

Design and Production of Ice-containing Cooling Clothing (Ice Vest) and Evaluation of its Performance on Retention Time of Workers in a Hot Workplace

Mahboobeh Es'haghi¹, Parvin Sepehr^{2*}, Majid Motamedzadeh³

¹ Assistant Professor, Department of Occupational Health, Faculty of Health, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran

² Instructor, Department of Occupational Health, Faculty of Health, North Khorasan University of Medical Sciences, Bojnurd, Iran

³ Professor, Department of Occupational Health, Faculty of Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

Received: 24 April 2017 Accepted: 2 November 2017

Abstract

Background and Aim: Heat stress is a work-related risk factor that could have a significant impact on occupational health. Therefore, the use of different approaches is important to control heat stress, including technical and management solutions. The aim of this study was to design and evaluate the performance of a cooling ice vest on the retention time of workers in hot environments.

Methods: The ice vest has been designed and sewn in three types of simple, thin and thick aluminum using 32 packets of water. To evaluate the temporal performance of ice vest, a number of physiological parameters, including oral temperature, mean skin temperature, heart rate and retention time have been studied. This study was conducted in two groups of intervention and control. The control group included adapted, non-adapted and no-vest subjects. The intervention group consisted of adapted subjects who used simple, thin and thick aluminum vests.

Results: The average retention time of non-adapted, adapted, thin and thick aluminum and simple vests was 20, 35, 90, 70 and 60 minutes, respectively. There was statistically significant differences among physiological factor results such as oral temperature, mean skin temperature and retention time (probability<0.05), but the heart rate of control group had no significant difference with the case group.

Conclusion: The results showed that the use of cooling vest effectively increased the retention time, and the thin aluminum vest was more efficient than the thick aluminum and simple vests.

Keywords: Cooling Clothing, Ice Vest, Retention Time

*Corresponding author: Parvin Sepehr, Email: parvin_sepehr@yahoo.com

طراحی و ساخت لباس خنک کننده محتوی یخ (جلیقه یخ) و ارزیابی عملکرد آن بر روی زمان ماند کارگران در محیط گرم

محبوبه اسحاقی^۱، پروین سپهر^{۲*}، مجید معتمد زاده^۳

^۱ استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران
^۲ مربی، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، بجنورد، ایران
^۳ استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

چکیده

زمینه و هدف: استرس گرمایی یکی از عوامل زیان آور محیط کار بوده که می تواند بر روی سلامت شغلی افراد تاثیر بسزایی داشته باشد. بنابراین استفاده از راهکارهای مختلف از جمله روش های فنی و مدیریتی جهت کنترل استرس گرمایی حایز اهمیت می باشد. هدف این مطالعه، طراحی و ارزیابی عملکرد خنک کنندگی جلیقه یخ بر روی زمان ماند کارگران در محیط کاری گرم می باشد.

روش ها: جلیقه یخ در سه نوع جلیقه آلومینیومی نازک، ضخیم و نوع ساده همراه با ۳۲ پکت آب طراحی و دوخته شده است. جهت ارزیابی عملکرد زمانی جلیقه یخ، فاکتورهای فیزیولوژیکی از جمله دمای دهانی، میانگین دمای پوست، ضربان قلب و در نهایت زمان ماند در افراد مورد مطالعه بررسی شد. این مطالعه در دو گروه کنترل و مداخله انجام گردید. گروه کنترل شامل افراد تطابق یافته و بدون استفاده از جلیقه یخ و افراد بدون تطابق می باشند. گروه مداخله شامل افراد تطابق یافته بوده و از جلیقه یخ شامل جلیقه ساده، آلومینیومی نازک و ضخیم استفاده نمودند.

یافته ها: میانگین زمان ماند افراد بدون تطابق، افراد تطابق یافته، آلومینیومی نازک، آلومینیومی ضخیم و جلیقه ساده به ترتیب ۲۰، ۳۵، ۹۰، ۷۰ و ۶۰ دقیقه به دست آمد. از لحاظ آماری، اختلاف معنی داری بین یافته های فاکتورهای فیزیولوژیکی از جمله دمای دهانی، متوسط دمای پوست و زمان ماند وجود داشته (مقدار احتمال = کمتر از ۰/۰۵) و بین ضربان قلب گروه کنترل با گروه مداخله تفاوت معناداری وجود نداشته است.

نتیجه گیری: نتایج نشان داد استفاده از جلیقه خنک کننده در افزایش زمان ماند موثر عمل نموده است و جلیقه آلومینیومی نازک در مقایسه با جلیقه نوع آلومینیومی ضخیم و جلیقه ساده از کارایی بیشتری برخوردار بوده است.

کلیدواژه ها: لباس خنک کننده، جلیقه یخ، زمان ماند.

* نویسنده مسئول: پروین سپهر. پست الکترونیک: parvin_sepehr@yahoo.com

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۲/۰۴ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۸/۱۱

