



Nina Verdel¹,
Tim Podlogar^{2,3}, Urša Ciuha⁴, Hans-Christer Holmberg⁵,
Tadej Debevec^{4,6}, Matej Supej^{1,6}

Pomen veljavnosti senzorjev v praksi: primer neinvazivnega senzorja za merjenje temperature telesnega jedra

The importance of sensors' validity in applied setting: an example of a non-invasive sensor for measuring core body temperature

Izvleček

Spremljanje temperature telesnega jedra (T_c) med treningi in tekmovanji, zlasti v vročem okolju, lahko pomaga izboljšati športnikovo zmogljivost in zmanjšati tveganje za vročinsko kap. Zato bi bil neinvazivni senzor, ki omogoča zanesljivo spremljanje T_c , zelo koristen pripomoček za športnike in trenerje. Eden takih neinvazivnih senzorjev je pred nedavnim prišel na trg (CORE, greenTEG, Rümlang, Švica), proizvajalec pa ni izvedel neodvisne validacijske študije naprave. V tem prispevku bodo predstavljeni rezultati prve validacijske študije senzorja CORE. Prva glavna ugotovitev je bila, da je zanesljivost senzorja CORE sprejemljiva. Pri testiranju veljavnosti se temperatura, ki jo je pokazal senzor CORE, ni dobro ujemala z rektalno temperaturo, saj se je približno 50 % vseh meritev razlikovalo za več kot vnaprej določenih 0,3 °C. Končna ugotovitev je, da pridobljeni rezultati ne potrjujejo trditve proizvajalca, da je senzor CORE veljaven senzor za merjenje telesne temperature jedra.

Ključne besede: zanesljivost, rektalna temperatura, senzor CORE, kolesarjenje

Abstract

Monitoring core body temperature (T_c) during training and competitions, especially in a hot environment, can help enhance an athlete's performance, as well as lower the risk for heat stroke. Accordingly, a noninvasive sensor that allows reliable monitoring of T_c would be highly beneficial in this context. One such novel non-invasive sensor was recently introduced onto the market (CORE, greenTEG, Rümlang, Switzerland), but, manufacturer did not perform a validation study of this device. In this paper the results of first validation study about the CORE sensor will be presented. The first major finding was that the reliability of the CORE sensor is acceptable. However, under both levels of heat load, the body temperature indicated by the CORE sensor did not agree well with rectal temperature, with approximately 50% of all paired measurements differing by more than the predefined threshold for validity of ≤ 0.3 °C. In conclusion, the results obtained do not support the manufacturer's claim that the CORE sensor provides a valid measure of core body temperature.

Key words: reliability, rectal temperature, CORE sensor, cycling

■ Uvod

Olimpijske igre Rio 2016, še posebej pa Tokio 2020 so bile zaznamovane z visokim temperaturnim stresom, saj so potekale pri visoki temperaturi zraka in visoki vlažnosti. Podobno se pričaku-

je tudi na svetovnem prvenstvu v nogometu leta 2022 v Katarju (Johnson, 2010; Ruddock idr., 2014) in kot posledica globalnega segrevanja še na številnih tekmovanjih v prihodnosti. Vadba v vro-

¹ Swedish Winter Sport Research Centre, Mid Sweden University, Švedska

² School of Sport, Exercise and Rehabilitation Sciences, University of Birmingham, Združeno kraljestvo

³ Human Performance Centre, Slovenija

⁴ Odsek za avtomatiko, biokibernetiko in robotiko, Institut Jožef Stefan, Slovenija

⁵ Department of Health, Medicine, and Rehabilitation, Luleå University of Technology, Sweden

