

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، عضو کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی، همدان، ایران.
۲. استادیار گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.
۳. دانشجوی دکتری آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی، همدان، ایران.
۴. * (نویسنده مسئول) دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، عضو کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی، همدان، ایران. پست الکترونیک: m.jalali@umsha.ac.ir
۵. مرکز بهداشت شمیرانات، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.



مقدمه

تنش گرمایی یکی از مهم‌ترین عوامل فیزیکی زیان‌آور در بسیاری از محیط‌های کاری در صنایع مختلف می‌باشد [۴-۱]. مواجهه با دماهای بالا در میان کارگران شاغل در محیط‌های گرم شایع بوده و می‌تواند باعث ایجاد اثرات نامطلوب فیزیولوژیکی متعددی شود. بدن انسان به‌عنوان موجود خون گرم در محدوده کوچکی از دمای عمقی بدن می‌تواند عملکرد طبیعی خود را انجام دهد که این محدوده از 37°C تا $36/7^{\circ}\text{C}$ می‌باشد [۵]. در محیط‌های با تنش گرمایی بالا، اثر گرمای محیطی و گرمای متابولیکی ایجاد شده در نتیجه فعالیت فرد با یکدیگر ترکیب شده و باعث ذخیره گرما در بدن می‌شود. متعاقب آن دمای عمقی بدن از حد طبیعی خود فراتر رفته و می‌تواند ایجاد اثرات فیزیولوژیکی و در نتیجه ایجاد استرین‌های گرمایی نماید [۶]. کنفرانس دولتی مهندسين صنعتی آمریکا (ACGIH) American Conference of Governmental Industrial Hygienists تنش گرمایی را بار گرمایی ویژه‌ای که کارگر ممکن است با آن مواجهه پیدا نماید تعریف نموده است. همچنین واکنش گرمایی را به‌عنوان پاسخ فیزیولوژیکی بدن در نتیجه تنش گرمایی تعریف می‌نماید [۷]. شرایط کاری در مواجهه با تنش گرمایی می‌تواند باعث اثرات متعددی در بدن گردد. از جمله این اثرات می‌توان به شوک گرمایی، خستگی گرمایی، سنکوپ گرمایی، کرامپ گرمایی و راش گرمایی اشاره کرد. شوک گرمایی، خطرناک‌ترین بیماری ایجاد شده توسط گرما بوده و در موارد شدید ممکن است منجر به مرگ شود [۸، ۶]. همچنین گرما در محیط کار می‌تواند به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر متابولیسم فرد یا دمای بدن، ضربان قلب و فشارخون اثر گذاشته و باعث اختلال و بیماری و بالا رفتن میزان خطای کاری و در نهایت بروز حوادث شود [۹].

برای جلوگیری از ایجاد این مشکلات و کنترل تنش گرمایی محیط کار، شاخص‌های متعددی برای ارزیابی محیط‌های گرم ارائه شده‌است که از جمله آن‌ها می‌توان به شاخص‌های دمای ترگوبسان Wet Bulb Globe Temperature (WBGT)، شاخص میزان عرق ۴ ساعته Predicted Four-Hour Sweat (P4SR)، شاخص دمای مؤثر Effective Temperature (ET)، شاخص آکسفورد Wet-Dry Index (WD) و شاخص حد گرمایی کار Thermal work limit (TWL) اشاره کرد [۱۰، ۱]. در میان روش‌های موجود شاخص WBGT شاخصی است که در

آئین‌نامه‌های ایمنی و بهداشت شغلی دارای برتری خاصی نسبت به دیگر روش‌های ارزیابی تنش گرمایی می‌باشد. این شاخص همچنین ارتباط خوبی را با پاسخ‌های فیزیولوژیکی بدن در دماهای بالا نشان داده است [۱۰، ۹]. سازمان جهانی استاندارد International Organization for Standardization (ISO) این شاخص را به‌عنوان شاخص ارزیابی تنش گرمایی محیط معرفی کرده و مطابق با استاندارد شماره ISO ۷۲۴۳ ارائه نموده است [۱۰].