مقدمه

دمای داخلی بدن انسان در حالت بهینه در رنج نرمال $C \ 36 \square$ تا $C \ 38 \square$ می‌باشد که برای واکنش‌های شیمیایی بدن و ادامه‌ی حیات ضروری می‌باشد وقتی که دمای مرکزی بدن به $C \ 38/5^\circ$ می‌رسد استرس گرمایی اتفاق می‌افتد. پاسخ فیزیولوژیکی بدن به استرس گرمایی شامل عرق کردن، افزایش ضربان قلب، افزایش دمای مرکزی بدن و تنش گرمایی می‌باشد که این عکس‌العمل استرین حرارتی نامیده می‌شود. استرین حرارتی همراه با عوامل دیگر از جمله خستگی، کم‌آبی می‌تواند به اختلالات و بیماری‌های ناشی از گرما و حتی در مواردی منجر به مرگ گردد. رنج وسیعی از مشاغل از جمله کارگران صنایع و ساختمانی، ریخته‌گری، کوره‌ها و آتش نشانان به طور بالقوه در مواجهه با استرس گرمایی می‌باشند. دمای هوا، سرعت و رطوبت همراه با تبادل گرمای تابشی از فاکتورهای محیطی می‌باشند که در بروز استرس گرمایی سهیم می‌باشند. همچنین لباس می‌تواند به طور قابل توجه‌ای استرس گرمایی را تغییر دهد. با توجه به این که اختلالات و بیماری‌های ناشی از فشارهای حرارتی یکی از مسایل عمده‌ی بهداشتی در بسیاری از محیط‌های کار می‌باشد بنابراین طیف مشکلات، وسیع بوده و توجه خاصی را در این زمینه می‌طلبد. به همین دلیل پایش و ارزشیابی میزان فشار گرمایی احتمالی وارد بر شاغلین و آگاهی از اختلالات ناشی از آن و نیز اقدامات پیش‌گیری و کنترلی در این خصوص از ضروریات می‌باشد (۲۰۱).

در خصوص کنترل گرمای محیط کار می‌توان از روش‌های مختلف فنی، اجرایی- مدیریتی و وسایل حفاظت فردی استفاده نمود. فن‌آوری پایه جهت کنترل استرس گرمایی شامل کنترل‌های فنی و اجرایی مانند محدود نمودن زمان ماند کارگر، پایش بیولوژیکی می‌باشد (۲). علی‌رغم اصول بهداشت حرفه‌ای، به علت مشکلات اقتصادی و فنی و یا به دلیل شرایط حاکم بر فرایند، کنترل و محدود نمودن استرس گرمایی با استفاده از روش‌های فنی و مدیریتی همیشه امکان‌پذیر نمی‌باشد. در بعضی از فرایندها به علت گرم بودن ماهیت پروسه جهت تولید، کم‌تر می‌توان منابع انرژی گرمایی را محدود یا کم نمود به همین دلیل وسایل حفاظت فردی مناسب، به عنوان یک فن‌آوری عالی جهت مدیریت استرس گرمایی در محیط‌های گرم توصیه شده‌اند (۳).

امروزه سامانه‌های خنک‌کننده جهت کاهش دمای پوست افراد مورد مواجهه در محیط‌های گرم با کاربردهای متنوع از قبیل ارتش، کاربردهای پزشکی، افزایش عملکرد ورزشکاران توسعه یافته است (۴). عملکرد خنک‌کننده‌ها بر اساس چرخش هوا یا مایعات سرد می‌باشد. به طور کلی سه نوع سامانه‌ی خنک‌کننده شامل سامانه خنک‌کننده مایع، هوا و غیرفعال یا پسیو (جلیقه یخ و لباس اسپری آب) وجود دارد (۵، ۶). هر نوع سامانه خنک‌کننده دارای مزایا و معایب خاص خود می‌باشد. در سامانه خنک‌کننده مایع، پتانسیل ریسک مواد آلوده به علت سامانه مدار بسته به حداقل

رسیده و اغلب قابل حمل می‌باشند. از طرفی دیگر، نسبت به سایر سامانه‌های خنک‌کننده دارای وزن بیشتری می‌باشد. سامانه خنک‌کننده هوا، کاربر را خشک نگه داشته و بسته به طراحی ممکن است عرق صورت و چشم را نیز کاهش دهد. متأسفانه بیش‌تر این سامانه‌های خنک‌کننده، فاقد تجهیزات قابل حمل برای هوای خنک بوده و ضروری است افراد با یک واحد ثابت به صورت ساکن در ارتباط باشند (۶، ۷). در مطالعه حاضر، تاکید بر سامانه خنک‌کننده غیرفعال از نوع جلیقه یخ می‌باشد. جلیقه یخ معمول‌ترین نوع خنک‌کننده است که بر اساس اصل هدایت و با جای‌گذاری پکت‌های آب و در تماس مستقیم با بدن عمل می‌نماید (آب یخ زده) و به نیروی قدرتی نیز نیازی نداشته و با افزایش مساحت سطوح بین پوست و خنک‌کننده (پکت یخ) نسبت انتقال گرما و خنک‌کنندگی آن افزایش می‌یابد (۸). اولین لباس خنک‌کننده غیرفعال در آفریقای جنوبی به صورت جلیقه یکسره و در قسمت بالا تنه طراحی شد و آب به طور یکنواخت در داخل جلیقه توزیع شده و نیاز به هیچ وسیله مکانیکی جهت توزیع عامل خنک‌کننده نبوده است (۷). به طور کلی جلیقه‌ی یخ، یک سامانه کنترل دمای مرکزی بدن با استفاده از یخ به عنوان خنک‌کننده می‌باشد. صرفه‌جویی در هزینه (مناسب برای زمان‌های کوتاه در محیط‌های گرم)، کاهش مخاطرات ایمنی و سلامتی و افزایش زمان ماند کارگر در محیط کار باعث می‌شود سامانه خنک‌کننده به عنوان فن‌آوری اولیه جهت مدیریت استرس گرمایی مورد استفاده قرار بگیرد (۹).