⁶ Fakulteta za šport, Univerza v Ljubljani, Slovenija

čini pa ni le neprijetna, temveč lahko poslabša športnikovo zmogljivost (American College of Sports Medicine idr., 2007), povzroči dvig temperature jedra telesa (T_c) in ne nazadnje poveča tveganje za potencialno življenjsko ogrožajočo vročinsko kap, povezano s T_c nad 40 °C (Knochel, 1974). Za obvladovanje vročinskega stresa med tekmovanji in treningom so bile razvite številne strategije, za najbolj učinkovito pa se je izkazala vročinska aklimacija oziroma aklimatizacija (v nadaljevanju samo aklimatizacija) (Muniz-Pardos idr., 2019). Zanj se priporoča, da se izvaja v toplem okolju, ki izzove visoko stopnjo znojenja, da traja približno 60–90 min ter da je T_c nad 38,5 °C (Garrett idr., 2009; Patterson idr., 2004) 60% RH. Spremljanje športnikove T_c je zato pomemben del trenažnega procesa. Pri tem je zelo pomembno, da športniki in trenerji uporabljajo veljavne in zanesljive naprave za merjenje T_c .

Zanesljiva in veljavna naprava za merjenje T_c v mirovanju in med vadbo je rektalni senzor. Kljub široki uporabi ima merjenje rektalne temperature (T_{rec}) več omejitev: a) dolgotrajno sedenje z vstavljenno rektalno sondo je lahko za športnike neprijetno, b) merjenje je večinoma omejeno na laboratorijsko okolje in c) zaradi gibanja telesa se senzor lahko premakne iz prvotnega položaja (Gosselin idr., 2019). Zato je merjenje T_{rec} med treningom ali tekmovanji neprijetno in redko uporabljeno. Kot alternativa rektalnemu merjenju temperature pri raziskavah in profesionalnem športu se v zadnjih desetletjih uporabljajo elektronske tablete (e-tablete). Številne študije kažejo, da so e-tablete veljavni senzori za T_c (Ganio idr., 2009; Gant idr., 2006; Gosselin idr., 2019). Kljub temu ima merjenje T_c z e-tabletami tudi več omejitev, med drugim je a) treba tableto zaužiti nekaj ur pred vadbo, b) lahko se kontaminira z zaužito hrano ali tekočino, c) poleg tega je tudi draga. Posledično spremljanje T_c z e-tabletami med treningi in tekmovanji ni razširjeno.

Neinvazivni senzor, ki bi omogočal spremljanje T_c med vsakim treningom ali tekmovanjem, bi prinesel pomembne koristi pri treningu aklimatizacije na vročino in pri preprečevanju nastanka vročinske kapi. Prvi tak senzor, CORE (greenTEG AG, Rümlang, Švica), je že dostopen na trgu (Core Body Temperature Monitoring, b. d.). Proizvajalec senzor oglašuje kot natančen senzor za merjenje T_c kljub temu, da prva objavljena validacijska študija temu ne pritruje (Verdel idr., 2021). Številni športniki so senzor že uporabljali na različnih velikih tekmovanjih, kot so olimpijske igre in Tour de France. Če se ne zavedajo, da senzor lahko podceni njihovo realno vrednost T_c , pa je to za njih lahko zelo nevarno, celo usodno.

■ Zanesljivost in veljavnost

Kot smo omenili že v uvodu, je pomembno, da so senzori, ki jih uporabljajo športniki, zanesljivi in veljavni. Zanesljiv senzor je senzor, ki nam bo ob ponovitvi meritve pod enakimi pogoji pokazal enako vrednost. To pomeni, da če gremo s kolesom dvakrat na Vršič iz Kranske Gore in nam naša merilna naprava (recimo ura) obakrat pokaže, da smo se povzpeli za 700 metrov, je naša ura zanesljiva. Ampak takšna ura ni veljavna, ker nam ni pokazala prave vrednosti. Veljavna ura bi morala pokazati 806 metrov vzpona. Zanesljiva in hkrati veljavna ura bi pri obeh vzponih pokazala 806 metrov.

