



ارزیابی تجربی عوامل فردی و فیزیولوژیکی مؤثر بر پاسخ حرارتی دست انسان تحت تحریک سرمای شدید

خلیل خلیلی^{1*}، سید علیرضا ذوالفقاری²، آتنا عزتیان سرابی³

1- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند، بیرجند

2- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند، بیرجند

3- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند، بیرجند

* بیرجند، صندوق پستی 97175/376، k Khalili@birjand.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: 26 آبان 1396

پذیرش: 08 دی 1396

ارائه در سایت: 22 دی 1396

کلید واژگان:

پاسخ حرارتی پوست

تحریک سرمای

ترموگرافی مادون قرمز

چکیده

تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر همزمان مشخصه‌های فردی و فیزیولوژیکی افراد بر پاسخ حرارتی ناحیه دست تحت اعمال یک تحریک سرمای شدید صورت پذیرفته است. بر این اساس، پاسخ حرارتی گذرای 89 نفر از دانشجویان پسر با استفاده از تکنیک تصویربرداری ترموگرافی مورد ارزیابی قرار گرفته است. سپس، با به‌کارگیری روش‌های تحلیل آماری روابطی تجربی برای تخمین زمان پاسخ حرارتی افراد دارای شرایط فردی و فیزیولوژیکی مختلف توسعه یافته است. نتایج نشان داد که از میان 9 پارامتر فردی و فیزیولوژیکی مورد بررسی (سن، چربی داخلی، درصد ماهیچه، درصد چربی، شاخص توده بدنی، فشار خون سیستولیک، فشار خون دیاستولیک، ضربان قلب و زمان گرسنگی)، زمان پاسخ حرارتی افراد تنها با چهار پارامتر مستقل چربی داخلی، شاخص توده بدنی، فشار خون سیستولیک و زمان گرسنگی رابطه معنی‌داری برقرار می‌کند. همچنین در تحقیق حاضر، با استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره، رابطه‌ای برای تخمین زمان پاسخ حرارتی افراد در برابر تحریکات سرمای توسعه داده شده است. این رابطه نشان می‌دهد که زمان پاسخ حرارتی افراد چاق می‌تواند تا حدود 20 درصد نسبت به افراد لاغر بیشتر باشد. علاوه بر این، نتایج حاکی از آن است که به ازای سپری شدن هر یک ساعت از زمان صرف آخرین وعده غذایی، پاسخ حرارتی بدن افراد حدود 1 درصد کندتر می‌شود.

Empirical assessment of the individual and physiological factors affecting the thermal response of human hands under intense cold stimulation

Khalil Khalili*, Seyed Alireza Zolfaghari, Atena Ezatian Sarabi

Department of Mechanical Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran

* P.O.B. 97175/376, Birjand, Iran, k Khalili@birjand.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 17 November 2017
Accepted 29 December 2017
Available Online 12 January 2018

Keywords:
Skin thermal response
Cold stimulation
Infrared thermography

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the simultaneous effect of individual and physiological characteristics of subjects on the hands thermal response under severe cold stimulation. So, the hands' transient thermal responses of 89 male students was evaluated by thermography imaging technique. Then, by applying statistical analysis methods, experimental relationships have been developed to estimate the thermal response time of the subjects with different individual and physiological conditions. The results showed that among the 9 individual and physiological parameters (age, vascular fat, muscle percentage, fat percentage, body mass index, systolic blood pressure, diastolic blood pressure, heart rate and fasting time), only there are four independent parameters of internal fat, body mass index, systolic blood pressure and fasting time have a significant relation with the response time. Also, using a multivariate linear regression, a relationship has been developed to estimate the thermal response time of the subjects against cold stimulation. This relationship indicates that the response time of the obese can be up to 20% higher than that of the lean subjects. In addition, the results shows that for each one hour after the last meal, the thermal response of the body is slower about 1%.

1- مقدمه

شرایط سرما با سازوکارهایی از جمله انقباض عروق جانبی و پدیده لرز عضلانی تلاش می‌کند تا دمای خود را کنترل نماید. بر این اساس، میزان توانایی بدن برای حفظ دمای خود در یک بازه مناسب و نیز قدرت پاسخ سریع بدن نسبت به کنترل شرایط حرارتی محیط می‌تواند به‌عنوان معیاری مهم در خصوص ارزیابی مشخصه‌های فردی سلامت افراد مورد بررسی قرار گیرد.