هدف مطالعه‌ی حاضر، طراحی و دوخت سامانه خنک‌کننده به صورت جلیقه یخ و ارزیابی عملکرد خنک‌کنندگی جلیقه خنک‌کننده غیرفعال محتوی یخ در زمان ماند افراد مورد بررسی در محیط گرم می‌باشد. جهت انجام مطالعه، کارخانه شیمی معدنی واقع در شهرک صنعتی ویان انتخاب شده است. محیط و افراد تحت مطالعه از واحد کوره شرکت انتخاب شده‌اند. کل ارتفاع کوره ۴۹ متر و اتاقک کوره در ارتفاع ۱۳ متری از سطح زمین قرار دارد و حداقل دو کارگر در هر شیفت کاری مسئول جداسازی مواد چسبیده به جداره داخلی دیواره کوره با استفاده از دیلم می‌باشند.

روش‌ها

مطالعه حاضر از نوع توصیفی و تجربی بوده که در سال ۱۳۹۴ در یکی از صنایع فلزی و نورد گرم انجام شده است. اندازه‌گیری شاخص‌ها و انجام مطالعه در مردادماه به مدت دو هفته صورت گرفته است. در این مطالعه، سامانه خنک‌کننده به صورت جلیقه یخ (همانند جلیقه معمولی) طراحی و دوخته شده است. جهت مناسب بودن برای افراد با سایزهای مختلف از لایه‌های مخفی استفاده شده است (قابلیت کاهش و افزایش سایز وجود دارد). جلیقه یخ شامل ۳ لایه می‌باشد که عبارت است از: لایه خارجی، لایه حاوی خنک‌کننده (حاوی پکت‌های یخ)، لایه داخلی.

با ابعاد 8×15 cm می باشد و در حدود ۳ لیتر آب در بین این پکت ها توزیع گردید (جای گذاری شده به صورت ۱۶ پکت در قسمت جلویی و ۱۶ عدد در قسمت پشت جلیقه) (شکل-۲).

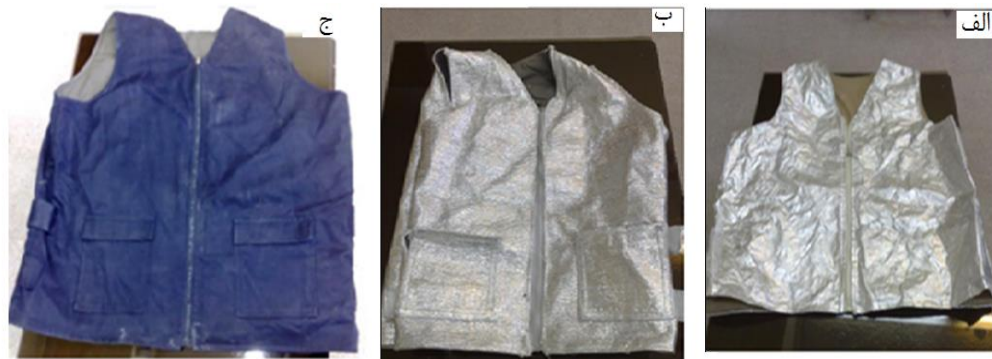
پکت یخ از جنس پلی اتیلن بوده و به صورت تیوب های مسطح بوده و تحت گرما و یا طی یخ زدن در فریزر، آسیب پذیر نبوده و مقاومت کافی در برابر شرایط ذکر شده را دارا می باشد. وزن تقریبی کلی جلیقه آلومینیومی نازک و جلیقه ساده به صورت خالی 0.5 kg و به صورت جای گذاری پکت های یخ 4 kg و وزن جلیقه آلومینیومی ضخیم به صورت پر شده با پکت های یخ 5 kg می باشد.

خصوصیات مطلوب لایه داخلی پارچه شامل هدایت گرمایی مناسب، کنترل رطوبت (عدم مقاومت در برابر تبخیر) و خصوصیات لمسی (زبری، ضخامت) می باشد که برای کاربر راحتی بیشتری فراهم نموده و دمای کارگران را در یک سطح ایمن نگه می دارد. انتخاب صحیح ضخامت و بافت پارچه جلیقه یخ در تبادل گرمایی مناسب به صورت هدایت و حذف از طریق تبخیر عرق مؤثر می باشد (۱۰).

با توجه به دلایل ذکر شده در مطالعه حاضر از یک لایه کتان با خصوصیات لمسی مناسب استفاده شده است. ساختار پارچه از نوع منسجم و 100% کتان و با ضخامت 0.6 mm می باشد که از این لحاظ جهت تماس با پوست مناسب می باشد.

انتخاب نوع پارچه یک جنبه بسیار مهم در بهبود عملکرد جلیقه یخ می باشد. بافت پارچه و ضخامت لباس حفاظتی یک مانع جهت تبادل گرمایی مناسب توسط همرفت و انتشار توسط تبخیر را ایجاد می نماید (۸). یکی از اهداف تحقیق، استفاده از پارچه های با هدایت گرمایی مناسب و کنترل رطوبت همراه با ضخامت مناسب می باشد. همچنین استفاده از آستر آلومینیومی و تعیین تاثیر آن بر جذب گرمای تابشی و اثر بر روی کارایی خنک کنندگی، یکی از اهداف مطالعه حاضر بوده است. بنابراین جهت تعیین کارایی جلیقه و تاثیر آستر انعکاسی آلومینیوم از سه نوع پارچه مختلف در رویه جلیقه استفاده شده است (لایه داخلی به صورت ثابت لحاظ شده است). سه لایه خارجی شامل: لایه آلومینیومی نازک (شکل ۱-الف)، لایه آلومینیومی ضخیم (شکل ۱-ب) و لایه پارچه ای کتان از جنس لباس کار به رنگ سرمه ای (شکل ۱-ج) و در پایان عملکرد سه لایه مورد بررسی قرار گرفته است.