■ Senzor core

Senzor CORE (Slika 1) je nosljiv senzor velikosti 4 cm x 5 cm x 0,8 cm. T_c določa na podlagi meritev temperature kože, toplotnega toka in srčnega utripa (ta je povezan prek protokola ANT+). T_c je potem določena s pomočjo umetne inteligence, katere algoritmi so nastali na podlagi predhodnih meritev z veljavnimi senzori. V skladu z navodili proizvajalca je treba senzor namestiti na trup oziroma prsni koš približno 20 cm pod pazduho. Običajno se namesti na trak za merjenje srčnega utripa. Proizvajalec ponuja dve različici tega sensorja: CORE in COREresearch, druga vzorči podatke vsako sekundo in jih lahko hrani tri dni in pol. Podatke, shranjene v napravi, lahko za nadaljnjo analizo prenesemo v aplikacijo CORE za Android ali iOS. Proizvajalec navaja natančnost naprave CORE kot $\pm 0,26$ °C.

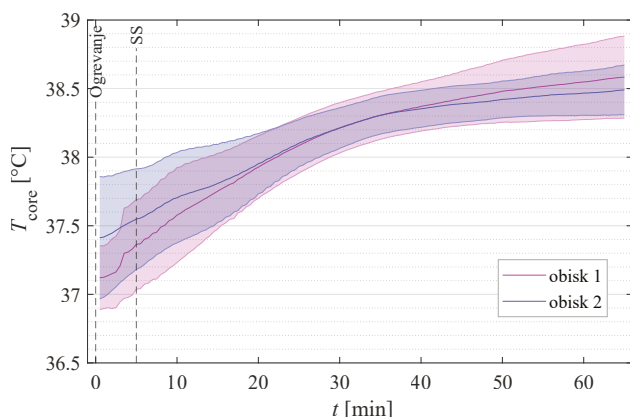


Slika 1. Senzor za merjenje temperature telesnega jedra »Core«

■ Zanesljivost in veljavnost sensorja core

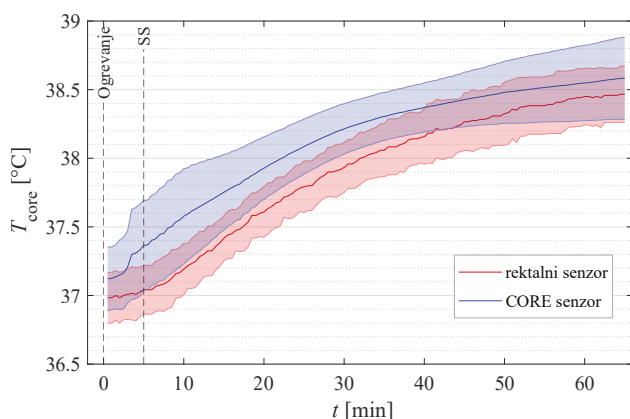
Študija, v kateri smo preverjali zanesljivost in veljavnost sensorja CORE, je bila sestavljena iz dveh ločenih raziskav.

V prvi raziskavi smo testirali zanesljivost in veljavnost sensorja CORE pri nizki do srednji toplotni obremenitvi (temperatura zraka v laboratoriju $19,1 \pm 0,5$ °C, relativna vlažnost 32 ± 5 %, ventilatorji izklopljeni). Za test zanesljivosti sensorja so udeleženci laboratorij obiskali dvakrat v razmiku enega tedna. Pri prvem in drugem obisku so izvedli enako vadbo pod enakimi pogoji: 5 minut ogrevanja, sledilo je 60 minut kolesarjenja pri konstantni obremenitvi (SS). Na Sliki 2 je prikazana povprečna vrednost in standardna deviacija T_c vseh udeležencev pri prvem (rožnata) in drugem (modro) obisku. Kot je razvidno, se je senzor CORE izkazal za sprejemljivo veljavnega. Po ogrevanju so bile razlike v T_c med prvem in drugim obiskom minimalne.