روش‌های مستقیم ارزیابی میزان مواجهه فرد با گرما، بر مبنای اندازه‌گیری استرین گرمایی است. با توجه به تحقیقات انجام گرفته، اندازه‌گیری دمای رکتال به دلیل ارتباط قوی با دمای هیپوتالاموس، به‌عنوان بهترین شاخص برای اندازه‌گیری مستقیم واکنش گرمایی وارد شده بر بدن اعلام شده‌است؛ اما اندازه‌گیری این شاخص دارای محدودیت‌هایی بوده و برای محیط‌های کاری نامناسب می‌باشد. در نتیجه شاخص‌های دیگری را جانشین آن نموده‌اند که می‌توان از بین این شاخص‌ها به اندازه‌گیری دمای زیرزبانی، تعداد ضربان قلب، دمای تمپان، میزان بازیابی ضربان قلب و اندازه‌گیری وزن بدن اشاره کرد که هر کدام از این روش‌ها نیز به‌نوبه خود دارای محدودیت‌هایی هستند [۱۵-۱۱].

در زمینه انتخاب بهترین روش اندازه‌گیری واکنش گرمایی در محیط‌های شغلی مطالعات اندکی انجام پذیرفته و بیشتر مطالعات با اهداف کلینیکی جهت تشخیص تب در بیماران و اندازه‌گیری واکنش گرمایی ورزشکاران در طی فعالیت انجام شده‌است. از مهم‌ترین مطالعات مرتبط با تعیین شاخص بهینه اندازه‌گیری واکنش گرمایی در محیط‌های شغلی می‌توان به مطالعه‌ای که وان در سال ۲۰۰۶ انجام داد اشاره نمود. در این مطالعه شاخص‌های متعددی از قبیل دمای رکتال، دمای زیرزبانی، دمای تمپان، دمای دیسک، شاخص واکنش فیزیولوژیکی، ضربان قلب و بازیابی ضربان قلب در دو نوع مختلف لباس مورد مطالعه قرار گرفت. در نهایت این گونه نتیجه‌گیری شد که در بین این شاخص‌ها دمای تمپان می‌تواند به‌عنوان بهترین شاخص ارزیابی واکنش گرمایی در محیط کار مورد استفاده قرار گیرد. مبنای مقایسه انتخاب بهترین روش در این مطالعه مقایسه آن با مقادیر به‌دست آمده برای دمای رکتال با توجه به سطح زیر منحنی Receiver Operating Characteristic (ROC) بود [۹].

با توجه به موارد ذکر شده، ارزیابی تنش‌ها و واکنش‌های گرمایی محیط کار در راستای ارائه تدابیر لازم در جهت کاهش مواجهه



WBGT برای هر فرد محاسبه شد.

رابطه (۱)

$$WBGT = \frac{(WBGT_{head}) + (2WBGT_{abdomn}) + (WBGT_{foot})}{4}$$

WBGT: شاخص دمای تر گویسان

$WBGT_{head}$: شاخص دمای تر گویسان در ارتفاع سر

$WBGT_{abdomn}$: شاخص دمای تر گویسان در ارتفاع شکم

$WBGT_{foot}$: شاخص دمای تر گویسان در ارتفاع قوزک پا

رابطه (۲)

$$WBGT_{TWA} = \frac{(WBGT \times T1) + (WBGT \times T2) + \dots + (WBGT \times Tn)}{T1 + T2 + \dots + Tn}$$

