

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：82629

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23590767

研究課題名(和文) 高齢労働者の暑熱負担と暑熱基準の妥当性に関する調査研究

研究課題名(英文) Investigation of heat strain and the validity of thermal standard about older worker

研究代表者

上野 哲 (Ueno, Satoru)

独立行政法人労働安全衛生総合研究所・人間工学・リスク管理研究グループ・研究員

研究者番号：60291944

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：建設業従事者を対象とした夏季の現場調査では、午後前半で環境の暑熱ストレスが最も高く、心拍数、水分喪失量、深部体温が高かった。平均体重減少率は1.2%で約半数がACGIH-TLVの基準を超えていた。摂水量は、水分喪失量の約半分であり、仕事中に脱水を起こす可能性がある。作業時の高い暑熱負担を緩和するため、昼食時に十分な食事、水分、休憩をとることの重要性が示された。ISO7243のような暑熱ストレス基準を現場に適用するには、作業時の代謝率を正確に予測する必要がある。気温、体重、体脂肪率に加えて予備心拍数又は正味心拍数を用いると代謝率を正確に予測できることを被験者実験で示した。

研究成果の概要(英文)：Field study about construction workers in summer showed that heat stress of the working environment was highest in the first half of afternoon work and that heart rate, water loss, deep body temperature of workers were high. The average water deficit per body weight was 1.2% at the end of work shift. About half of the workers were over the standards of ACGIH-TLV. The water intake was about 50% of the water deficit, which could cause dehydration during work. To alleviate high heat strain during work, the data showed that it was important to take enough food, beverage and rest in lunch.

A precise estimation of metabolic rate of outdoor workers in summer is necessary to apply the heat stress standards, such as ISO7243. By subjective study, we developed precise metabolic rate prediction equation of younger and older men by using heart rate reserve or heart rate net in addition to body weight, body fat percentage and ambient temperature.

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：社会医学・衛生学

キーワード：暑熱負担 代謝率 心拍数 脱水

1. 研究開始当初の背景

(1) 猛暑の夏は、業務上死亡災害が増加し社会問題となっている。暑熱ストレスに弱い高齢労働者の割合が今後さらに増加するため、高齢労働者の暑熱災害予防対策が急務となる。熱中症死亡者や救急搬送者は高齢者が多いことがデータで示されているが、働いている高齢労働者も熱中症になりやすいかどうか分かっていない。現場では、熱中症による暑熱障害以外にも、落下や転倒による事故が増える。

(2) 現在の暑熱に対する基準 (ISO7243、ACGIH-TLV 等) では、作業強度 (代謝率) が分かれば、労働作業環境の基準となる WBGT 参照値を表で求めることができる。WBGT 参照値を用いて作業管理に役立てることができる。しかし、作業時の代謝率を予測することは容易ではない。ISO8996 では心拍数から代謝率を求める推定式が示されているが、気温の影響が考慮されていないため、検証する必要がある。

2. 研究の目的

(1) 熱中症が多発する夏季建設従事者の暑熱ストレスや暑熱負担を計測し、ISO や ACGIH-TLV 基準範囲内であるかどうかを調査する。高齢労働者群と若年労働者群に分けて、暑熱ストレスや暑熱負担に有意差があるか調査する。

(2) 高齢者や若年者の作業時の代謝率を気温の影響も考慮に入れて予測する式を求めることにある。

3. 研究の方法

(1) 建設業従事者合計 23 人の温熱に関する作業環境測定、体重測定、深部体温測定、心拍数、尿温度、尿比重及び尿成分分析を行う。作業環境測定は、作業者が移動することを考慮して屋外と屋内の定点観測 (QUESTemp^o 36, QUEST technologies) だけでなく、作業者のヘルメットに携帯型の WBGT 計 (WBGT-213B, Kyoto Electronics Manufacturing) を取り付けて作業者周囲の WBGT、乾球温度、黒球温度、湿球温度を測定した。

体重計測は、20g まで計測可能な体重計 (FG-150 KBM, AND) を用いて一日 6 回 (作業前、午前休憩時、昼食前、昼食後、午後休憩時、作業終了時)、ブリーフ一枚になって汗を拭いた状態で測定した。

深部体温は、一日 6 回 (作業前、午前休憩時、昼食前、昼食後、午後休憩時、作業終了時) 採尿する際に放尿直後の尿温度を測定して求めた。尿比重は屈折計 (Pal-09S, Atago) を用いて測定した。尿重量を秤量計で測定したのち、比重で割って尿容量を求めた。尿のサンプルを 5ml ドライアイスで凍結して、研究所に運搬し、浸透圧、クレアチニン濃度、