دمای بدن یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها برای تشخیص سلامتی انسان است. به‌طور کلی، بدن انسان مانند سایر موجودات خونگرم، نسبت به تحریکات محیطی از خود عکس‌العمل نشان می‌دهد؛ به‌طوری که در برابر شرایط گرمایی، اتساع عروق جانبی پوست و نیز سازوکار تعریق باعث می‌شود تا دمای بدن تا حد امکان در بازه دمایی مناسب حفظ شود. همچنین، بدن در

Please cite this article using:

Kh. Khalili, S. A. Zolfaghari, A. Ezatian Sarabi, Empirical assessment of the individual and physiological factors affecting the thermal response of human hands under intense cold stimulation, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 18, No. 01, pp. 355-360, 2018 (in Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

از سوی دیگر، بررسی سرعت پاسخ حرارتی بدن نسبت به تحریکات محیطی مستلزم ثبت دقیق اطلاعات دمایی بدن در طول زمان می‌باشد. یکی از ابزارهایی که در سال‌های اخیر به منظور ثبت اطلاعات حرارتی بدن بسیار مورد توجه قرار گرفته است، تصویربرداری حرارتی یا ترموگرافی مادون قرمز است. در واقع، ترموگرافی یک تکنیک غیرتهاجمی است که طول موج اشعه مادون قرمز منتشر شده از اجسام را اندازه‌گیری نموده و این طول موج را به درجه حرارت ارتباط می‌دهد. به‌عنوان یک تکنیک تصویربرداری، ترموگرافی مادون قرمز توانایی تولید یک تصویر دیجیتال شده یا ویدیو با سرعت بالا و تبدیل آن به یک عکس حرارتی رنگی را دارد. به بیان دیگر، ترموگرافی روشی ایمن، غیرتهاجمی و کم هزینه است که اجازه می‌دهد تا ضبط سریع و بدون تماس از انرژی تابشی که از بدن آزاد می‌شود، صورت پذیرد [2,1]. همچنین این روش تنها تابش‌های ناشی از سطح پوست را ثبت می‌کند و اثرات تابشی مضر بر روی بدن ندارد؛ لذا برای استفاده‌های طولانی مدت و مکرر مناسب است. مزایای اشاره شده باعث استقبال جامعه پزشکی از ترموگرافی به‌عنوان یک ابزار تشخیص جایگزین در تشخیص زود هنگام برخی بیماری‌ها که باعث بروز اختلالات حرارتی در سطح پوست بدن می‌گردند، شده است. در سال‌های اخیر، تحقیقات وسیعی جهت استفاده از دوربین‌های حرارتی به منظور به دست آوردن ارتباط بین فیزیولوژی حرارتی و دمای پوست انجام شده است. گولیو و همکاران [3] با انجام آزمایش‌های تجربی مشاهده کردند که در اکثر افراد سالم دمای دست‌ها، پاها و قسمت‌هایی از صورت پس از بی‌حرکتی افزایش می‌یابد. زیرا بی‌حرکت ماندن به‌طور کلی سبب آرامش و توزیع مجدد خون شده و باعث می‌شود دمای پوست افزایش یابد. استکتی و همکاران [4] در سال 1973 قابلیت تابش پوست سیاه، سفید را در بافت زنده و آزمایشگاه مقایسه کردند و مشاهده نمودند تفاوت معنی‌داری از این نظر وجود ندارد؛ در واقع تصویر حرارتی، نمایشی از توزیع دمای لایه خارجی سطح پوست است و رنگ پوست بر نتایج آن تأثیرگذار نیست. ژانگ و همکاران [5] در سال 2010 تغییرات دمای سطح بدن را در فصول مختلف به صورت تجربی مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که تفاوت دما بین قسمت‌های فوقانی و تحتانی بدن در فصل بهار، بیشتر از فصل زمستان است. جردن و همکاران [6] در سال 2010 از روشی جدید برای ترموگرافی سطح پوست بدن انسان استفاده نمودند. آن‌ها با ارائه یک مدل ترکیبی از انتقال حرارت در رگ و بافت پوست انسان، رفتار ترمودینامیکی پوست در محیطی با تغییرات شدید حرارتی را بررسی کردند. در این تحقیق آزمایشگاهی، ایشان یک نوار فولادی استوانه‌ای شکل و سرد را بر روی ساعد دست افراد قرار داده و تغییرات دما را با استفاده از یک دوربین مادون قرمز اندازه گرفتند. طبق گزارش ایشان، افزایش گردش خون در رگ‌ها به وضوح با تأثیر نفوذ گرما مشاهده شد. همچنین برنارد و همکاران [7] در سال 2012 گزارش دادند که اندام‌های جفت در بدن در بسیاری از شرایط دارای دمای متفاوتی هستند. بوزیدا و همکارانش [8] تأثیر روش تنش سرمایی را بر روی افراد مورد بررسی قرار دادند. در این رویکرد، یک شوک حرارتی سرد با قراردادن دست چپ روی فلز سرد و مشاهده دینامیک حرارتی در هر دو دست توسط ترموگرافی مادون قرمز بررسی شد. ایشان گزارش کردند که پس از گذشت دوره طولانی 85 ثانیه‌ای، حالت پایای دما روی دست تحریک شده کاهش یافته و بر عکس، روی دست دیگر افزایش می‌یابد ایشان این پدیده را پاسخ سازوکار تنظیم حرارت بدن جهت حفظ دمای مورد نیاز هسته داخلی دانستند.

