

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 23 日現在

機関番号：37116

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25860456

研究課題名(和文)心拍数の評価に基づいた作業強度一覧表の作成

研究課題名(英文)Evaluation of workloads based on monitored heart rates during works

研究代表者

喜多村 紘子(KITAMURA, Hiroko)

産業医科大学・産業生態科学研究所・助教

研究者番号：20628531

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：今回の調査はまず、パイロットスタディで心拍数を用いた作業負荷調査の実行可能性を確認し、既存の作業強度一覧表と心拍数の評価に基づく作業強度の比較から、現在の作業態様にあった新しい作業強度一覧表の必要性を示した。

次に、既存の作業強度一覧表にはない第3次産業、作業強度の軽減が推測された第2次産業において作業時の心拍数を測定、%HRR、RMRを算出し、作業強度を評価した。当初、多くの業種でデータを得て、新しい一覧表の作成を目的としていたが、一覧表作成よりも%HRRの評価指標を確立することの方が個人に合わせた労働理衛生管理に有用と考えるに至り、%HRRの評価指標を作成することが新たな今後の目標となった。

研究成果の概要(英文)：First of all, we confirmed the feasibility of the heart rate monitoring survey during works in the pilot study, and showed the necessity of a new list of workloads adopted for modern work systems.

Secondly, we conducted a field study to measure heart rates and record work processes in the tertiary industries, which were hardly included in a current list of workloads, and secondary industries, which were supposed that workloads were reduced largely with technical innovation. %HRR(% heart rate reserve) and RMR(relative metabolic rate) were calculated from heart rates and assessed by an evaluation index of RMR proposed by Japanese Society of Occupational Health. At first, we aimed to obtain data with various types of industry and make a new list of workloads, but later, we came to consider that to establish an evaluation index of %HRR would be more useful for personalized safety and health management. Now, making a versatile evaluation index of %HRR had been the our next aims.

研究分野：労働衛生

キーワード：作業強度 労働負荷 RMR %HRR

1. 研究開始当初の背景

産業保健・労働安全衛生において、作業環境管理・作業管理・健康管理は労働衛生の基本の3管理とされ、労働者の安全と健康を守る基盤をなしている。労働者に係る過重な負担を避け、作業関連疾患を予防するためには適切な作業管理が必要であり、そのためには作業強度を適正に評価すること、個人に合わせて作業負荷をコントロールすることが必要となる。

作業強度の指標として、作業時の酸素消費量を元に算出されたエネルギー代謝率 (Relative Metabolic Rate: RMR) が使用されてきた。RMR は、同じ作業であっても個人要因により相違の生じるエネルギー量から、個人による差を除去し、労働現場での作業強度を一般的に評価する指標として開発された指標である。1960~70年代には、日常生活の中の炊事、洗濯、掃除や、工場での様々な作業に従事している際の酸素消費量を測定し、個々の作業の RMR を求める調査が実施された。特に職域では、125 職種 1204 例について、労働者にダグラスバッグを装着した状態で通常の作業を行わせて酸素消費量を測定し、実労働中の平均 RMR および消費カロリーを 1 冊にまとめたデータブック (以下 RMR 一覧表) も作成された。約 50 年前の調査におけるデータであるが、これ以外に作業強度を客観的データとして評価する指標が普及していないため、現在も一覧表の作業と実際の作業を照らし合わせ、作業強度を評価しているのが実態である。しかしながら、産業技術の進歩・革新に伴い設備の自動化・生産工程の機械化が進んだ。IT 技術の発展に伴い、50 年前にはあまり見られなかった VDT 作業等も増加した。第 2 次産業メインであった産業構造は、第 3 次産業メインへと変化した。50 年前のデータを現在に当てはめるには限界があり、現状に即した作業強度の一覧表が必要であった。

作業強度の評価指標である RMR は、酸素消費量から算出されていたが、マスク及びダグラスバッグを装着して実際に作業を行うことは被験者の負担が大きいこと、作業の妨げとなる可能性があること、第 3 次産業では実現不可能であること等から他の評価方法を確立することも必要となった。運動生理学の分野では、定常的な有酸素運動中の酸素摂取量と心拍数は相関することが示されており、心拍数もしくは最大心拍予備能比 (以下 %HRR) が作業強度の評価指標として有効であることも報告されていた。心拍計は小さく、洋服の下に装着でき、動きを制限したり、会話を妨げたりすることがないため、作業現場でも導入しやすいと考え、心拍数を用いた作業強度評価方法をまず確立し、そこから作業強度の新しい一覧表を作成することを試みた。