در قسمت لایه تماسی با بدن، لایه حاوی خنک کننده محتوی پکت آب (آب یخ زده) با استفاده از پارچه کتان به صورت جیب طراحی شده و پکت های پلی اتیلن (شکل ۲) در هنگام آزمایش خنک کنندگی در داخل جلیقه جای گذاری شدند (پکت محتوی آب توسط فریزر موجود در شرکت یخ زده شد). لایه حاوی خنک کننده جلیقه، شامل ۳۲ پکت مخصوص با گنجایش ۱۰۰ میلی لیتر آب و



شکل-۱. سه نوع جلیقه ی طراحی شده (الف)، آلومینیومی نازک (الف)، آلومینیومی ضخیم (ب)، پارچه ای کتان (پ)



شکل-۲. پکت پلی اتیلنی محتوی آب و لایه ی داخلی جلیقه (مخصوص جای گذاری پکت های یخ)

میانگین TSK (متوسط دمای پوست) با استفاده از استاندارد ISO 9886 محاسبه گردید (۱).

$$T_{SK} = \sum K_i * t_s$$

$$T_{SK} = 0.28 T_{\text{forehead}} + 0.28 T_{\text{chest}} + 0.16 T_{\text{hand}} + 0.28 T_{\text{calf}}$$

چهار نقطه پوست مشخص شده توسط ISO 9886 (پشت سر، قفسه سینه راست، مچ دست چپ، ساق پا قسمت جلو) اندازه‌گیری شدند. جهت اندازه‌گیری دمای پوست از دماسنج Multi VC10C+ meter با قابلیت اندازه‌گیری دمای سطحی پوست استفاده شده است.

ضربان قلب: اندازه‌گیری ضربان قلب به دلیل فقدان امکانات، به صورت مستقیم و با مشورت پزشک و با گرفتن سنجش در هر مرحله با یک توقف کوتاه مدت ۳۰-۱۵ ثانیه انجام گردیده که البته برای صحت هر چه بیش‌تر در هر مرحله و طی نوبت‌های متوالی به دفعات تکرار گردیده تا خطای اندازه‌گیری از نظر آماری به حداقل برسد.

تبادل گرمایی: قدرت خنک‌کنندگی جلیقه یخ توسط فرمول تبادل گرمایی پایه در حالت اول بدون جلیقه (Ereq) و در حالت دوم با جلیقه (Ereq) محاسبه گردید. سپس با تعیین نسبت این دو، زمان ماند افراد (مدت زمان حضور افراد در محیط کار بدون استرس گرمایی) مشخص خواهد شد. با افزایش نسبت این دو، زمان ماند نیز افزایش یافته و در نهایت می‌توان در مورد کارایی جلیقه یخ و کاهش استرس گرمایی کارگران قضاوت نمود. نسبت متابولیسم کارگران با توجه به فعالیت‌شان در حدود ۲۰۰ Kcal/hr (۱۲۵W/m²) برای افراد متوسط و با مساحت سطح ۱/۸ m² تخمین زده شده است. گرمای تابشی R و گرمای هدایتی C با توجه به فرمول ذیل محاسبه گردید:

$$E_{req} = M \pm (R + C)$$

$$(R + C) = h_0 v^{0.6} (T_a - T_{sk})$$

h ضریب تبادل گرمایی، v سرعت جریان هوا (m/s)، R گرمای تابشی، C گرمای همرفت، M متابولیسم، T_a دمای هوا (°C)، T_{sk} دمای متوسط پوست (°C) (۸).

در نهایت، کارایی جلیقه با بررسی تفاوت در زمان تحمل افراد و پاسخ‌های فیزیولوژیکی شامل دمای دهانی، دمای پوست، ضربان قلب به استرس گرمایی در زمان استفاده از جلیقه یخ و مقایسه آن با عدم استفاده از جلیقه یخ مورد بررسی قرار گرفته است.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها: یافته‌های حاصل از این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار SPSS16 و Excell مورد واکاوی قرار گرفته‌اند. در این مطالعه از آزمون‌های آماری تی‌تست، تی‌تست زوجی و میانگین استفاده گردید.

ملاحظات اخلاقی: جهت جلوگیری از ناراحتی و آسیب پوست در طی آزمایش، جلیقه یخ بر روی یک تی‌شرت کتان پوشیده شده است. طراحی جلیقه به صورت زیپ‌دار می‌باشد که اجازه‌ی پوشیدن راحت لباس و تعویض سریع بسته‌های یخ را امکان‌پذیر می‌سازد.

مواد و تجهیزات: وسایل حفاظتی انتخاب شده در این مطالعه در رنج وسیعی از صنایع آرایه و پوشیده می‌شود. لباس‌های پوشیده شده در آزمایش شامل لباس زیر کار (تی‌شرت، شورت‌های ورزشی، جوراب‌های ورزشی)، لباس کار (پیراهن آستین‌دار بلند، شلوار کار و کفش ایمنی) و سامانه خنک‌کننده می‌باشد.