همان‌طور که گفته شد، هدف از تحقیق حاضر، ارزیابی ارتباط میان پاسخ حرارتی بدن انسان نسبت به یک تحریک سرمایی موضعی شدید می‌باشد. برای این منظور از داده‌برداری تجربی بر روی یک جامعه آماری از پسران دانشجوی استفاده شده است. به‌طوری که پس از اعمال یک تحریک سرمایی موضعی شدید در ناحیه ساعد افراد تحت آزمایش، تأثیر پارامترهای فردی مختلف بر زمان پاسخ حرارتی بدن با استفاده از تکنیک ترموگرافی مادون قرمز مورد ارزیابی قرار گرفته است. بر این اساس، قبل از اعمال تحریک سرمایی، دمای هر دست به کمک دوربین ترموگرافی ثبت می‌شود و متوسط دما در ناحیه ساعد به‌عنوان پارامتر $T_{mean,initial}$ تعیین می‌گردد. سپس، تحریک سرمایی اعمال شده و در لحظه برداشتن تحریک، یک تصویر ترموگرافی دیگر ثبت می‌شود. کمترین دمای پوست دست در تصویر مذکور تحت عنوان $T_{min,0}$ نام‌گذاری شده است. همچنین، دوربین ترموگرافی هر ده ثانیه یکبار دمای دست را ثبت می‌کند. پس از پردازش تصاویر مذکور، کمینه دمای پوست دست در ناحیه اعمال تحریک در هر زمان به‌عنوان پارامتر $T_{min}(t)$ شناخته می‌شود. براساس پارامترهای مذکور، شاخص بدون بعد زیر برای ارزیابی پاسخ حرارتی دست تعریف شده است:

$$\theta = \frac{T_{min}(t) - T_{mean,initial}}{T_{min,0} - T_{mean,initial}} \quad (1)$$

شاخص مذکور، عددی بین صفر و یک خواهد بود. به طوری که در لحظه اولیه پس از اعمال تحریک این شاخص برابر با یک است و با گذشت زمان به سمت صفر میل می‌کند. به منظور ارزیابی سرعت پاسخ دهی افراد به شرایط محیطی، زمانی که لازم است تا مقدار شاخص مذکور از یک به 0.5 کاهش پیدا کند، به عنوان معیار در نظر گرفته شده است. این مقدار در متن و نمودارها تحت عنوان $t_{\theta=0.5}$ برحسب دقیقه نشان داده شده است. در تحقیق حاضر سعی شده است تا ارتباط میان مشخصه‌های فردی و فیزیولوژیکی افراد و شاخص مذکور تعیین شود.

2-2- مشخصات جامعه مورد آزمایش

افراد مورد بررسی در تحقیق حاضر شامل 89 نفر از پسران دانشجوی بوده‌اند. به منظور استخراج اطلاعات فردی و فیزیولوژیکی افراد، مشخصه‌های ایشان شامل سن، قد، وزن، چربی داخلی، درصد چربی، درصد ماهیچه، شاخص توده بدنی (BMI)، فشار خون سیستولیک (فشار ناشی از خونی که از طریق شریان‌ها جریان دارد) و فشار خون دیاستولیک (فشاری که خون از درون شریان‌ها در بین هر ضربان قلب تخلیه می‌شود). ضربان قلب و زمان ناشتا بودن (زمان سپری شده از صرف آخرین وعده آب و غذا) تعیین و ثبت شده است. در جدول 1، میانگین و انحراف معیار مشخصات فردی افراد مورد آزمایش نشان داده شده است. همچنین، شرایط پوشش افراد به نحوی تنظیم شده است که همه افراد تحت آزمایش از شرایط نسبتاً یکنواختی به لحاظ



Fig. 1 Image of utilized metal parts and wrist straps

شکل 1 تصویری از قطعات فلزی و مچ بندهای مورد استفاده



Fig. 2 Extreme cold stimulation by placing a cold metal piece on each hand for 40 seconds

شکل 2 اعمال تحریک سرمایی شدید از طریق قرارگیری یک قطعه فلزی سرد روی هر دست به مدت 40 ثانیه

رطوبت محیط و سرعت وزش هوا وابسته باشد. بر این اساس، میزان عدم قطعیت اندازه‌گیری دستگاه مذکور با توجه به مقدار پارامترهای مذکور، حدود 5% برآورد گردید. ضمن این‌که جهت کاهش خطاهای آزمایشگاهی، دوربین و سایر ابزارهای اندازه‌گیری قبل از شروع کار در محیط آزمایشگاه کالیبره شده‌اند.

همچنین، برای اندازه‌گیری شاخصه‌های بدنی افراد نظیر درصد چربی، درصد ماهیچه، چربی داخلی بدن و نرخ متابولیک پایه از دستگاه امرن کاردا اسکن بی اف 511³ بهره گرفته شده است که دارای بیشینه وزن قابل تحمل 150 کیلوگرم بوده و دارای دقت سنجش درصد چربی و شاخص توده بدنی (BMI) توسط آن 4% می‌باشد. همچنین، این دستگاه قابل استفاده برای رده سنی 18 تا 80 سال و قد 100 تا 200 سانتی‌متر است.