WBGT_TWA: میانگین وزنی-زمانی شاخص دمای تر

گویسان

$WBGT_{1,2,\dots,n}$: شاخص دمای تر گویسان در ایستگاه‌های کاری

مختلف هر فرد در یک شیفت کاری

$T_{1,2,\dots,n}$: مدت زمان مواجهه با تنش گرمایی فرد در هر ایستگاه

کاری

برای تعیین مقادیر مجاز شاخص WBGT محیط، میانگین وزنی-زمانی متابولیسم (TWA) کاری افراد با استفاده از جداول استاندارد ISO-8996 تعیین شد تا بر اساس آن در مورد میزان تنش حرارتی قضاوت شود [۱۷]. همچنین کلوی لباس با استفاده از جداول ارائه شده در استاندارد ISO 9920:2007(E) محاسبه و ثبت شد [۱۸]. مدت زمان نوبت کاری افراد نیز به صورت ۸ ساعته و با الگوی ۷۵٪ کار - ۲۵٪ استراحت در نظر گرفته شد که در تعیین متابولیسم شغلی لحاظ شد. طبقه بندی افراد در سطوح مجاز و غیرمجاز میزان مواجهه با گرما، بر اساس توصیه سازمان ACGIH در رابطه با مقادیر ارائه شده بر مبنای شاخص WBGT انجام پذیرفت [۱۹]. در این راستا حدود مجاز شاخص WBGT با احتساب متابولیسم کاری، سازش یافتگی، میزان کلوی لباس و مدت زمان شیفت کار برای هر یک از افراد به صورت جداگانه محاسبه و ثبت شد. اندازه گیری واکنش های گرمایی مورد بررسی در این مطالعه شامل اندازه گیری دمای زیربانی، تعداد ضربان قلب، دمای تمپان، میزان بازبانی ضربان قلب و دمای ادرار نیز بر اساس استاندارد توصیه شده به شماره ISO9886-2003 انجام گرفت [۱۲]. اندازه گیری دمای زیربانی توسط دماسنج دهانی الکترونیکی مدل Bliss ساخت کشور چین و اندازه گیری دمای

شغلی کارگران با گرما، امری بدیهی بوده و با توجه به تحقیقات گسترده در این زمینه هنوز ابهاماتی در مورد انتخاب بهترین شاخص های اندازه گیری واکنش گرمایی برای ارزیابی صحیح تر مواجهه شغلی در محیط های کاری گرم وجود دارد. هدف از انجام این مطالعه ارزیابی تنش گرمایی بر مبنای شاخص تجربی دمای تر گویسان WBGT و واکنش های گرمایی ناشی از آن بر مبنای پارامترهای دمای زیربانی، دمای تمپان، دمای ادرار، تعداد ضربان قلب و میزان بازبانی ضربان قلب در کارگران مواجه با گرما و تحلیل ارتباط بین آنها در راستای تعیین شاخص بهینه به منظور کاربردهای میدانی بود.

روش بررسی

این مطالعه توصیفی-تحلیلی به صورت مقطعی و بر روی کارکنان شاغل در فرآیند ذوب فلزات و ریخته گری ۴ کارخانه مستقر در شرق شهر تهران انجام پذیرفت. روش نمونه گیری به صورت سرشماری و از کلیه شاغلین در مواجهه با گرما در صنایع مورد بررسی انجام شد. معیار ورود به مطالعه عبارت بود از سابقه کاری بالاتر از ۳ ماه (جهت در نظر گرفتن معیار سازش یافتگی افراد با گرما)، عدم ابتلا قبلی به بیماری های ناشی از گرما، عدم هرگونه سابقه ابتلا به بیماری های قلبی-عروقی، دیابت، بیماری عفونی، پرکاری تیروئید و بیماری های کلیوی. در نتیجه از بین ۴۶ نفر از پرسنل حاضر ۴۰ نفر با توجه به دارا بودن معیارهای ورود، در مطالعه شرکت داده شدند. این اطلاعات از طریق پرونده های پزشکی افراد مورد مطالعه و با استفاده از پرسشنامه تهیه شده تکمیل گردید. مواردی مانند سن، سابقه کار، قد، وزن و نوع لباس (برای تعیین میزان کلوی آن) نیز در پرسشنامه مربوطه وارد و برای هر یک از افراد به صورت مصاحبه حضوری ثبت شد. در مرحله بعد ارزیابی تنش گرمایی در ایستگاه های کاری برای هر یک از شاغلین به صورت جداگانه انجام گرفت. برای این منظور از شاخص دمای تر گویسان WBGT مطابق با استاندارد شماره ۷۲۴۳ ISO استفاده شد [۱۶]. برای اندازه گیری این شاخص از دستگاه سنجش WBGT شرکت Casella استفاده شد. با توجه به روش کار ارائه شده توسط این استاندارد، اندازه گیری ها در سه ارتفاع سر (۱/۷ متر)، شکم (۱/۱ متر) و قوزک پا (۰/۱ متر) انجام و با استفاده از رابطه ۱ میانگین آن تعیین گردید. اندازه گیری ها برای هر یک از افراد در ایستگاه های کاری مختلف شیفت کاری انجام پذیرفت و با استفاده از رابطه ۲، میانگین وزنی-زمانی شاخص



کلیه تحلیل‌های آماری در سطح معناداری ۹۵ درصد انجام پذیرفت.