نحوه انتخاب نمونه: افراد مورد مطالعه جهت آزمایش کارایی جلیقه یخ به تعداد ۴ فرد مذکر و سالم و در حدود رنج سنی ۲۰ تا ۳۰ سال انتخاب شده و مورد بررسی قرار گرفته‌اند. میانگین سن، قد، وزن و مساحت سطح بدن به ترتیب ۲۸ سال، ۱۷۰cm، ۶۵kg و ۱/۸/۲m² می‌باشد. افراد از بین کارگرانی که کار روتین‌شان را تحت شرایط حاکم بر محیط کار انجام می‌دادند، انتخاب شده‌اند. این افراد به عنوان گروه کنترل و مداخله و در دو حالت در مطالعه شرکت داشتند. در حالت اول بدون استفاده از جلیقه‌ی یخ و تنها به عنوان افراد کنترلی و تطابق‌یافته شرکت نمودند زیرا این افراد در اتاقک کوره مشغول به فعالیت می‌باشند و تطابق لازم با شرایط محیطی را به دست آورده بودند. در حالت دوم نیز از همین افراد تطابق یافته جهت مطالعه عملکرد جلیقه یخ (هر سه جلیقه شامل جلیقه یخ ساده، آلومینیومی نازک و ضخیم) و زمان ماند به عنوان گروه مداخله استفاده گردید. هم‌چنین از افراد بدون تطابق (دو تن) به عنوان گروه کنترل نیز استفاده گردید. این افراد از سایت تولید شرکت انتخاب گردیدند. تا زمان ماند افراد بدون هرگونه تطابق با شرایط محیطی کوره نیز مشخص گردد. این مطالعه ۲۰ بار توسط افراد تکرار گردیده است.

شرایط محیطی: آزمایش‌ها در اتاقک کوره با میانگین دمای تابشی ۴۳°C، دمای هوای داخل اتاقک ۴۰°C، دمای هوای محیط ۳۲°C، جریان هوا ۲/۴-۰/۵ m/s و رطوبت نسبی ۲۸٪ انجام شده است.

تست‌های فیزیولوژیکی: اندازه‌گیری تست‌های محیطی به طور همزمان با اندازه‌گیری تست‌های فردی و فاکتورهای فیزیولوژیکی انجام شده است.

دمای دهانی: با توجه به امکانات و شرایط کار از دماسنج جیوه ای استفاده شده است. به طوری که دما در هر مرحله از راه دهان و با توجه به شرایط اعلام شده از سوی استاندارد ISO اندازه‌گیری شده است (۱). در شرایطی که امکان کار با وجود دماسنج زیرزبانی برای کارگر نبوده است با وقفه‌ی کوتاهی که بلافاصله ایجاد می‌گردید این کار انجام گردیده است. باید ذکر گردد به علت پرهیز از خطای کار و به حداقل رساندن آن این کار طی دفعات متوالی در مراحل مشابه کار از نظر زمانی وقوع کار تکرار گردیده است و متوسط نتایج مد نظر بوده است.

دمای پوست: برای اندازه‌گیری دمای پوست با توجه به شرایط کاری و وضعیت کارگر از روش ۴ نقطه استفاده گردیده است و پس از متوسط‌گیری با استفاده از روابط پیشنهادی مقدار TSK متوسط محاسبه گردیده است.

اندازه‌گیری دمای دهانی افراد وجود ندارد (نمودار-۲).

- زمان ماند افراد گروه کنترل و مداخله

قدرت خنک‌کنندگی جلیقه یخ در حالت اول بدون جلیقه (Ereq) و در حالت دوم با جلیقه (Ereq) توسط فرمول تبادل گرمایی محاسبه شد (مبحث تبادل گرمایی در روش کار).

۱- حالت اول بدون جلیقه: در این بخش از مطالعه، تبادل گرمایی گروه کنترل که از جلیقه‌ی یخ استفاده نمودند محاسبه گردید.

$$(R+C) = 10 \cdot 0.5^{0.6} * (40-36) = 26.3$$

$$M+(R+C) = 125 + 27.3 = 152.4$$

۲- حالت دوم با جلیقه: در این مرحله، تبادل گرمایی گروه مداخله که از جلیقه یخ استفاده نمودند محاسبه گردید. با توجه به اینکه جلیقه‌ی خنک‌کننده ۴۰٪ سطح بدن را تحت پوشش قرار می‌دهد و ۶۰٪ باقی‌مانده بدون پوشش اثر خنک‌کنندگی می‌باشند:

$$87 (R+C)_{\text{under}} = 10 * 0.5^{0.6} * (0-33) * 0.4 = -$$

$$(R+C)_{\text{out}} = 10 * 0.5^{0.6} * (40-36) * 0.6 = 15.8$$

$$125 + 15.8 - 87 = 53.8$$

$$Ereq / Ereq' = 152.4 / 53.8 = 2.8$$

طبق محاسبات، نسبت Ereq به Ereq برابر ۲/۸ به دست آمده که نشان‌دهنده زمان ماند افراد تطابق یافته می‌باشد. جهت مقایسه دماها و زمان ماند از آزمون آماری آنالیز واریانس یک‌طرفه استفاده شده و نتایج آزمون آماری به ترتیب ۰/۰۰۰ و ۰/۰۰۱ به دست آمده است. زمان ماند افراد مورد مطالعه و کنترل در محیط کار به صورت دقیقه در نمودار-۳ ارایه شده است.

همه افراد شرکت کننده در مطالعه، با رضایت آگاهانه و داوطلبانه در مطالعه شرکت داشتند.

نتایج

ضربان قلب

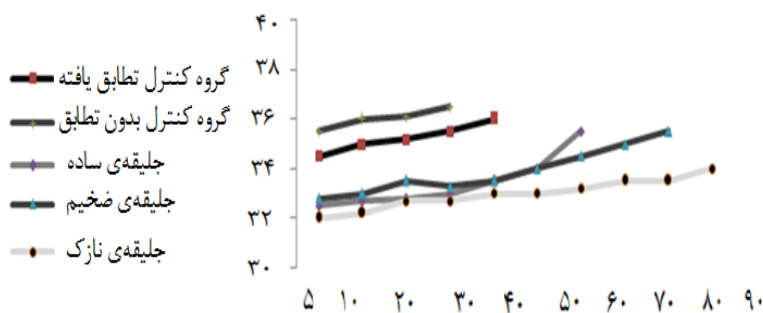
ضربان قلب همه افراد گروه کنترل (دو فرد بدون تطابق و یک فرد تطابق یافته و بدون استفاده از جلیقه در هر بار مطالعه) و مداخله (سه فرد در هر بار مطالعه) در طی استفاده از سه جلیقه یخ، کم‌تر از ۹۰ ضربه در هر دقیقه به دست آمده است. یافته‌ها از لحاظ آماری نشان داد اختلاف معنی‌داری بین ضربان قلب افراد وجود نداشته است (P value < ۰/۰۵).