علاوه بر این، اندازه‌گیری فشار خون و ضربان قلب افراد توسط دستگاه فشار خون امرن ام 2⁴ صورت پذیرفته است که این دستگاه دارای قابلیت اندازه‌گیری فشار خون با دقت اندازه یک میلی‌متر جیوه و ضربان قلب با دقت 3% می‌باشد. با این حال، در این آزمایش برای هر دست عملیات ثبت فشار خون و ضربان قلب دو مرتبه با فاصله زمانی 5 دقیقه تکرار شده و میانگین فشار برای هر دست به ثبت رسیده است.

همچنین، جهت جلوگیری از بروز خطای هم‌دما شدن، افراد به مدت حداقل 15 دقیقه در اتاقک آزمایشگاهی قرار گرفتند تا شرایط اولیه حرارتی برای همه افراد تقریباً یکسان شود. این زمان طبق دستورالعمل تاسیساتی اشری 55 [9] در مورد اندازه‌گیری شرایط حرارتی افراد در نظر گرفته شده

پوشش بدن برخوردار باشند. بر این اساس، پسران مورد آزمایش دارای لباس زیر، یک پیراهن تابستانی نازک، شلوار، جوراب و کفش بوده‌اند.

3-2- مرحله آماده‌سازی

سعی شده است تا دمای اتاقک در حین انجام آزمایش با حداکثر انحراف 0.2 درجه سلسیوس، روی مقدار 24 درجه سلسیوس ثابت نگه‌داشته شود. همچنین، محل درپچه‌های ورودی هوا به گونه‌ای تنظیم شده است که سرعت وزش هوا در ناحیه بدن افراد از 0.15 متر بر ثانیه تجاوز نکند. در چنین شرایطی، پیش از شروع فرآیند آزمایش و داده‌برداری ترموگرافی، افراد به مدت حداقل 15 دقیقه در اتاقک آزمایشگاهی قرار می‌گیرند تا شرایط اولیه حرارتی برای همه افراد تقریباً یکسان شود. این زمان طبق دستورالعمل تاسیساتی اشری 55 [9] در مورد اندازه‌گیری شرایط حرارتی افراد در نظر گرفته شده است.

به‌منظور ایجاد تحریک سرمایی بر روی دست از دو قطعه فلزی دایروی سرد از جنس CK45 به قطر 28 میلی‌متر و ضخامت 2 میلی‌متر استفاده شده است. پس از رسیدن دمای قطعات فلزی مذکور به دمای موردنیاز برای شروع آزمایش، بقطعات مذکور به سرعت بر روی دو مچ‌بند قرار می‌گیرد (شکل 1) و این مچ‌بندها بر روی دستان هر فرد به مدت چهار ثانیه بسته می‌شود (شکل 2). بر این اساس لازم است تا پیش از شروع آزمایش، مراحل آماده‌سازی مچ-بندها طی شود. برای این منظور، ابتدا قطعات فلزی فوق‌الذکر به مدت طولانی (بیش از 10 دقیقه) در مخلوط آب و یخ قرار می‌گیرد تا با مخلوط هم‌دما گردد. سپس، قطعات به سرعت از مخلوط خارج می‌شود و رطوبت آن گرفته شده و روی مچ‌بندها قرار می‌گیرد. به‌منظور تعیین دمای متوسط پوست دست افراد پیش از شروع آزمایش و پیش از بسته شدن مچ‌بندها، یک عکس ترموگرافی از دست‌ها توسط دوربین گرفته می‌شود. سپس، مچ‌بندها به طور هم‌زمان روی دست داوطلبان بسته می‌شود و قطعات فلزی سرد به مدت 40 ثانیه در تماس با پوست دست افراد قرار می‌گیرد. پس از این مرحله، هر 10 ثانیه یکبار، یک تصویر ترموگرافی برای ارزیابی سرعت پاسخ حرارتی دست‌ها و در واقع زمان هم‌دما شدن دست‌ها گرفته می‌شود. این تصاویر پس از اتمام آزمایش بایستی با الگوریتم‌های پردازش تصویر مورد ارزیابی قرار گیرد.

4-2- ابزار آزمایش و خطای اندازه‌گیری

در تحقیق حاضر برای ثبت تصاویر حرارتی از دوربین ترموویژن جی 120 ای ایکس¹ ساخت کمپانی ان ای سی آویو² ژاپن جهت ترموگرافی استفاده شده است. دوربین مذکور دارای قدرت تفکیک دمایی 0.04 درجه سلسیوس و رزولوشن تصویر حرارتی 320x240 پیکسل و فرکانس ثبت تصاویر 60Hz می‌باشد. همچنین، خطای کلی ترموگرافی می‌تواند به عواملی از جمله ضریب تشعشع، دمای محیط بازتاب داده‌شده، دقت درجه حرارت کالیبراسیون،

جدول 1 مشخصات فردی افراد مورد آزمایش

Table 1 Individual characteristics of the subjects

پارامتر	تعداد آزمایش	سن (سال)	قد (سانتی‌متر)	جرم (کیلوگرم)	شاخص BMI
میانگین	89	26.1	175	66.7	21.7
انحراف معیار	-	2.8	6	11	2.8

¹ G120EX

² NEC-Avio

³ OMRON Karda Scan BF511

⁴ OMRON M2

است.