2. 研究の目的

(1) 心拍数を用いた作業強度評価法の確立

最大下運動負荷調査

酸素摂取量と心拍数の関係を分析し心拍数および %HRR と作業強度の関係性を検討すること、心拍数を作業強度へ変換する際の留意点を明らかにすること

作業名から推定した作業強度と心拍数から算出した作業強度の比較

産業医が作業名から RMR 一覧表を用いて推測した RMR と作業中の心拍数から算出した RMR の比較により心拍数を用いた作業強度評価の有用性を検討すること

(2) 現状に即した新しい作業強度指標の作成

実際の労働現場で、できるだけ多くの業種、職種、労働態様の労働者において心拍計を用いた計測を実施し、作業強度の新しい一覧表を作成すること

3. 研究の方法

(1) 心拍数を用いた作業強度評価法の確立

最大下運動負荷調査

調査対象者は調査への参加を承諾した鉄鋼メーカーに勤務する健康な成人男性 (20~60 歳代) 12 人とした。産業医科大学人工気候室において、気温 20~25、相対湿度 50% の条件で、上肢中心の運動負荷試験 (以下上肢エルゴ試験) および下肢中心の運動負荷試験 (以下下肢エルゴ試験) を別の日に実施した。実験の順序性影響を取り除くため、被験者を無作為に 2 群に分け、上肢エルゴ試験先行群と下肢エルゴ先行群に割り振った。運動負荷試験では、運動負荷中及びその前後の安静時における心電図及び呼気ガスのリアルタイムモニタリングを行い、酸素摂取量から算出した RMR と心拍数および %HRR の関係式を得た。

作業名から推定した作業強度と心拍数から算出した作業強度の比較

に参加した労働者を対象として、実際の作業現場において、労働者に心拍計を装着して作業中の心拍数を計測すると同時に、傍らで観察者が作業内容を詳細に記録する調査 (以下タイムスタディ) を実施した。研究協力が得られた産業医 8 名に、タイムスタディで得られた作業名 (108 作業) と RMR 一覧表を送付し、作業名のみから RMR を推定する作業を依頼した。タイムスタディで得られた作業名のうち、RMR 一覧表の中に一致する作業名があった場合はその数値を採用し、一致する作業名がない場合は RMR 一覧表のうち類似していると考えられる作業を参考として、推定 RMR は各産業医の判断で調整して決定するよう依頼した。各産業医が一覧表から推定した RMR (以下推定 RMR) と、作業中の心拍数から得られた関係式を使用して算出した RMR (以下算出 RMR) を比較した。

(2) 現状に即した新しい作業強度指標の作成

現在従事者が最も多い第 3 次産業、技術革

新により作業強度に変化があったと推測される第2次産業の事業場を中心に調査協力を依頼した。協力が得られた事業場において、労働者に携帯型心拍数測定器を装着して作業時の心拍数を記録し、同時にタイムスタディも実施した。得られた心拍数およびタイムスタディから、1日の作業時間(可能な作業では作業単位毎)の平均%HRR、平均RMRを算出した。ただし、%HRRの評価指標として一般に用いられているものは、運動処方等で主に使用されている、アメリカスポーツ医学会(ACSM: American College of Sports Medicine)による身体活動強度の分類で、これは60分間活動を継続した場合の身体活動強度の指標であるため、秒~分単位で様々な動作が含まれる作業の評価指標としては用いにくいと考え、日本産業衛生学会による作業の強さの区分(RMRO~1:極軽作業、RMR1~2:軽作業、RMR2~4:中等度作業、RMR4~:重作業)を今回の研究では使用することとし、得られたRMRを上述の評価指標でカテゴリー化した。

4. 研究成果

(1)心拍数を用いた作業強度評価法の確立

最大下運動負荷調査

12名の被験者全員において、下肢中心の運動、上肢中心の運動ともにRMRと心拍数との間に強い相関関係がみられたが、下肢中心の運動と上肢中心の運動では、上肢中心の運動の方が低いRMRでも心拍数の上昇が大きく、同じRMRでも身体的負担が大きいことが示された。また、%HRRで見ると、下肢中心の運動では個人の最大能力に近い負荷まで運動を続けることができたが、上肢中心の運動では最大能力よりもかなり低いレベルで運動が継続できない状態に達していたことがわかり、下肢中心の運動と上肢中心の運動では、継続可能な作業強度に大きな相違があることが示された。作業強度の評価においては、作業で主に使用する身体部位を十分に考慮する必要があることが示唆されたと同時に、主に使用する身体部位の差による身体的負担の差はRMRでは評価できないが、心拍数および%HRRでは評価できることが示された。RMRでは評価しきれない個人差が、心拍数および%HRRを指標として用いることで評価可能となる可能性が示された。