یافته‌ها

خصوصیات دموگرافیکی افراد مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است. میانگین (انحراف معیار) نمایه توده بدنی (به عنوان یک عامل مؤثر در دمای عمقی) افراد مورد بررسی عبارت بود از $(23/2) (2/2)$. اطلاعات حاصل از پرسشنامه نشان داد که طی ۱۲ ساعت قبل اندازه‌گیری‌ها هیچ‌یک از افراد الکلی و مواد مخدر استفاده نکرده بودند.

نتایج مربوط به وضعیت تنش گرمایی محیط کار شاغلین در جدول ۲ ارائه شده است. بررسی تنش حرارتی هر یک از شاغلین مورد بررسی نشان داد که در ۸۰ درصد افراد مقدار شاخص WBGT_TWA با لحاظ متابولیسم کاری و میزان کلوی لباس، از حد مجاز کشوری و حدود مجاز توصیه شده توسط ACGIH برای افراد سازش یافته تجاوز نموده بود.

نتایج ثبت شده از پارامترهای فیزیولوژیک شامل دمای زیربانی، دمای تمپانی، دمای ادرار، ضربان قلب و بازیابی ضربان قلب در جدول ۳ ارائه شده است.

در میان شاخص‌های برآورد دمای عمقی، دمای تمپان بیشترین $(37/5)$ و دمای ادرار کمترین $(37/1)$ میانگین را به خود اختصاص داد. میزان همبستگی مقادیر ثبت شده برای شاخص WBGT به عنوان یک متغیر مستقل و شاخص‌های فیزیولوژیکی به عنوان یک متغیر وابسته، توسط آزمون رگرسیون خطی ساده مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین همبستگی این شاخص، به ترتیب با دمای تمپان $(R^2=0/78, Pvalue < 0/01)$ و دمای زیربانی $(R^2=0/7, Pvalue < 0/01)$ به دست آمد (جدول ۳). نتایج مربوط به زمان صرف شده برای اندازه‌گیری هر یک از شاخص‌های واتنش گرمایی و مدت زمان وقفه ایجاد شده در فرآیند کاری نشان داد که کمترین مقدار در مورد اندازه‌گیری دمای تمپان است (زمان اندازه‌گیری: ۱ دقیقه، زمان وقفه در فرآیند: ۱ دقیقه) (جدول ۳).

تمپان توسط دماسنج تمپانیک مادون قرمز مدل Emperor ساخت کشور ژاپن انجام پذیرفت. به منظور رعایت بهداشت فردی افراد، بعد از هر اندازه‌گیری، این دماسنج‌ها برای استفاده مجدد توسط الکلی ضدعفونی شدند. به منظور جلوگیری از خطا در اندازه‌گیری دمای زیربانی، به افراد آموزش داده شد تا ۳۰ دقیقه قبل از اندازه‌گیری‌ها از خوردن، آشامیدن و کشیدن سیگار اجتناب نمایند. برای جلوگیری از ایجاد خطا در اندازه‌گیری دمای تمپان، قبل از اندازه‌گیری‌ها، داخل گوش افراد توسط سواپ گوش تمیز شد. همچنین برای به حداقل رساندن تأثیر دمای محیطی بر روی دمای اندازه‌گیری شده، سنسور دماسنج تمپانیک با فوم عایق (مشابه ایرپلاگ) کاملاً محصور شد. اندازه‌گیری‌ها برای هر کدام از شاخص‌ها سه بار تکرار و میانگین آن‌ها به عنوان عدد اصلی ثبت شد. ضربان قلب و بازیابی ضربان قلب نیز توسط دستگاه ضربان سنج مچی Sport Tester انجام پذیرفت. این دستگاه دارای یک سنسور و گیرنده مچی است که به ترتیب بر روی سینه و مچ دست نصب می‌شود. ضربان قلب در زمان پیک کار و با گذشت ۱۵ دقیقه از زمان نصب ضربان سنج بر روی سینه فرد، ثبت شد. اندازه‌گیری بازیابی ضربان قلب به این صورت انجام شد که کارگر پس از پیک کار به یک منطقه بدون تنش گرمایی وارد و پس از گذشت یک دقیقه ضربان قلب او ثبت شد. جهت اندازه‌گیری دمای ادرار نیز از دماسنج الکترونیکی مدل Bliss استفاده گردید. به این صورت که دماسنج الکترونیکی با پاسخ سریع به داخل بطری‌های پلاستیکی مخصوص جمع‌آوری ادرار قرار داده شد و از افراد خواسته شد که نمونه ادرار را در آن قرار دهند. پس از جمع‌آوری نمونه، میزان دمای ادرار تعیین شده توسط دماسنج بلافاصله ثبت شد. کلیه اندازه‌گیری‌ها در فصل تابستان و در نامطلوب‌ترین شرایط جوی محیط کار انجام پذیرفت.