دمای پوست

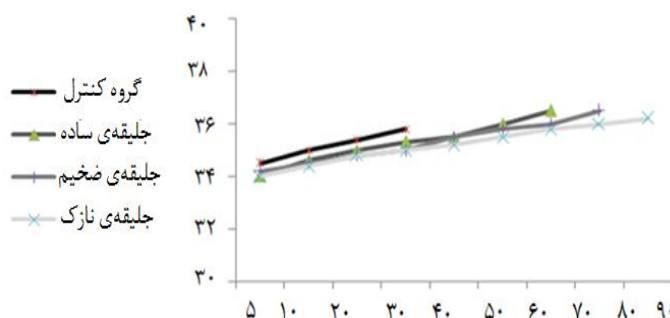
میانگین دمای پوست افراد با توجه به دماهای به دست آمده ۴ نقطه بدن و بعد از محاسبه طبق فرمول ذکر شده در روش کار در نمودار-۱ ارایه شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد دمای پوست در دقایق اول مطالعه در بین سه نوع جلیقه، تفاوت محسوسی وجود نداشته اما با گذشت زمان، دمای پوست در جلیقه آلومینیومی نازک، مقادیر کم‌تری را به خود اختصاص داده است. البته متوسط دمای پوست در افراد گروه کنترل به صورت بدون تطابق و تطابق یافته بیش‌تر می‌باشد که در بین افراد بدون تطابق بیش‌ترین دما را نشان دادند.

دمای دهانی

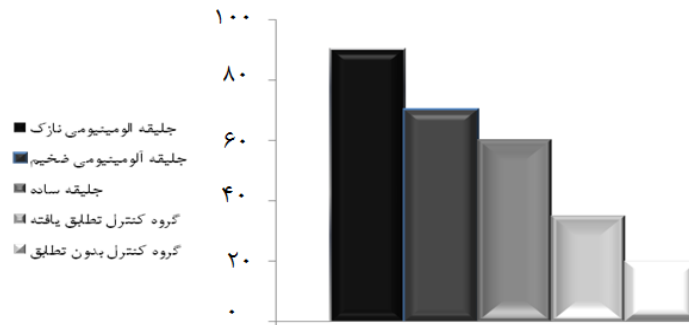
نتایج اندازه‌گیری دمای دهانی در بین افراد گروه کنترل و مداخله (هر سه جلیقه) نشان داد تفاوت محسوسی بین نتایج



نمودار-۱. میانگین دمای پوست بدن در ۵ گروه مختلف مورد آزمایش



نمودار-۲. دمای دهانی در ۴ گروه مختلف مورد آزمایش



نمودار ۳- زمان ماند افراد با توجه به نوع جلیقه خنک کننده

بحث

هدف مطالعه حاضر، ارزیابی عملکرد خنک‌کنندگی جلیقه خنک‌کننده غیرفعال محتوی یخ در بین کارگران اتاقک کوره بوده است. قسمت داخلی جلیقه و برای محل جای‌گذاری پکت‌های یخ از پارچه‌ی کتان استفاده گردید و رویه‌ی خارجی جلیقه از سه نوع پارچه متفاوت از نظر ساختار و ضخامت شامل آلومینیومی نازک، آلومینیومی ضخیم و پارچه‌ی کتان ساده مورد استفاده قرار گرفته است.

فاکتورهای تعیین‌کننده تاثیر جلیقه شامل افزایش زمان ماند کارگر در محیط کاری گرم و کاهش شاخص‌های فیزیولوژی شامل دمای دهانی، دمای پوست و ضربان قلب می‌باشد. نتایج اندازه‌گیری ضربان قلب در افراد مورد مطالعه نشان داد در هر سه نوع جلیقه خنک‌کننده در ضربان قلب افراد تفاوت محسوسی وجود نداشته که می‌تواند ناشی از عدم دقت روش اندازه‌گیری در حین مطالعه باشد. همچنین نتایج نشان داد جلیقه ساده نسبت به جلیقه آلومینیومی ضخیم در طی زمان‌های اولیه در کاهش دمای بدن موثرتر عمل نموده و راحتی بیشتری را در طی زمان استفاده به همراه دارد. البته به علت ذوب شدن سریع‌تر پکت‌های یخ آن در مدت زمان بیشتر از کارایی آن کاسته شده و جلیقه آلومینیومی ضخیم راندمان بهتری را ارائه می‌دهد که تاثیر لایه آلومینیومی در کاهش گرمای تابشی را نشان می‌دهد. جلیقه آلومینیومی نازک نسبت به نوع ضخیم و ساده در کاهش دمای بدن موثرتر عمل می‌نماید. نتایج نشان داد استفاده از آستر آلومینیومی نسبت به عدم استفاده از آن دارای کارایی بیشتری در جهت کاهش دمای بدن می‌باشد. نتایج به دست آمده دمای دهانی، همانند دمای بدن تحت تاثیر رویه جلیقه خنک‌کننده قرار گرفته و جلیقه آلومینیومی نازک نسبت به بقیه موثرتر عمل نموده است و از زمان ماند بیشتری برخوردار بوده است. با توجه به اظهارات کارگران، جلیقه آلومینیومی نازک از لحاظ راحتی، رضایت بیشتری را نسبت به نوع جلیقه آلومینیومی ضخیم و جلیقه ساده به دست آورده و جلیقه آلومینیومی ضخیم کم‌ترین رضایت را داشته است.