作業名から推定した作業強度と心拍数から算出した作業強度の比較

108作業分のRMR推定に要した時間は平均3.1時間(1.6時間~5.0時間)であった。108作業中、7名以上の産業医が「一覧表に作業名があった」と判断した作業は13作業(13.0%)のみであった。推定RMRと算出RMRでは、作業がきつそうなイメージの強い部署では推定RMRが算出RMRよりも大きく、その他の部署では推定RMRよりも算出RMRの方が大きい傾向にあった。産業医個人で見ると、特に製鉄業の産業医経験がある者では前者

における差が大きい傾向がみられた。判断する産業医により作業負荷の過大もしくは過小評価が生じることは適正な作業管理とは言い難く、現在の作業態様にあった新しい作業強度一覧表の必要性が確認できた。また、1人の作業者の1回の作業分の心拍数データでは個人差の影響が否めなかったため、結果を一般化するには、作業に対する習熟度や個人差の影響を抑えるために、単位作業につき複数名・複数回の測定を実施する必要があること、%HRRは安静時と作業時の心拍数の差を評価に用いるため、安静時の心拍数を適切に測定する必要があることなど、心拍数および%HRRを用いて新しい作業強度一覧表を作成する際の留意点も明らかとなった。

(2)現状に即した新しい作業強度指標の作成

今回の調査では、(1)の鉄鋼業に加え、コメディカルおよび介護関連職(3事業場)、製造業(1事業場)、小売業(1事業場)の事業場の調査協力が得られ、調査を予定していたが、企業内の組織改編等の影響もあり、小売業の事業場での調査は実施できなかった。コメディカルおよび介護関連職では総合病院の看護師、看護助手、作業療法士、理学療法士、調理師、介護老人保健施設の看護師、作業療法士、ケアワーカー、介護付き有料老人ホームのヘルパー、製造業では自動車製造業の現場作業員(ライン作業員、ライン外作業員)の調査を実施した。

鉄鋼業ではペレット造粒・焼成、高炉機動・炉前・出銑、厚板ロール整備・採寸、鋼板連続焼鈍の4作業場12名において、タイムスタディを実施した。1日の作業時間全体の平均RMRは順に5.5、2.1、2.4、3.0で、ペレット造粒・焼成は平均RMRが4.0を超え、重作業に区分された。作業単位ではペレット造粒・焼成作業の設備点検・清掃・整備が5.4と最も高いRMRであった。鉄鋼業においては、高炉に関連する作業場は著しい暑熱環境にあり、作業時には多くの保護具を着用しての作業となるため、作業負荷が大きいと仮定していたが、できるだけ作業員の負担が小さくなるよう、作業の自動化や短時間化などの改善が進められていることがRMRの低下につながったと考えられた。

コメディカルおよび介護関連職では、総合病院の看護師、看護助手、作業療法士、理学療法士、調理師の5職種20名において、タイムスタディを実施した。1日の作業時間中の平均RMRは順に2.1、1.5、1.2、1.3、1.4であった。平均RMRが4.0を超えた職種はなく、個人別では看護師の3.0が最も高いRMRであった。介護老人保健施設では、作業療法士(デイサービス)、ケアワーカーの2職種9名においてタイムスタディを実施した。1日の作業時間中の平均RMRは順に1.8、2.3であった。こちらも平均RMRが4.0を超えた職種はなく、個人別ではケアワーカーの3.8が最も高いRMRであった。介護付き有料老人ホ

ームでは、ヘルパーのべ5名においてタイムスタディを実施した。1日の作業時間中の平均RMRは2.7で、個人別では4.6が最も高いRMRで重作業に区分された。同一の作業でも、測定日によって1日の作業時間中の平均RMRには大きな差が見られた。タイムスタディの結果、コメディカルおよび介護関連職では、作業手順が詳細に定められている製造業とは異なり、流れの中で同時に複数の作業を進めていること、同じ作業であっても作業員自身の技術や習熟度、作業の対象となる相手の影響を受けること、製造業ほど詳細な作業手順はなく、通常作業であっても個人差が大きいことが明らかとなった。