در این مطالعه همچنین زمان صرف شده برای اندازه‌گیری هر یک از شاخص‌های واتنش حرارتی به منظور شناسایی بهترین شاخص از لحاظ صرف زمان مورد نیاز برای اندازه‌گیری و میزان زمانی که در فرآیند کاری افراد وقفه ایجاد می‌نماید توسط کرنومتری که قابل نصب به مچ دست بود ثبت شد. داده‌ها پس از جمع‌آوری توسط نرم‌افزار SPSS16 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. به منظور تعیین همبستگی میان شاخص تنش حرارتی به عنوان متغیر مستقل و شاخص‌های واتنش حرارتی به عنوان متغیرهای وابسته از آزمون رگرسیون خطی ساده استفاده شد.



جدول ۱- ویژگی‌های دموگرافیک افراد مورد مطالعه

ویژگی	تعداد	انحراف معیار $\pm$ میانگین	کمینه	بیشینه
سن	۴۰	$35/3 \pm 5/4$	۲۴	۴۹
قد (cm)	۴۰	$173 \pm 5/8$	۱۶۰	۱۸۷
وزن (kg)	۴۰	$69/7 \pm 7/9$	۵۴	۸۷
شاخص توده بدنی (BMI)	۴۰	$23/2 \pm 2/2$	۱۸/۷	۲۹/۷

جدول ۲- وضعیت گرمای محیطی ثبت شده در افراد مورد بررسی

شاخص	تعداد	انحراف معیار $\pm$ میانگین	کمینه	بیشینه
دمای خشک (Ta)	۴۰	$31/4 \pm 1/7$	۲۷/۵	۳۴
دمای تر (Tw)	۴۰	$22/7 \pm 2/8$	۱۶/۲	۲۷
دمای گویسان (Tg)	۴۰	$38/2 \pm 6$	۲۴/۱	۴۷/۳
شاخص دمای تر گویسان (WBGT)	۴۰	$27/6 \pm 3/5$	۲۴	۳۳

جدول ۳- پارامترهای فیزیولوژیکی ثبت شده در افراد مورد بررسی و ارتباط آن با شاخص دمای تر گویسان ($^{\circ}\text{C}$)

شاخص	تعداد	انحراف معیار $\pm$ میانگین	مدت زمان اندازه‌گیری*	وقفه در کار**	R^2 (P.value) ***
دمای تمپان	۴۰	$37/5 \pm 1/06$	۱	۱	۰/۷۸ (۰/۰۰۱)
دمای زیربانی	۴۰	$37/4 \pm 1/07$	۱۵	۲	۰/۷ (۰/۰۰۱)
دمای ادرار	۴۰	$37/1 \pm 0/92$	۱۰	۱۰	۰/۶۴ (۰/۰۰۱)
ضربان قلب	۴۰	$115 \pm 21/7$	۱۰	۵	۰/۵۵ (۰/۰۰۱)
بازیابی ضربان قلب	۴۰	103 ± 18	۱۰	۴	۰/۴۵ (۰/۰۰۱)