Na, K 濃度を外注して測定した (SRL)。

心拍数は、始業時に心拍計 (RS800CX, Polar) を作業者に装着して、作業開始時から終了時までの R-R 間隔を測定した。

摂水量は、作業者が作業中に飲んだ飲料水の量を作業後に計測した。尿量、体重減少量から作業中の水分喪失量を予測した。

作業者の主観的な温熱感、疲労感、口渇感、発汗状態を採尿の際に計測した。その他、基本的な生活習慣や熱中症の経験について医師が問診した。

(2) 高齢者 (61.7 ± 2.2 歳) 7 名、若年者 (22.9 ± 0.7 歳) 7 名を対象に、相対湿度 40% 一定で室温 25、30、35 の 3 種類の温熱環境で、エルゴメーターによる負荷試験を行った。

3 つの異なる室温での実験は、同じ週に同じ被験者に対して行われた。1 日に 3~4 人の被験者実験を行った。サーカディアンリズムの影響を排除するため、同じ時間に実験を行った。初日に、三か所の皮膚の皮下脂肪厚を測定して、Tahara の方程式から身体密度を予測し、さらにその値を使って Brozek の式より体脂肪率を予測した。体重測定 (Sartorius)、心拍計 (RS800CX, Polar)、直腸温度センサー、皮膚温度センサーを装着後、室温 25、相対湿度 40% の人工気象室で座位の状態での 30 分安静に保った。その後、本実験室 (相対湿度 40%、室温 25、30 又は 35) 内で、30 分間座位で安静後代謝率計 (Metamax) を取り付け、暑熱に関するアンケートを行った。合計 40 分間座位安静後、5 分間のエルゴメーターによる負荷、1 分間クールダウン後 10 分間の座位安静を一組として 3 回行った。エルゴメーターは、50 回/分の速さに設定した。負荷強度は、カルボネン法ではほぼ 30%、45%、60% HRR を目安にした。

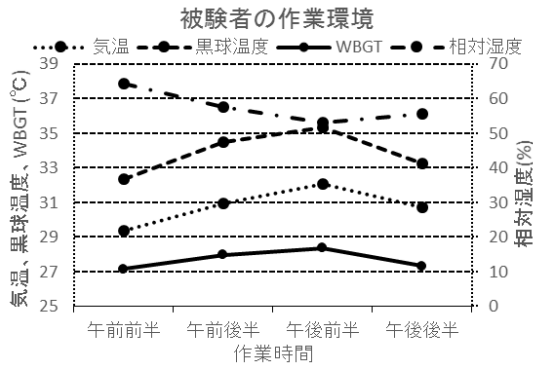
代謝率の予測式の説明変数として、心拍数だけでなく、予備心拍数 ($100 \times [(心拍数 - 安静時心拍数) / (最大心拍数 - 安静時心拍数)]$)、正味心拍数 ($心拍数 - 安静時心拍数$)、心拍指標 ($心拍数 / 安静時心拍数$) を用いて、多重回帰で求めた。心拍数関連以外では、気温、体重、体脂肪率を説明変数に用い、高齢者及び若年者のそれぞれの代謝率に対して SAS (version 11) を用いて線形多重回帰で計算した。