5-2- نحوه داده برداری و تحلیل نتایج

پردازش تصاویر حرارتی، با استفاده از نرم افزار اینفرک آنالیز¹ که نسخه رسمی نرم افزار پردازش تصویر دوربین ترموگرافی می باشد، انجام شده است. جهت بدست آوردن مقدار پارامتر بی بعد θ میانگین دمای سطح پوست دست-ها قبل از شروع آزمایش ($T_{mean,initial}$)، کمترین دمای سطح پوست در لحظه شروع آزمایش ($T_{min,0}$) و کمترین دمای سطح پوست با فاصله زمانی هر 10 ثانیه از زمان شروع آزمایش ($T_{min}(t)$) تا زمان هم دما شدن مجدد سطح پوست دست ها، از تصاویر استخراج شده است. همچنین جهت تحلیل آماری داده های پردازش شده و انجام فرآیند رگرسیون از نرم افزار اس پی اس اس² استفاده شده است.

بر اساس آنچه که گفته شد مراحل انجام آزمایش عبارتند از:

- ثبت اطلاعات فردی برای هر نفر شامل سن، قد، وزن، میزان پوشش لباس، چربی داخلی، درصد ماهیچه و درصد چربی
- مرحله آماده سازی فرد (قرارگیری در محیط آزمایش به مدت حداقل 15 دقیقه پیش از اعمال تحریک سرمایای)
- ثبت اطلاعات ضربان قلب و فشار سیستولیک و دیاستولیک
- تعیین دمای متوسط پوست دست ناحیه ساعد با استفاده از تصویر ترموگرافی
- آماده سازی سریع مچ بندهای سرمایای
- اعمال تحریک سرمایای به مدت 40 ثانیه بر ناحیه ساعد
- دستان فرد برداشتن تحریک و ثبت تصاویر ترموگرافی در بازه های زمانی ده ثانیه ای
- پردازش تصاویر ثبت شده برای همه افراد مورد آزمایش
- تحلیل آماری نتایج به دست آمده

3- نتایج و بحث

همان طور که پیشتر گفته شد، هدف از تحقیق حاضر ارزیابی تأثیر همزمان مشخصه های فردی و فیزیولوژیکی بر پاسخ حرارتی بدن به منظور تعیین یک رابطه تجربی برای پیش بینی زمان پاسخ حرارتی افراد دارای شرایط فردی و فیزیولوژیکی مختلف می باشد. بر این اساس، پاسخ دینامیکی دست های افراد نسبت به یک تحریک سرمایای مورد بررسی قرار گرفته است. در "شکل 3" یک مورد نمونه از تصاویر ترموگرافی ثبت شده برای ارزیابی تغییرات دمای دست نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، با گذشت زمان دمای بخش تحت تأثیر تحریک سرمایای بالا می رود و به بیان دیگر، بدن تلاش می کند تا خود را به شرایط اولیه برگرداند. با این وجود، نحوه پاسخ حرارتی بدن برای دست راست و چپ الزاما با هم یکسان نیست و در مواردی مشاهده می شود که یک دست سریع تر از دست دیگر نسبت به از بین بردن تأثیر ناشی از تحریکات محیطی عمل می کند.

در این تحقیق میزان تأثیرگذاری 9 عامل مختلف فردی و فیزیولوژیکی بر زمان پاسخ حرارتی بدن مورد بررسی قرار گرفته است. این عوامل عبارتند از:

- سن

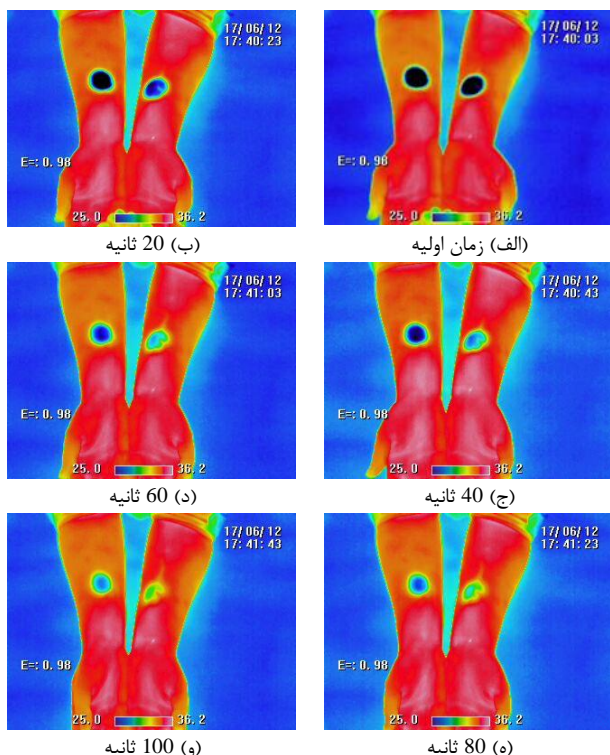


Fig. 3 A sample for hands transient temperature measuring under cold stimulation

شکل 3 یک مورد نمونه برای اندازه گیری گذرای دمای دست ها تحت تحریک سرمایای

- چربی داخلی
- درصد چربی
- درصد ماهیچه
- شاخص توده بدنی (BMI)
- فشار خون سیستولیک
- فشار خون دیاستولیک
- ضربان قلب