*مدت زمان لازم برای اندازه‌گیری هر پارامتر در محیط کار برحسب دقیقه

**مدت وقفه ایجاد شده در پروسه کاری به دلیل اندازه‌گیری هر یک از پارامترها در محیط کار برحسب دقیقه

***ضریب تعیین آزمون رگرسیون خطی ساده با سطح اطمینان ۹۵٪ بین شاخص‌های فیزیولوژیکی و وضعیت محیطی بر مبنای شاخص دمای تر گویسان



بحث و نتیجه‌گیری

فیزیولوژیکی وارده بر افراد شاغل در محیط‌های شغلی گرم معرفی شود. از بین شاخص‌های استرین مورد بررسی، دمای تمپان ارتباط قوی‌تری را با شاخص WBGT نشان داد. بر این اساس به علت سهولت اندازه‌گیری، ماهیت غیرتهاجمی، قابل قبول بودن توسط کارگران، اندازه‌گیری سریع و عدم تداخل در فرآیند کاری، دمای تمپان می‌تواند به عنوان یک شاخص کاربردی‌تر نسبت به دیگر شاخص‌ها به منظور اندازه‌گیری استرین‌های فیزیولوژیکی در محیط‌های کاری گرم مورد استفاده قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

این مطالعه قسمتی از یک طرح تحقیقاتی به شماره ۹۱۰۹۰۷۳۱۹۸ می‌باشد که توسط معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی همدان مورد حمایت قرار گرفته‌است. همچنین محققین از مدیریت و پرسنل صنایع مورد مطالعه و به-خصوص آقای مهندس شهریار پناه کارشناس بهداشت حرفه‌ای مرکز بهداشت پردیس تهران به خاطر همکاری در انجام مطالعه مراتب قدردانی خود را اعلام می‌دارند.

هدف از انجام این مطالعه ارزیابی استرس گرمایی بر مبنای شاخص تجربی دمای تر گویشان WBGT و استرین‌های گرمایی ناشی از آن بر مبنای پارامترهای دمای زیرزبانی، دمای ادرار، تعداد ضربان قلب، دمای تمپان و میزان بازیابی ضربان قلب در کارگران دارای مواجهه گرمایی و تحلیل ارتباط بین آن‌ها در راستای تعیین شاخص بهینه به منظور کاربردهای میدانی بود. مقدار WBGT_TWA در این مطالعه با لحاظ فعالیت کاری و کلوئی لباس، در ۸۰٪ از افراد از حد مجاز کشوری و همچنین از استاندارد ارائه شده توسط ACGIH تجاوز کرده بود. این نتایج منطبق با نتایج حاصل از دیگر محققین است که در فرآیندهای ذوب فلزات انجام شده بود. در این مطالعه برای ارزیابی میزان استرین فیزیولوژیکی وارد بر بدن در اثر استرس حرارتی محیط از شاخص‌های اندازه‌گیری دمای عمقی بدن شامل دمای زیرزبانی، دمای تمپان، دمای ادرار و همچنین از شاخص ضربان قلب و میزان بازیابی ضربان قلب استفاده شد تا در نهایت از بین این شاخص‌ها مناسب‌ترین شاخص برای اندازه‌گیری مستقیم استرین