本研究は、所属する研究所の研究倫理委員会の承認を得て実施した。

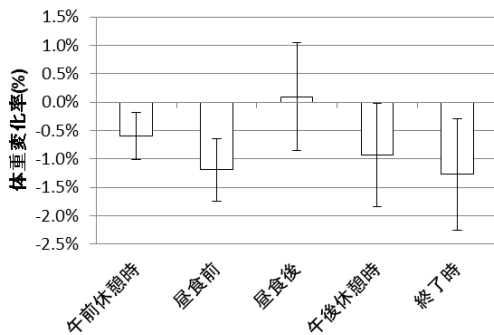
4. 研究成果

(1) 建設業従事者を対象とした現場調査

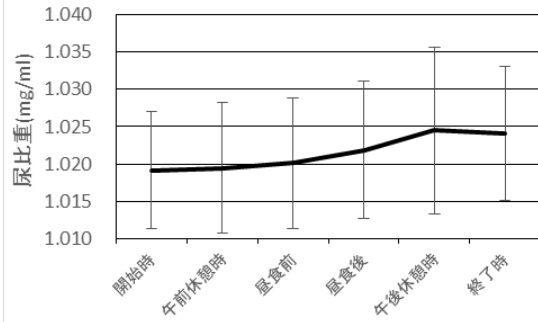
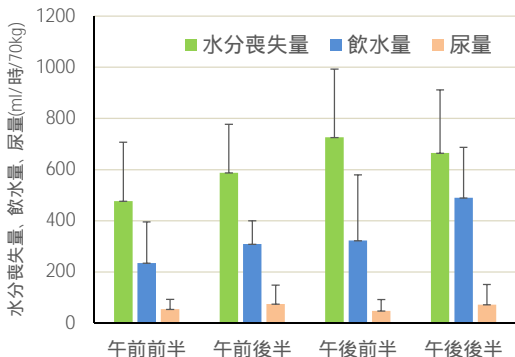
23 人の被験者周囲の作業環境を上図に示した。暑熱ストレスは、午後前半の作業で最も高かった。その時の WBGT、気温、黒球温度の平均はそれぞれ、28.4、32.1、35.3 であった。平均で屋外の定点観測での気象データよりも値は低かった。屋内と屋外を行き来しながら作業が行われていたことを示すデータであった。



体重変化率では、午前の作業で脱水は進み平均で体重比 1.2% となった。昼食で作業開始時のレベルを回復したが、午後休憩時には 1.0% 近くまで脱水が進み、作業終了時は 1.3% 体重減となった。ACGIH-TLV の基準 1.5% 体重減を超えていた人は 23 人中 11 人であった。

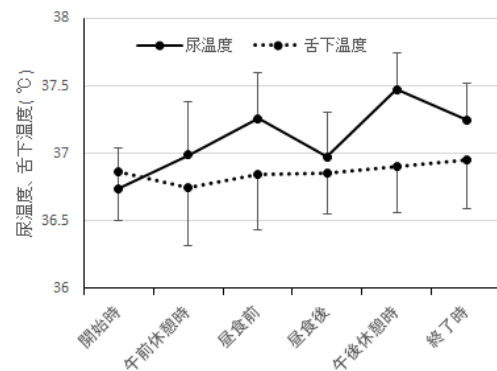


水分喪失率は、体重減少と飲水量及び尿量から推定した。ここでは不感蒸泄も含まれる。体重 70kg の人が 1 時間に喪失する水分量を求めると、午後前半で最も大きく 762ml/時/70kg となった。水分喪失量に対しての摂水量は、午後前半で最も低く 45% となった。午前中は 50% 程度で、午後後半の作業時の摂水率が最も高く、74% となった。昼食を摂った休憩後、最も暑いときに作業量を減らさなかったのだと推測される。午後前半で、脱水が急速に進行したため、口渴感が増して午後後半での作業で飲水量は増えたと予想される。脱水の指標として使用されている尿比重は、午後休憩時で平均値が最も高い値であった。脱水が疑われる尿比重 1.03 を超えた人も午後休憩時は 19 人中 6 人となった。作業開始時から 1.03 を超えている人が 19 人中 1 人いた。

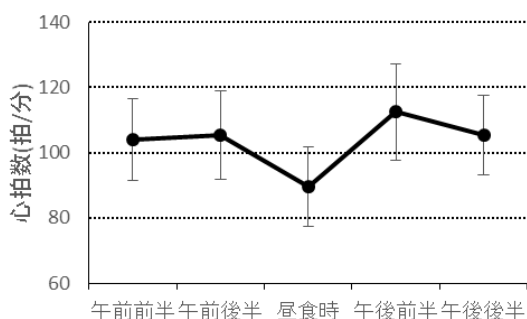


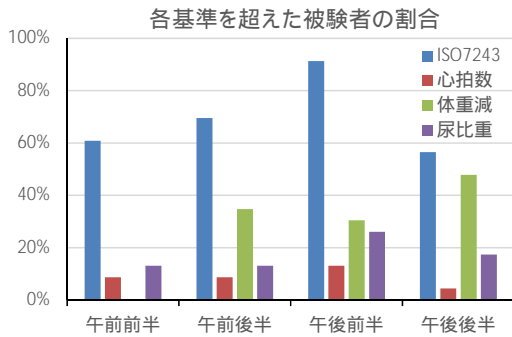
ため、作業前に十分な水分を摂取しておくことが重要である。

現場で深部体温を計測するため、尿温度と舌下温度の 2 種類を用いた。舌下温度は作業開始から作業終了までほとんど変化がなかったが、尿温度は午前の作業で 1 上昇し、昼食時に 0.5 下がるが、午後前半の作業で 1 上昇している。午後作業時の尿温度は他の作業時と比べて有意に高かった。尿温度が舌下温度より正確な値を示していることが上図から推測される。ISO7933 等で規定されている深部体温の基準である 38 を超えた被験者は本調査ではいなかった。しかし、37.8 を超えた人は、午後前半の作業で 23 人中 6 人いたため、気温が 35 を超えるようなより厳しい暑熱環境下では、深部体温が 38 を超えることも予想される。