• زمان گرسنگی (زمان سپری شده از صرف آخرین وعده غذا) به منظور بررسی میزان معنی داری ارتباط میان عوامل نه گانه فوق و شاخص زمان پاسخ (زمان رسیدن θ به نصف مقدار اولیه خود) از آزمون آماری سطح معنی داری P-value استفاده شده است. در این آزمون، اگر مقدار به دست آمده برای شاخص P-value کمتر از 0.05 باشد، به معنای آن است که می تواند ارتباط معنی داری میان متغیر مستقل و متغیر وابسته وجود داشته باشد. بر این اساس در تحقیق حاضر، امکان وجود رابطه معنی دار میان 9 متغیر مستقل فوق الذکر با متغیر وابسته زمان پاسخ ($t_{\theta=0.5}$) مورد بررسی قرار گرفته است. در جدول 2 سطح معنی داری برای پارامترهای مستقل مسأله نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، از میان 9 پارامتر مذکور تنها چهار پارامتر چربی داخلی، شاخص توده بدنی (BMI)، فشار خون سیستولیک و زمان گرسنگی حائز شرایط $P-value < 0.05$ می باشند. لذا می توان گفت که احتمال وجود رابطه معنی دار میان شاخص زمان پاسخ و چهار پارامتر مستقل فوق تأیید می شود. بر این اساس، با استفاده از نرم افزار آماری اس پی اس اس یک رگرسیون خطی میان شاخص زمان پاسخ و پارامترهای مستقل صورت پذیرفته است. "شکل 4" ارتباط میان پارامتر چربی داخلی و زمان پاسخ حرارتی افراد را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، با افزایش چربی داخلی بدن افراد زمان پاسخ حرارتی بدن ایشان زیادتر می شود.

¹ InfRec Analyze

² SPSS® 22

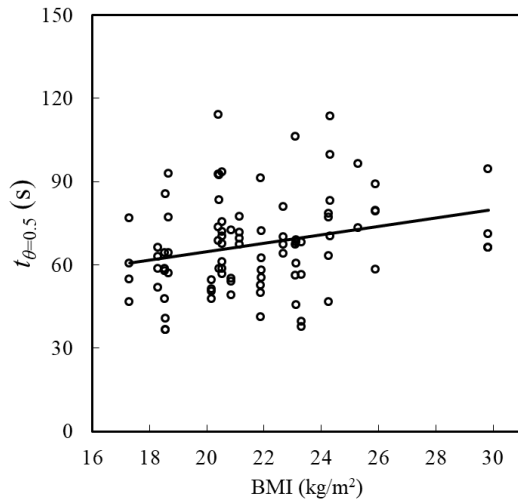


Fig. 5 Relation between Body Mass Index (BMI) and thermal response time index.

شکل 5 ارتباط میان شاخص توده بدنی (BMI) و شاخص زمان پاسخ حرارتی.

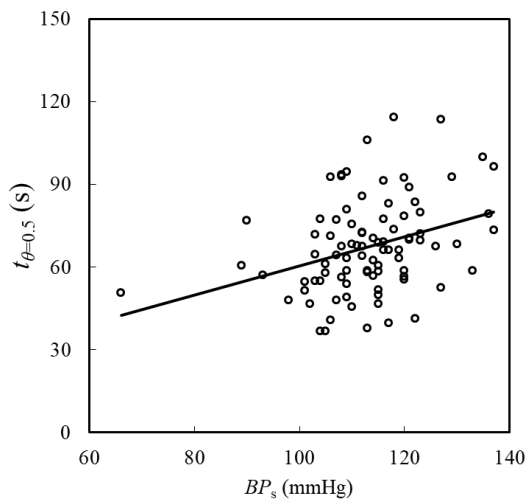


Fig. 6 Relation between systolic blood pressure and thermal response time index.

شکل 6 ارتباط میان فشار خون سیستولیک و شاخص زمان پاسخ حرارتی.

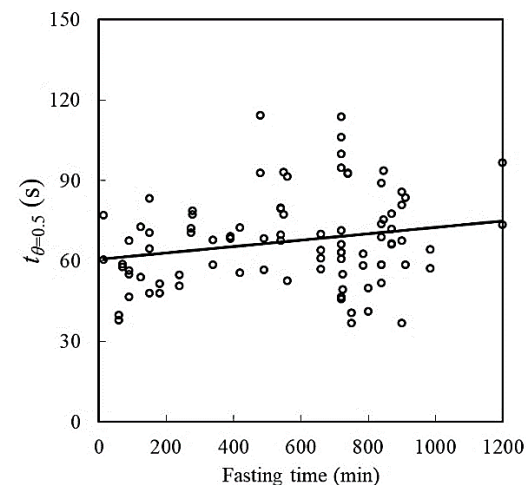


Fig. 7 Relation between the fasting time and thermal response time index.

شکل 7 ارتباط میان زمان گرسنگی و شاخص زمان پاسخ حرارتی.