منابع

1. Epstein Y, Moran DS. Thermal comfort and the heat stress indices. *Industrial Health*. 2006;44(3):388-98.
2. Inaba R, Mirbod SM. Comparison of subjective symptoms and hot prevention measures in summer between traffic control workers and construction workers in Japan. *Industrial Health*. 2007;45(1):91-9.
3. Moran DS, Epstein Y. Evaluation of the environmental stress index (ESI) for hot/dry and hot/wet climates. *Industrial Health*. 2006;44(3):399-403.
4. Tanaka M. Heat stress standard for hot work environments in Japan. *Industrial Health*. 2007;45(1):85-90.
5. Sund Levander M, Forsberg CH, Wahren LK. Normal oral, rectal, tympanic and axillary body temperature in adult men and women: a systematic literature review. *Scandinavian Journal of Caring Sciences*. 2002;16(2):122-128.
6. Schneider J, Dip G, editors. Identification and management of thermal stress and strain. Queensland Mining Industry Health and Safety; Central Queensland University; 1999.
7. Varley F. A study of heat stress exposures and interventions for mine rescue workers. *J Transactions*. 2004;316:32-8.
8. Occupational Safety and Health Division (OSHA). Heat stress guide USA: Minnesota Department of Labor and Industry; 2009.
9. Wan M. Assessment of occupational heat strain [Phd thesis]. USA: University of South Florida; 2006.
10. Parsons K. Heat stress standard ISO 7243 and its global application. *Industrial Health*. 2006;44(3):368-79.
11. Alimohamadi I, Falahati M, Farshad A, Zokaie M, Sardar A. Evaluation and validation of heat stress indices in Iranian Oil Terminals. *Int J Occup Hyg*. 2012;4:21-5.
12. ISO-9886. ergonomics-evaluation of thermals strain by physiological measurement. Switzerland: International standard organization; 2004.
13. Joubert D, Bates G, Dhahi A, Emirates UA. Occupational heat exposure. Occupational health-Part 2: The measurement of heat exposure (stress and strain) in the occupational environment. *Industrial*



health. 2008;16:34-41.

14. Matsuzuki H, ITO A, Ayabe M, Haruyama Y, Tomita S, Katamoto S, et al. The Effects of Work Environments on Thermal Strain on Workers in Commercial Kitchens. *Industrial health*. 2011;49:605-13.

15. Miller V, Bates G. Hydration of outdoor workers in north-west Australia. *J Occup Health Safety*. 2007;23(1):79-87.

16. ISO-7243. Hot Environments—Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature). Geneva: International Standards Organization; 2003.

17. ISO-8996. Ergonomics of the thermal environment - Determination of metabolic heat production. Belgium: International Standard Organization; 2004.

18. ISO 9920:2007(E). Ergonomics of the thermal environment. Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble. 2 ed. Switzerland: International Standards Organization; 2007.

19. ACGIH TLV. Threshold limit values for chemical substances and physical agents biological exposure indices. USA: American Conference of Governmental Industrial Hygienists; 2010.

20. Azimi E, Khavanin A, Aghajani M, Soleymanian A. [calculated of Heat Stress on the basis WBGT index in the melting industry]. *J Mil Med*. 2012;13(2):59-64.[persian]

21. Dehghan H, Mortazavi SB, Jafari MJ, Maracy MR, Jahangiri M. The evaluation of heat stress through monitoring environmental factors and physiological responses in melting and casting industries workers. *International Journal of Environmental Health Engineering*. 2012;1(1):21-9.

22. Binti Hussin N. Occupational safety and health improvement at casting plant [MSc thesis]. Malaysia: Universiti Teknologi; 2010.

23. Malik HJ, Cheema KJ. Preliminary survey to assess the health status of iron and steel industry workers. *Pakistan Journal of Science*. 2010;62(1):15-21.

24. Shrivastava AK, editor Health hazards of foundries and forges. 57th foundry congress; Kolkata-India, 2009.

25. Singh LP, Bhardwaj A, Deepak KK, Singh S. Occupational heat exposure in extreme weather conditions in small and medium enterprises (SME) in India. *International journal of human geography and*

environmental studies. 2009;1(1):32-8.

26. Zakaria AM, Noweir KH, El-Maghrabi G. Evaluation of Occupational Hazards in Foundries. *J Egypt Public Health Assoc*. 2005;70(3):433-62.

27. Falahati M, Alimohammadi I, Farshad AA, Zokaei M, Sardar A. [Evaluating the reliability of WBGT and P4SR by comparison to core body temperature]. *Iran occup health*. 2012;9(1):22-31.[persian]

28. Kawanami S, Horie S, Inoue J, Yamashita M. Urine temperature as an index for the core temperature of industrial workers in hot or cold environments. *Int J Biometeorol*. 2011;3:1-7.