طبق مطالعه Murray و همکاران در سال ۱۹۹۹ استفاده از جلیقه یخ می‌تواند جهت کاهش ضربان قلب، دمای پوست و میزان عرق موثر باشد و استرس گرمایی را کاهش داده و عملکرد کارگران

را افزایش دهد. نتایج تحقیقات در سال ۲۰۰۴ نیز تاییدکننده این موضوع می‌باشد (۱۱). نتایج به دست آمده از این مطالعه نیز با نتایج به دست آمده مطالعات Murray و Webster همخوانی داشته است. نتایج بررسی نشان می‌دهد زمان ماند افراد تطابق یافته با جلیقه نازک آلومینیومی از ۳۵ دقیقه (Min) به ۹۰ Min و با نسبت ۲/۵۷ افزایش یافته که بیش‌ترین زمان ماند به دست آمده می‌باشد. طبق تحقیقات Kamon و همکاران، کارگران بدون استفاده از لباس یخ در نهایت می‌توانند به مدت ۶۰Min محیط گرم را تحمل نمایند اما با استفاده از لباس کار کامل خنک‌کننده، زمان ماند به ۱۳۵Min افزایش یافت و با جلیقه خنک‌کننده محتوی ۵ لیتر آب زمان ماند از ۴۸±۶ دقیقه به ۱۰۳±۲۲ افزایش یافته است. بطوری که در کار کارگران مداخله ایجاد نموده و باعث افزایش قابل ملاحظه تولید و کاهش استرس گرمایی می‌شود (۸). همچنین می‌توان با توجه به نتایج به دست آمده از زمان ماند مطالعات Kamon و همکاران به این نتیجه رسید که استفاده از آستر آلومینیومی می‌تواند در افزایش زمان ماند تاثیر گذار باشد. باید توجه داشت در مطالعه Kamon و همکاران از ۵ لیتر آب استفاده شده است اما در مطالعه حاضر از ۳ لیتر آب استفاده گردیده است. نتایج به دست آمده از قدرت خنک‌کنندگی فرمول تبادل گرمایی و زمان ماند به دست آمده واقعی در محیط کار در طی آزمایش با هم مطابقت داشته و تقریباً نزدیک به همدیگر می‌باشند که نشان‌دهنده تایید زمان ماند افراد می‌باشد. نتایج این مطالعه با نتایج به دست آمده از مطالعه Kamon و همکاران نیز همخوانی داشته است (نسبت Ereq به Ereq برای ۳/۸ و زمان ماند به دست آمده از جلیقه‌ی یخ ۳/۴) (۸). نتایج مطالعه Smolander و همکاران در سال ۲۰۰۴ در فنلاند با استفاده از جلیقه‌ی یخ جهت آتش‌نشانی مورد مواجهه با گرما نشان داد ضربان قلب در هنگام استفاده از جلیقه، ۱۰ ضربه در هر دقیقه و مقدار عرق نیز ۱۳٪ کمتر بوده است و متوسط دمای بدن نیز کاهش یافته است (۱۱). نتایج به دست آمده از کاهش متوسط دمای بدن این تحقیق نیز با این مطالعه همخوانی داشته است.

بررسی استرس گرمایی در مطالعه حاجی‌زاده و همکاران در مشاغل روباز مناطق گرم و کویری نشان داد افراد در ماه‌های گرم سال در معرض استرس حرارتی و پیامدهای ناشی از گرما قرار

از محدودیت‌های مطالعه‌ی حاضر می‌توان به سنگین بودن جلیقه اشاره نمود که توانایی جسمی و فیزیکی افراد نیز در استفاده از جلیقه‌ها باید مدنظر قرار داد. همچنین مقدار زمان ماند کم افراد در محیط اتاقک کوره می‌باشد که یافته‌های زمان ماند تاییدکننده این موضوع می‌باشند. در حالی که ساعت کاری کارگران در اتاقک به میزان هشت ساعت در هر شیفت کاری می‌باشد. بنابراین همزمان با طراحی جلیقه خنک‌کننده، اتاقک خنک‌کننده نیز برای قسمت کوره طراحی و ساخته شده است که در مطالعات آتی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

نتیجه‌گیری

به طور کلی در مطالعه‌ی حاضر جهت کارگران که در معرض گرمای تابشی ناشی از کوره بوده‌اند از جلیقه خنک‌کننده به عنوان راهکار کنترلی گرما و به عنوان وسیله حفاظت فردی استفاده گردیده است. در این مطالعه، سه نوع جلیقه ساده و مشابه لباس کار کارگران، جلیقه آلومینیومی نازک و ضخیم با آستر دارای بازتابش گرمای تابشی مورد استفاده قرار گرفت. یافته‌های حاصل از مطالعه نشان داد زمان ماند افراد با استفاده از جلیقه افزایش داشته است. در این میان، جلیقه‌ی آلومینیومی نازک نسبت به بقیه از زمان ماند بیشتری برخوردار بوده است و موثرتر عمل نموده است و از لحاظ راحتی، رضایت بیشتری را برای افراد داشته است.

تشکر و قدردانی: از مدیریت محترم شرکت کارخانه شیمی معدنی و کارگران بخش کوره به خاطر همکاری صمیمانه‌شان در طی اجرای طرح قدردانی می‌گردد.