به بیان دیگر، هر چه چربی داخلی بدن افراد بیشتر شود، بدن افراد در مقابل تحریکات سرمایی وارده واکنش کندتری خواهد داشت. همچنین، در "شکل 5" ارتباط میان شاخص توده بدنی و پاسخ حرارتی بدن نشان داده شده است. در روابط (2) و (3) رابطه حاصل از رگرسیون خطی میان پارامترهای چربی داخلی و شاخص توده بدنی (BMI) با شاخص پاسخ حرارتی افراد نشان داده شده است.

$$t_{\theta=0.5} = 61.5 + 1.5 \text{ Fat} \quad (2)$$

$$t_{\theta=0.5} = 34.2 + 1.52 \text{ BMI} \quad (3)$$

که Fat چربی داخلی برحسب درصد، BMI شاخص توده بدنی برحسب کیلوگرم بر متر مربع (حاصل تقسیم جرم بدن برحسب کیلوگرم به مجذور قد فرد برحسب متر) و $t_{\theta=0.5}$ زمان پاسخ حرارتی بدن برحسب ثانیه است.

همچنین، در "شکل‌های 6 و 7" به ترتیب ارتباط میان فشار خون سیستولیک و زمان گرسنگی با پاسخ حرارتی بدن نشان داده شده است.

طبق نتایج "شکل 6"، همبستگی معنی دار و قابل توجهی میان فشار خون سیستولیک افراد با پاسخ حرارتی در برابر تحریکات سرمایی به چشم می‌خورد. این همبستگی توسط رابطه خطی زیر قابل برازش است:

$$t_{\theta=0.5} = 7.7 + 0.528 \text{ BP}_s \quad (4)$$

جدول 2 شاخص سطح معنی‌داری (P-value) برای ارتباط میان پارامتر وابسته و پارامترهای مستقل تحقیق

Table 2 P-value index for relationship between the dependent parameter and independent parameters of the present study

پارامتر مورد بررسی	سطح معنی‌داری (P-value)	وجود همبستگی
سن	0.378	خیر
چربی داخلی	0.038	بلی
درصد چربی	0.137	خیر
درصد ماهیچه	0.206	خیر
BMI	0.015	بلی
فشار خون سیستولیک	0.001	بلی
فشار خون دیاستولیک	0.233	خیر
ضربان قلب	0.240	خیر
زمان گرسنگی	0.045	بلی

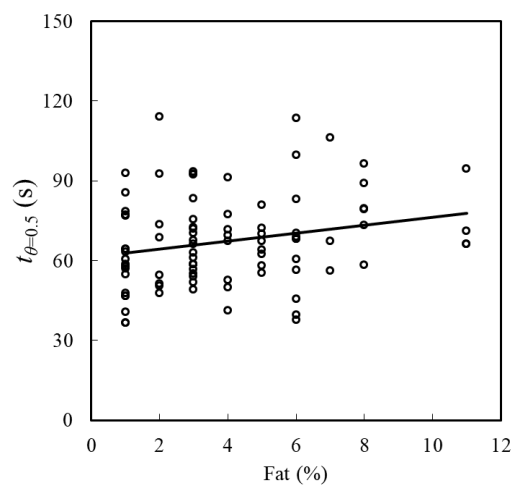


Fig. 4 Relation between the percent of visceral fat and thermal response time index.

شکل 4 ارتباط میان چربی داخلی (درصد) و شاخص زمان پاسخ حرارتی.

جدول 3 خطای متوسط و شاخص برازش R^2 برای روابط (2) تا (5)

Table 3 Average error and R^2 index for equations (2) to (5)

شماره رابطه	متوسط خطا (ثانیه)	شاخص برازش R^2
2	12.9	0.05
3	12.7	0.07
4	12.4	0.11
5	13.1	0.05

سپری شدن هر یک ساعت از زمان صرف آخرین وعده غذایی، پاسخ حرارتی بدن افراد حدود 1 درصد کندتر خواهد شد.

5- فهرست علائم

شاخص توده بدنی (kg m^{-2})	BMI
فشار خون سیستولیک (mmHg)	BP_s
چربی داخلی (درصد)	Fat
زمان سپری شده از آخرین وعده آب و غذا (min)	t_{Fasting}
دمای متوسط پوست دست پیش از اعمال تحریک سرمایی ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{\text{mean,initial}}$
کمترین دمای سطح پوست در لحظه اولیه پس از برداشتن تحریک سرمایی ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{\text{min},0}$
کمترین دمای سطح پوست در طول زمان پس از تحریک سرمایی ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{\text{min}}(t)$
زمان لازم برای رسیدن شاخص بی‌بعد θ به نصف مقدار اولیه خود (s)	$t_{\theta=0.5}$
علائم یونانی	
θ شاخص ارزیابی تغییرات دمای سطح پوست (بی‌بعد)	