29. Gallagher M, Robertson RJ, Goss FL, Nagle-Stilley EF, Schafer MA, Suyama J, et al. Development of a perceptual hyperthermia index to evaluate heat strain during treadmill exercise. *Eur J Appl Physiol*. 2011;112(6):2025-34.

30. Lee JY, Nakao K, Takahashi N, Son SY, Bakri I, Tochiara Y. Validity of Infrared Tympanic Temperature for the Evaluation of Heat Strain While Wearing Impermeable Protective Clothing in Hot Environments. *Industrial Health*. 2012;49(6):714-25.

31. Mazerolle SM, Ganio MS, Casa DJ, Vingren J, Klau J. Is oral temperature an accurate measurement of deep body temperature? A systematic review. *J Athl Train*. 2012;46(5):566-74.

32. Amoateng AY, Del Mundo J, Manthous CA. Accuracy of an Infrared Tympanic Thermometer. *Chest Journal*. 1999;115(4):1002-5.

33. Casa DJ, Becker SM, Ganio MS, Brown CM, Yeargin SW, Roti MW, et al. Validity of devices that assess body temperature during outdoor exercise in the heat. *J Athl Train*. 2007;42(3):333-9.

34. Chung W, Chen C. Evaluation of performance and uncertainty of infrared tympanic thermometers. *IEEE Sens J*. 2010;10(4):3073-89.

35. Huggins R, Glaviano N, Negishi N, Casa DJ, Hertel J. Comparison of Rectal and Aural Core Body Temperature Thermometry in Hyperthermic, Exercising Individuals: A Meta-Analysis. *J Athl Train*. 2011;47(3):329-38.

36. VanStaaik BK, Rovers MM, Schilder AG, Hoes AW. Accuracy and feasibility of daily infrared tympanic membrane temperature measurements in the identification of fever in children. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2003;67(10):1091-99.



Research Article

Investigating the Association between Heat Stress and its Psychological Response to Determine the Optimal Index of Heat Strain

Amir Negahban¹, Mohsen Aliabadi², Yusuf Babayi Mesdaraghi¹, Maryam Farhadian³, Mehdi Jalali^{4*}, Behzad Kalantari⁵, Mehdi MolaKazemiha⁵

Received: 20 December 2013

Accepted: 21 January 2014

Abstract

Background & Objectives: Exposure to high temperatures is common among workers in warm environments leading to some undesirable effects. The aim of this study was to examine physiological responses to heat stress to determine the optimal index for direct measurement of physiological strain in workers of hot environments.

Methods: In this study, 40 workers of melting and casting process were evaluated. Thermal stress was evaluated based on the WBGT index and physiological strain by measuring oral and tympanic temperature, urine temperature, heart rate, and recovery heart rate. Data was analyzed using SPSS v.16 software.

Results: Heat stress exceeded the national and international recommended limits based on the WBGT index in 80% of cases of workstations. The correlations between heat strains including tympanic temperature, oral temperature, urine temperature, heart rate and heart rate recovery to heat stress index were significant, while tympanic temperature had a stronger association according to simple linear regression ($P < 0.01$, $R^2 = 0.78$).

Conclusion: Tympanic temperature had a stronger correlation with the WBGT index among the investigated indices. Accordingly, tympanic temperature could be a useful indicator compared to other parameters for measuring physiological strain in warm workplaces due to the ease of measurement, noninvasive nature, acceptance by workers, and fast and non-interference in the measurement process.

Keywords: Heat stress, Heat strain, Hot workplaces, Tympanic temperature

Please cite this article as: Negahban A, Aliabadi M, Babayi Mesdaraghi Y, Farhadian M, Jalali M, Kalantari B, MolaKazemiha M. Investigating the Association between Heat Stress and its Psychological Response to Determine the Optimal Index of Heat Strain. *Journal of Occupational Hygiene Engineering*. 2014; 1(1):8-15.

1. Msc Student of Occupational Health, Student Research Committee, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.
2. Department of occupational health, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.
3. PhD Student of Biostatistics, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran
- 4 *. (Corresponding author) Msc Student of Occupational Health, Student Research Committee, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran. Email: m.jalali@umsha.ac.ir
5. Shemiranat Health Center, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.