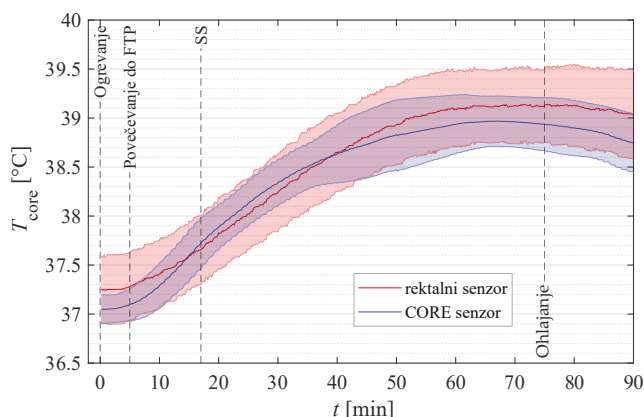
Slika 2. Povprečna temperatura telesnega jedra, določena s senzorjem CORE, med prvo (rožnata) in drugo (modro) raziskavo; senčeni območji predstavljata standardno deviacijo

V prvi raziskavi smo poleg zanesljivosti testirali tudi veljavnost senzorja CORE pri nizki do srednji toplotni obremenitvi. Za testiranje veljavnosti senzorja so bile vrednosti senzorja CORE primerjane z vrednostmi iz rektalnega senzorja (MSR, Seuzach, Switzerland). Kot je razvidno iz Slike 3, je senzor CORE precenil "pravo" vrednost, izmerjeno z rektalnim senzorjem. V študiji je bilo tudi določeno, da je še sprejemljiva razlika med rektalnim senzorjem in senzorjem CORE 0,3 °C, kot je bilo že prej definirano v literaturi. Torej, če je razlika med izmerjeno temperaturo s senzorjem CORE in rektalnim senzorjem manjša od 0,3 °C, lahko senzor označimo kot veljaven, v nasprotnem primeru pa kot neveljaven. Meritve so pokazale, da je bila razlika pri približno 50 % vseh meritev večja od 0,3 °C.



Slika 3. Povprečna temperatura telesnega jedra, določena z rektalnim senzorjem (rdeče) in senzorjem CORE (modro), pri nizki do srednji toplotni obremenitvi; senčeni območji predstavljata standardno deviacijo

V drugi raziskavi smo testirali veljavnost senzorja CORE pri srednji do visoki toplotni obremenitvi (temperatura zraka v laboratoriju $30,7 \pm 0,7$ °C, relativna vlažnost 39 ± 6 %, ventilatorji izklopljeni). V tej raziskavi je bil protokol naslednji: začetnemu petminutnemu ogrevanju je sledilo kolesarjenje s povečevanjem obremenitve do drugega ventilatornega praga, nato eno uro pri konstantni obremenitvi (SS) ter na koncu ohlajanje. Kot je razvidno iz Slike 4, je senzor CORE na začetku podcenil, nato precenil in potem znova podcenil T_c , ki je bila izmerjena z rektalnim senzorjem. Tudi v tem primeru so meritve pokazale, da je bila razlika pri približno 45 % vseh meritev večja od 0,3 °C.



Slika 4. Povprečna temperatura telesnega jedra, določena z rektalnim senzorjem (rdeče) in senzorjem CORE (modro), pri srednji do visoki toplotni obremenitvi; senčeni območji predstavljata standardno deviacijo

Zaključek

Študija kaže, da so meritve temperature telesnega jedra s senzorjem CORE sprejemljivo zanesljive, saj se vrednost temperature pri ponovljenem poskusu ni bistveno razlikovala. Študija pa ne podpira trditve proizvajalca, da je senzor veljaven. Razlike med meritvami, pridobljenimi z rektalnim senzorjem in senzorjem CORE, so bile večje od vnaprej določenega sprejemljivega praga natančnosti 0,3 °C pri približno 50 % izvedenih meritev. Športniki in trenerji morajo biti previdni zlasti pri meritvah, ki izzovejo relativno visoko T_c (nad 39,5 °C), saj je pri teh temperaturah senzor neveljaven. Prav to zanimivo temperaturo območje T_c pa je povezano z zdravstvenimi težavami (vročinska kap), kar kaže na to, da je uporaba senzorja CORE v teh pogojih vprašljiva z varnostnega vidika, saj senzor pri večini meritev podceni T_c .