6- مراجع

- [1] E. Ring, Pioneering progress in infrared imaging in medicine, *Quant.InfraRed Thermography Journal*, Vol. 11, No. 1, pp. 57-65, 2014.
- [2] E. Ring, K. Ammer, The technique of infrared imaging in medicine, *Thermology International*, Vol. 10, No. 1, pp. 7-14, 2000.
- [3] Y. V. Gulyaev, A. G. Markov, L. G. Koreneva, P. V. Zakharov, Dynamical infrared thermography in humans, *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, Vol. 14, No. 6, pp. 766-771, 1995.
- [4] J. Steketee, Spectral emissivity of the skin and pericardium, *Physics in Medicine and Biology*, Vol. 18, No. 5, pp. 686-94, 1973.
- [5] X. Zhang, Z. Li, B. Huang, G. Lin, Z. H. Preliminary Study, *IEEE*, Vol. 1, No. 4, pp. 1109-10, 2010.
- [6] F. Jourdan, D. Ratovoson, V. Huon, A study of heat distribution in human skin: use of Infrared Thermography, *EPJ Web of Conferences*, Vol. 6, EDP Sciences, 2010.
- [7] V. Bernard, E. Staffa, V. Mornstein, A. Bourek, Infrared camera assessment of skin surface temperature: Effect of emissivity, *Physica Medica*, Vol. 29, No. 6, pp. 583-591, 2013.
- [8] N. Bouzida, A. Bendada, X. P. Maldague, Visualization of body thermoregulation by infrared imaging, *Journal of Thermal Biology*, Vol. 34, pp. 120-126, 2009.
- [9] ANSI-ASHRAE 55, *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Atlanta, 2013.

که فشار خون سیستولیک برحسب میلی‌متر جیوه می‌باشد. همچنین، رابطه زیر برای توصیف ارتباط میان زمان گرسنگی و پاسخ حرارتی فرد با استفاده از رگرسیون خطی ارائه شده است:

$$t_{\theta=0.5} = 60 + 0.012 t_{\text{Fasting}} \quad (5)$$

براساس نتایج "شکل 7"، هر چه از آخرین وعده غذایی افراد زمان بیشتری گذشته باشد، پاسخ بدن نسبت به تحریکات سرمایی کندتر می‌شود. به طوری که تقریباً به ازای سپری شدن هر 80 دقیقه از صرف آخرین وعده غذایی، پاسخ حرارتی دست حدود یک ثانیه کندتر می‌شود. این گونه به نظر می‌رسد که این امر به دلیل کاهش نرخ سوخت و ساز بدن در هنگام گرسنگی باشد.

در جدول 3 خطای متوسط و شاخص برازش R^2 برای روابط (2) تا (5) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، شاخص برازش برای روابط مذکور نسبتاً پایین است؛ البته این امر با توجه به میزان پراکندگی نتایج و ماهیت وابستگی چند متغیره در شرایط آزمایشگاهی و همچنین تفاوت‌های فیزیولوژیکی بین افراد تا حدی اجتناب‌ناپذیر است.

همچنین، می‌توان با استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره، رابطه زیر را برای پیش‌بینی زمان پاسخ حرارتی افراد در برابر تحریکات سرمایی به دست آورد:

$$t_{\theta=0.5} = 2.9 + 0.708\text{BMI} + 0.386\text{Fat} + 0.376BP_s + 0.011 t_{\text{Fasting}} \quad (6)$$

رابطه مذکور با خطای استاندارد حدود 17 ثانیه و شاخص برازش R^2 حدود 0.2 می‌تواند شاخص پاسخ حرارتی افراد را تخمین بزند. شایان ذکر است که با توجه به ماهیت آزمایش انجام شده و وجود عوامل مؤثر متعدد در مسائل فیزیولوژیکی، این میزان از پراکندگی از نتایج قابل پذیرش می‌باشد.

4- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، تأثیر همزمان مشخصه‌های فردی و فیزیولوژیکی 89 نفر از دانشجویان پسر بر پاسخ حرارتی دست‌های ایشان با استفاده از تکنیک تصویربرداری ترموگرافی مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از آن، سعی شد تا به کمک روش‌های آماری روابطی تجربی برای تخمین زمان پاسخ حرارتی افراد دارای شرایط فردی و فیزیولوژیکی مختلف توسعه یابد. نتایج نشان داد که از میان 9 پارامتر فردی و فیزیولوژیکی مورد بررسی (سن، چربی داخلی، درصد ماهیچه، درصد چربی، شاخص توده بدنی، فشار خون سیستولیک، فشار خون دیاستولیک، ضربان قلب و زمان گرسنگی)، تنها چهار پارامتر چربی داخلی، شاخص توده بدنی، فشار خون سیستولیک و زمان گرسنگی به‌عنوان پارامترهای مستقل تأثیر معنی‌داری بر زمان پاسخ حرارتی افراد دارد. نهایتاً با استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره، رابطه‌ای برای پیش‌بینی زمان پاسخ حرارتی افراد در برابر تحریکات سرمایی به‌دست آمد. با تحلیل ضرایب رابطه مذکور مشاهده می‌شود که زمان پاسخ حرارتی افراد چاق می‌تواند تا حدود 20 درصد نسبت به افراد لاغر بیشتر باشد. همچنین نتایج نشان داد که به ازای