自動車製造業では、ライン作業員（ドアはずし、エンジン組立、エンジン組み付け、タイヤ組み付け、シート組み付け、ドア組立）、ライン外作業員（部品組立、部品供給（カート運転））の8作業22名において、タイムスタディを実施した。1日の作業時間中の平均RMRは順にライン作業員では3.7、3.4、3.3、3.7、2.5、2.1、ライン外作業員では2.0、3.1であった。平均RMRが4.0を超えた作業はなかった。自動車製造企業ではライン作業員は10分の1秒単位で作業が規定されており、滞りなく作業動作ができるようになるまで、作業に関する教育が実施されていた。無駄の全くない規定された作業でも作業員によってRMRに差があり、個人の習熟度の影響が強いことが示された。また、自動車製造ラインは、自動車製造台数によりラインスピードが変わるため、より早いスピードになった際にはRMRに影響があると推測された。自動車製造企業では改善活動が積極的に行われており、職場巡視等で無理な姿勢での作業が指摘されたり、従業員から負担の多い作業として改善が求められたりした作業においては、作業の自動化や半機械化、作業工具の軽量化等が進められてきていた。作業員へのインタビューで、改善活動を反映し、RMRが低下している作業もあることがわかり、作業中のRMRの評価は改善活動の効果の評価にも用いることができる可能性も示された。表1に、今回の調査で得られた作業と1日の作業時間中の平均RMRの一覧を示した。

今回の調査では、一時的であれRMRが4.0を超える作業は僅かながら見られたが、1日を通しての作業が重作業（RMR>4.0）となる作業は少なかった。作業にある程度習熟した職場の代表者において、作業中のRMRを定期的に測定することで、継続した作業管理を効果的に実施できる可能性が示された。

当初、本研究は現状に対応した新しい一覧表の作成を目的としたが、一覧表を作成する基礎データの収集には多大な時間がかかり作業は煩雑であること、現状に対応した一覧表も時間が経過すると古くなることから、同じ作業であっても、個人差が大きく出る作業もあるため、新しい一覧表を作成することは困難と判断した。むしろ、一覧表作成よりも

心拍数計測方法及びその評価指標（RMRではなく%HRR）を確立することの方が、ダイバーシティが進む中、高齢労働者、女性労働者の作業負荷の管理や復職時の作業負荷の調整等、個人に合わせた労働衛生管理に有用であるとも考えられ、%HRRを指標とした作業負荷の評価指標の確立が今後の研究における新たな目標としたい。

表1 作業と1日の作業時間中の平均RMR

	1日の作業時間中の 平均RMR
鉄鋼業	
ペレット造粒・焼成	5.5
高炉機動・炉前・出鉄	2.1
厚板ロール整備・採寸	2.4
鋼板連続焼鈍	3.0
コメディカルおよび介護関連職	
総合病院	
看護師	2.1
看護助手	1.5
作業療法士	1.2
理学療法士	1.3
調理師	1.4
介護老人保健施設	
作業療法士(デイサービス)	1.8
ケアワーカー	2.3
介護付き有料老人ホーム	
ヘルパー	2.7
自動車製造業	
ライン作業員	
ドアはずし	3.7
エンジン組立	3.4
エンジン組み付け	3.3
タイヤ組み付け	3.7
シート組み付け	2.5
ドア組立	2.1
ライン外作業員	
部品組立	2.0
部品供給(カート運転)	3.1

<参考文献>

- 古沢一夫、自由歩行のエネルギー需要量について、労働科学研究、13、1936、331-341
 古沢一夫、白井伊三郎、重筋的労働に就て、労働科学研究、13、1936、711-721
 沼尻幸吉、働く人のエネルギー消費、1-337、1980
 Yasumasa Eguchi, Shoko Kawanami, Seichi Horie, Hiroshi Yamato: Assessments by HR and %HRR of Occupational Work Exertion for Alternation Periods of Rest and Manual Labor, Journal of Occupational Health, 53, 343-349, 2011

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）
 〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計2件)

喜多村紘子、江口泰正、川島正敏、増田将史、垣内紀亮、黒崎靖嘉、照沼にい菜、空閑玄明、末崎光一、幸地勇、大神明、第32回産業医科大学学会総会、産業医が作業名からRMR一覧表を用いて推定した作業強度と心拍数を基に推定した作業強度の比較検討、2014

年 10 月 4 日、産業医科大学（福岡県北九州市）

喜多村紘子、野澤弘樹、長谷川将之、安藤肇、菅野良介、道井聡史、江口泰正、大神明、第 33 回産業医科大学学会総会、心拍数を用いた作業強度調査：ヘルスケアワーカー、2015 年 10 月 3 日、産業医科大学（福岡県北九州市）

6 . 研究組織

(1)研究代表者

喜多村 紘子 (KITAMURA, Hiroko)
産業医科大学・産業生態科学研究所・助教
研究者番号：20628531