Financiranje

Raziskavo sta financirala program Evropske unije za raziskave in inovacije Obzorje 2020 v okviru projekta št. 824984 in Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS) v okviru projekta J5-9350 in P5-0147.

Literatura

1. American College of Sports Medicine, Armstrong, L. E., Casa, D. J., Millard-Stafford, M., Moran, D. S., Pyne, S. W., & Roberts, W. O. (2007). American College of Sports Medicine position stand. Exertional heat illness during training and competition. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(3), 556–572. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31802fa199>
2. Core Body Temperature Monitoring. (b. d.). *CORE body Temperature monitoring device launches in 2020*. <https://twitter.com/corebodytemp/status/1258035688991309826>
3. Ganio, M. S., Brown, C. M., Casa, D. J., Becker, S. M., Yeargin, S. W., McDermott, B. P., Boots, L. M., Boyd, P. W., Armstrong, L. E., & Maresh, C. M. (2009). Validity and reliability of devices that assess body temperature during indoor exercise in the heat. *Journal of Athletic Training*, 44(2), 124–135. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-44.2.124>
4. Gant, N., Atkinson, G., & Williams, C. (2006). The validity and reliability of intestinal temperature during intermittent running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(11), 1926–1931. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000233800.69776.ef>

5. Garrett, A. T., Goossens, N. G., Rehner, N. J., Rehner, N. G., Patterson, M. J., & Cotter, J. D. (2009). Induction and decay of short-term heat acclimation. *European Journal of Applied Physiology*, 107(6), 659–670. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1182-7>
6. Gosselin, J., Béliveau, J., Hamel, M., Casa, D., Hosokawa, Y., Morais, J. A., & Goulet, E. D. B. (2019). Wireless measurement of rectal temperature during exercise: Comparing an ingestible thermometric telemetry pill used as a suppository against a conventional rectal probe. *Journal of Thermal Biology*, 83, 112–118. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.05.010>
7. Johnson, J. (2010). Exercise in a hot environment: The skin circulation. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 20 Suppl 3, 29–39. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01206.x>
8. Knochel, J. P. (1974). Environmental heat illness. An eclectic review. *Archives of Internal Medicine*, 133(5), 841–864.
9. Muniz-Pardos, B., Sutehall, S., Angeloudis, K., Shurlock, J., & Pitsiladis, Y. P. (2019). The Use of Technology to Protect the Health of Athletes During Sporting Competitions in the Heat. *Frontiers in Sports and Active Living*, 1. <https://doi.org/10.3389/fspor.2019.00038>
10. Patterson, M. J., Stocks, J. M., & Taylor, N. A. S. (2004). Sustained and generalized extracellular fluid expansion following heat acclimation. *The Journal of Physiology*, 559(Pt 1), 327–334. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2004.063289>
11. Ruddock, A. D., Tew, G. A., & Purvis, A. J. (2014). Reliability of Intestinal Temperature Using an Ingestible Telemetry Pill System During Exercise in a Hot Environment. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(3), 861–869. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182aa5dd0>
12. Verdel, N., Podlogar, T., Ciuha, U., Holmberg, H.-C., Debevec, T., & Supej, M. (2021). Reliability and Validity of the CORE Sensor to Assess Core Body Temperature during Cycling Exercise. *Sensors*, 21(17), 5932. <https://doi.org/10.3390/s21175932>

dr. Nina Verdel
Mid Sweden University
(Kunskapens väg, 831 25 Östersund, Sweden)
nina.verdel@miun.se