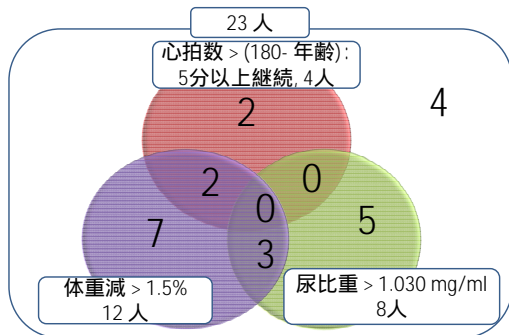
作業時の平均心拍数は、昼食時が他の時間帯に比べて有意に低く、午後前半の作業が有意に高かった。食事後に、心拍数は上昇すること、午後前半の WBGT 値が高かったことが影響していると推測できる。5 分以上 180-年齢の ACGIH-TLV の基準を超えていた人は 4 人いた。





作業環境 WBGT、体重減少量、尿比重、尿温度、心拍数のいずれも午後前半の作業時が最も高かった。各基準を超えた被験者の割合を図に示した。また、心拍数を用い ISO8996 で予測した代謝率から厚生労働省で採用されている ISO7243 を用いて基準 WBGT を求め、実測の被験者周囲の WBGT と比較した。23 人中 21 人で基準を超えた。午後前半の作業負担の軽減を図る必要がある。業務上熱中症死亡災害は、14 時～16 時に発生している件数が最も多いことを裏付けるデータとなった。

心拍数、体重減、尿比重の基準を超えている人の重なり



心拍数、体重減、尿比重の基準を超えている人の分布をベン図に示した。23 人中 19 人が何らかの基準を超えていた。身体的負荷の基準を一つの指標で表すのは困難であることを示した。

本研究のデータが示すものは、熱中症を予防するためには、第一に昼食時に涼しい環境で水分や食事を十分とって脱水状態、体温や心拍数を始業時のレベルまで戻すことが重要であること。第二に、最も暑熱ストレスが大きい午後前半の仕事では連続した長時間の作業を行わず、水分補給をしながら休憩を頻繁に入れること。第三には、午前と午後の作業開始時に健康チェックを行うことが望まれる。

高齢者 8 人 (54～61 歳) と若年者 7 人 (19～29 歳) について、以上のそれぞれの項目について、4 つの作業時間帯で比較検討した。有意差があった項目は、昼食時の予備心拍数で若年者の方が有意に低く、回復が早いことが示された。尿比重が作業開始時に若年者が有意に高く、作業中も有意では無いが高い傾向があった。尿クレアチニンの濃度は、若年者が

開始時、午前休憩、午後休憩時において有意に高齢労働者より高かった。高齢者の尿を濾す能力が低下していることも原因だと思われる。若年者が最も暑熱ストレスが高い時間帯である午後前半の作業時間が有意に長かったことから、高齢者は無理をせず自己管理をしている可能性があった。他の指標は、高齢者若年者の有意差はなかった。高齢労働者は、若年者の暑熱負担と有意な違いがなく、体力が幾分落ちる分午後の休憩を早めに摂っていた。

(2) 心拍数から高齢者と若年者の代謝率を予測する式を被験者実験から求めた。心拍計は、小型で装着に負担がかからないタイプが市販で入手できるため計測が容易であるため、心拍数を使った代謝率予測は現場でも使用できる可能性がある。90～150bpm 間では、心拍数と代謝率の直線性がいくつかの研究で示されているため線形の予測が可能である。暑熱環境で使用できるように、ISO8996 では考慮に入れていない気温の影響を説明変数に加えて予測式を計算した。解析では、心拍数だけでなく、他の 3 つの心拍変数を考慮した。

若年者(代謝率単位 W/m²) (22.9 ± 0.7 歳)

心拍変数(4種類)	心拍変数	気温	体重	体脂肪率	切片	R ²
心拍数	3.12*	-0.29	1.53	-0.39	-241.8	0.74
予備心拍数	4.03*	-0.32	2.43*	-1.49*	-44.9	0.84
正味心拍数	3.11*	-0.71	2.94*	-2.43*	-34.5	0.79
心拍指標	184 *	-1.15	3.09*	-2.95*	-172.0	0.68

高齢者(代謝率単位 W/m²) (61.7 ± 2.2 歳)

心拍変数(4種類)	心拍変数	気温	体重	体脂肪率	切片	R ²
心拍数	3.51*	1.32	0.57*	-0.14*	-235.9	0.74
予備心拍数	3.30*	1.76*	0.54*	-0.99*	10.2	0.84
正味心拍数	3.31*	1.67*	0.39*	-1.41*	44.6	0.79
心拍指標	180 *	1.38	0.21	-1.51*	-92.3	0.68

