチタイムに違いがあるといえる。

3.2 ピッチタイムとCFFとの関係

ピッチタイムを変えたときのCFFの変化率を図示すると、図6のようになる。また、

図6 ピッチタイムとCFFとの関係

ピッチタイムの変化がCFF変化率に影響を与えているかどうかを調べるために分散分析を行った結果、ピッチタイム間に有意差は認められなかった。図6及び分散分析の結果から、ピッチタイムとCFF変化率の間には関係が認められない。

しかし、図6よりすべての被験者について、いずれのピッチタイムについてもCFFは作業前に比べて下がっていることがわかる。その下がり方に規則性は認められない。

3.3 ピッチタイムとスタンプ不良率との関係

ピッチタイムを変えることにより、60分間のスタンプ不良率がどのように変わるかを示したのが図7である。また、ピッチタイムの変化が、スタンプ不良率に影響を与えているかについて分散分析した結果ピッチタイム間に有意差（危険率1%）が認められた。図7および分散分析（注3）の結果から次のことがいえる。

- 1) ピッチタイムを変えることにより、スタンプ不良率は変わる。
- 2) スタンプ不良率は、 P_{10} で最も低い値を示

図7 ピッチタイムとスタンプ不良率との関係

している。それよりピッチタイムを短くして行くと、急激に上昇する。反対に長くしても上昇する。

3.4 ピッチタイムを変えたときのRHRとスタンプ不良率の関係

3.1においてピッチタイムとRHRとの関係を調べるとき、ピッチタイムと被験者との組合せで考える必要のあることを示した。そこで、被験者ごとにピッチタイムを変えた時に、前半30分間のRHRの平均値及びスタンプ不良率（注4）がどのように変わるかを示したのが図5である。図5より次のことがいえる。

- 1) 被験者Aについては、RHRは P_{10} で最小となり、スタンプ不良率は P_9 で最小となった。それよりピッチタイムを短くしても長くしても大きくなる傾向がある。
- 2) 被験者Bについては、RHR、不良率ともに P_{10} で最も小さく、それよりピッチタイムを短くしても長くしても大きくなる。
- 3) 被験者Cについては、RHRは P_9 で比較的小さく、スタンプ不良率は被験者Aと同じで、 P_{10} のとき最小で同様の変化をしている。ただし、 P_7 でRHRが低い値を示しているが、その理由はわからない。

以上より、次のことがいえる。

RHRが最小となるピッチタイムとスタンプ不良率が最小となるピッチタイムは必ずしも一致しないが、それよりピッチタイムを短くしても長くしてもRHR、スタンプ不良率ともに上がる傾向がみられた。このことは、workloadが小さいところで作業の質もよいことを示し、workloadに応じて作業の質も変わってくると考えられる。

3.5 workloadを表す指標としてHRを用いたことの検討

Ruhtenfranz は、「精神作業（加減算と乗算）においては課題を難しくしても脈拍数は

増加しないが、課題の呈示間隔を短くして計算をスピードアップさせると、その速度に応じて脈拍数が増加した」と報告²⁾している。本研究における実験作業は 2.1からわかるように、決められた位置にスタンプを押すといった位置決め動作と、それ以外の手を伸ばす、スタンプを運ぶといった筋肉の収縮をおもに利用する筋的動作に分けられる。前者は、筋的動作の中でも”筋肉の高度の協調応を利用する場合で、ただ手を動かすということではなく、微細な調節を必要とする”¹⁾手の動作である。この動作は後者の動作にくらべてより”精神活動の結果を具現”¹⁾している。この位置決め動作の速度を変えたときの workloadの影響を調べるため、HRは欠かすことのできない指標と考える。また、位置決め動作以外の手を伸ばす動作、運ぶ動作などの筋的動作の速度変化による影響を調べるためにもHRはより欠かすことのできない指標である。よって、workloadを表す指標としてHRを用いた。

3.6 作業の質を表す指標としてのスタンプ不良率の意味するもの

上記 3.5に述べた位置決め動作とそれ以外の動作に分けて考えると、スタンプ不良率はおもに位置決め動作の質を表わしていると考えることができる。換言すれば位置決め動作の速度変化による動作の質への影響を調べたことになる。

(注2)3.4でピッチタイムを変えたときのRHRとスタンプ不良率の関係を考察するときに必要なので、不良率についても併せて載せておく。

(注3)与えられた実験作業におけるスタンプ不良は2項分布に従う。2項分布に従う計数値が $2 \times k$ の分割表などの形で与えられている場合には、近似的に、逆正弦変換法、(0, 1)法のいずれかの方法によって分散分析を行なうことができる。ここでは、

逆正弦変換法により分散分析を行なった。

(注4)図5のスタンプ不良率(percent defective)はRHR(前半30分間)との比較をする関係から、前半30分間のスタンプ不良率を用いた。図7の60分間のスタンプ不良率と大きな違いは認められない。

4. 結論

以上より、次のようにまとめられる。

- 1)作業速度を変えたときの心拍変動率(RHR)の変化を考察するには、作業者との組合せで考える必要があることを示した。
- 2)作業者によってもRHRの最小となる作業速度に違いがある。
- 3)RHRが最小となる作業速度と、スタンプ不良率が最小となる作業速度は必ずしも一致しないが、それより作業速度を速くしても、遅くしてもRHR、スタンプ不良率ともに上がる傾向がみられた。このことはworkloadが小さいところで作業の質もよいことを示し、workloadに応じて作業の質も変わると考えられる。

謝辞：最後に、本論文をまとめるにあたり貴重な示唆をいただきました(財)医療情報システム開発センター理事長大島正光博士に深く感謝いたします。また、実験に協力していただいた東京理科大学工学部第二部経営工学科の当時の卒業研究生である、原田幸夫君、金沢好宣君に深く感謝いたします。

引用文献

- 1)大島正光:疲労の研究,49,同文書院,1979.
- 2)Ruhtenfranz,J.:Über das Verhalten der Pulsfrequenz bei Arbeit unter Zeitdruck Int. Z. angew. Physiol. 18(3):264-279, 1960.