تضاد منافع: نویسندگان اعلام می‌نمایند که هیچ گونه تضاد منافی در این تحقیق وجود ندارد.

منابع

1. Tyler CJ, Sunderland C, Cheung SS. The effect of cooling prior to and during exercise on exercise performance and capacity in the heat: a meta-analysis. *British journal of sports medicine*. 2015;49(1):7-13.
2. DiNardi SR. *The Occupational Environment – Its Evaluation and Control*. AIHA Press 1998.
3. McLellan T. *The efficacy of an air-cooling vest to reduce thermal strain for Light Armour Vehicle personnel*. Defence R&D Canada. 2007.
4. Nunneley SA. *Water cooled garments: a review. Origins of Life and Evolution of Biospheres*. 1970; 2(3):335-60.
5. Medina TJ. *Physiological Responses of Men during the Continuous Use of a Portable Liquid Cooling Vest*. 2004.
6. Nunneley SA. *Heat stress in protective clothing: interactions among physical and physiological*

دارند. بنابراین استفاده از راهکارهای مدیریتی و مهندسی تاکید می‌گردد (۱۲). سامانه‌ی خنک‌کننده یخ به عنوان روش کوتاه مدت مناسب جهت مدیریت و کنترل استرس گرمایی در محیط‌های کاری گرم محسوب می‌گردد. هزینه اولیه و نگه داری جلیقه تنها درصد کمی از هزینه‌های مربوط به خنک‌کنندگی هوا توسط تهویه می‌باشد که این مورد می‌تواند کاربرد جلیقه را به عنوان موضوع کارآمد برای هر تیم مدیریتی ارایه نماید. از مزایای جلیقه خنک‌کننده، کاربرد گسترده آن در وظایف مختلف از جمله کارگران و افراد مختلف در محیط‌های متنوع کاری گرم می‌باشد. مطالعات نشان داده است استفاده از جلیقه در محیط‌های ساختمانی برای کارگران ساخت‌وساز، نظامی برای سربازان، آتش‌نشانی برای آتش‌نشانان و بیماران قابلیت کاربرد را دارد (۱۳). استفاده از جلیقه خنک‌کننده نیاز به فریزر جهت یخ زدن آب و شارژ دوباره‌ی آن در صورت ضرورت می‌باشد که یکی از محدودیت‌های استفاده از آن محسوب می‌شود. همچنین بیش‌تر این سامانه‌های خنک‌کننده حجیم و سنگین بوده و بر اساس نیروی قدرتی مورد نیاز (پکت های آب) آزادی عمل فرد پوشنده را محدود می‌نمایند که یکی از دلایل بالقوه عدم موفقیت تجاری و محدودیت آن در بازار می‌باشد (۱۱، ۱۴). به طور کلی نتایج بررسی مطالعه حاضر نشان داد استفاده از جلیقه یخ به خصوص جلیقه آلومینیومی نازک در حفظ دمای بدن در رنج مناسب، افزایش زمان ماند کارگران در محیط کاری گرم، عدم تداخل در فرایند کاری و اجرایی بودن روش در محیط صنعتی و فرایندهای گرم موثر عمل نموده است. در مطالعه حاجی عظیمی و همکاران اشاره شده است استفاده از لباس‌های با رنگ روشن یا پیش‌بندهای منعکس‌کننده تابش گرمایی می‌تواند در کنترل گرمای تابشی موثر باشد. در واقع این امر تاییدکننده تاثیر سطوح انعکاس دهنده بر کارایی جلیقه یخ می‌باشد که یافته‌های این مطالعه نیز تاییدکننده این موضوع می‌باشد (۱۵).

factors. *Scandinavian journal of work, environment & health*. 1989:52-7.

7. Van Rensburg AJ, Mitchell D, Van Der Walt WH, Strydom NB. *Physiological reactions of men using microclimate cooling in hot humid environments. Occupational and Environmental Medicine*. 1972;29(4):387-93.

8. Kamon E, Kenney WL, Deno NS, Soto KI, Carpenter AJ. *Readdressing personal cooling with ice. The American Industrial Hygiene Association Journal*. 1986;47(5):293-8.

9. Malcdaire J. *Methodology of Investigation of Hot Working Conditions in the Field. Ergonomics*. 1995; 38(1):60-85.

10. Cao H, Branson DH, Peksoz S, Nam J, Farr CA. *Fabric selection for a liquid cooling garment. Textile Research Journal*. 2006; 76(7):587-95.

11. Smolander U, Kuklane K, Gavhed D. *Effectiveness of a Light-Weight Ice-Vest for Body*

Cooling While Wearing Fire Fighter's Protective Clothing in the Heat. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. 2004;10(2):111-7.

12. Hajizadeh R, Dehghan SF, Mehri A, Golbabaie F, Beheshti MH, Haghghatjou H. Heat Stress Assessment in Outdoor Workplaces of a Hot Arid Climate Based on Meteorological Data: A Case Study in Qom, Iran. *J Mil Med*. 2015;17(2):89-95.

13. D'Angelo S, Lauwers W. The Cooling Vest Evaporative Cooling. Worcester Polytechnic Institute, In partial fulfillment of the requirements for a Bachelor of Science Degree in the fields of Chemical Engineering and Mechanical Engineering. 2009.

14. Xu X, Endrusick T, Laprise B, Santee W, Kolka M. Efficiency of liquid cooling garments: prediction and manikin measurement. *Aviation, space, and environmental medicine*. 2006 ;77(6):644-8.

15. Azimi EH, Khavanin A, Aghajani M, Soleymanian A. Heat stress measurement according to WBGT index in smelters. *J Mil Med*. 2011;13(2):59-64.