気温、体重、体脂肪率と、4 種類の心拍変数をそれぞれ説明変数としたモデルを作り、多重回帰分析を行った結果を上表に示す。予備心拍数を説明変数としたモデルが最も R² 値が小さくモデルによる誤差が少なかった。これは、予備心拍数や正味心拍数には被験者の体力を示す安静時の心拍数が含まれているため、代謝率予測が他の心拍変数に比べ正確になったと予測される。いずれの指標を使ったときにも、高齢者では気温、体重、体脂肪率が有意な説明変数となった。高齢者では、気温が代謝率に対して正の相関を示したことは、外気温が高いときは代謝率が高まり、体温が上昇する危険性があることが示唆される。本実験では若年者高齢者とも、代謝率に対する体重の係数が正であり、体脂肪率の係数が負であった。体重は、重ければ重いほど支えるのにエネルギーを使うということ、及び普段から運動をして体力がある人は体脂肪率が低いという生理学的な知見と結果

が一致した。

ISO8996 では、心拍数、年齢、体重、性別から代謝率を予測する表が示されているが、暑熱環境で作業する労働者の代謝率を予測するには気温の影響も考慮に入れる必要がある。また、安静時心拍数が個人で大きく違うことの影響も補正する必要がある。本研究では、この二つのことを考慮して予測式を作った。予備心拍数や正味心拍数を求めるには、安静時心拍数を測定する必要があるが、そのことによりより正確な代謝率予測が可能となることが分かった。気温の影響は35 まで若年者では代謝率予測に影響を受けないが高齢者では代謝率が高まり、そのことが熱中症発生の危険性を高める恐れがある。実験期間が9 月下旬だったため、若年者高齢者とも暑熱順化している状態だったが、暑熱順化していない状態では、代謝率予測式が変わってくる可能性もある。

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)

[学会発表](計 8 件)

Ueno S, Sawada S, Oka T et al. (2012) Heat strain and hydration conditions of Japanese construction workers during work in summer. 9th International Meeting for manikins and Modeling. USBstick.

Shin-ichi Sawada, Satoru Ueno (2011) Recent heat-related problems at outdoor work and the assessment and prevention strategy in Japan. The 4th International Conference on Human-Environment System, USBstick.

上野 哲, 澤田晋一 (2011) 熱中症による業務上死亡災害：2009 年と2010 年の比較. 第50 回日本生気象学会, 日本生気象学会雑誌 48, 第3号, S55.

上野 哲, 岡龍雄, 澤田晋一(2011) 夏季の林業従事者の下草刈り作業における暑熱負担の検討(2) ~ 深部体温、尿成分、体重減少量による解析. 第84 回日本産業衛生学会, 産業衛生学雑誌 53 (Supple), p337.(口頭発表)

岡龍雄, 上野 哲, 澤田晋一(2011) 夏季の林業従事者の下草刈り作業における暑熱負担の検討(1) ~ 心拍数を用いた解析. 第84 回日本産業衛生学会, 産業衛生学雑誌 53 (Supple), p388.

上野 哲, 澤田晋一, 登内道彦(2012) 屋外業務上熱中症死亡災害は猛暑の時しか起きないか? 第85 回日本産業衛生学会, 産業衛生学雑誌 54 (Suppl.), 387 .

上野哲, 岡龍雄, 田井鉄男, 呂 健, 安田彰典, 澤田晋一, 池田耕一(2013) 暑熱環境における高齢労働者の代謝率予測. 第86 回日本産業衛生学会, 産業衛生学雑誌 55(Suppl), 380.

上野哲, 田井鉄男, 岡龍雄, 澤田晋一, 池田耕一(2013) 暑熱環境における高齢労働者の

最大酸素摂取量. 第52 回日本生気象学会, 日本生気象学会雑誌 50(3), S71

6 . 研究組織

(1)研究代表者

上野 哲 (Satoru, Ueno)

独立行政法人 労働安全衛生総合研究所・主任研究員

研究者番号：60291944

(3)連携研究者

澤田晋一 (Shin-ichi Sawada)

独立行政法人 労働安全衛生総合研究所・国際センター長

研究者番号：00167438

岡 龍雄 (Tatsuo Oka)

独立行政法人 労働安全衛生総合研究所・主任研究員

研究者番号：70415967

安田 彰典 (Akinori Yasuda)

独立行政法人 労働安全衛生総合研究所・主任研究員

研究者番号：70443330