

Utjecaj unilateralnoga ekscentričnog opterećenja na površinsku temperaturu koljena – pilot-istraživanje

Original scientific paper



^{1,2}Vjeran Švaić

^{2,3}Ivan Jurak

^{2,4-6}Miljenko Franić

¹ Sveučilište u Zagrebu Kineziološki fakultet

² Zdravstveno veleučilište Zagreb

³ Sveučilište Alma Mater Europaea - ECM

⁴ KB Dubrava Zagreb

⁵ Sveučilište u Zagrebu Medicinski fakultet

⁶ Fakultet za dentalnu medicinu i zdravstvo Sveučilišta J. J. Strossmayera u Osijeku

T_{sk} oba koljena provedena su infracrvenom termografskom kamerom. Analiza je uključivala usporedbu prosječnih vrijednosti temperature cijelog koljena i specifičnog područja patelarne tetive.

Rezultati su pokazali statistički značajno povećanje T_{sk} na aktivnom koljenu u usporedbi s neaktivnim. Prosječna razlika u T_{sk} koljena iznosila je 0,42 °C ($p < 0,01$), dok je za patelarnu tetivu razlika bila 0,49 °C ($p < 0,01$). Kod većine sudionika (81 % za koljeno, 75 % za patelarnu tetivu) aktivna noga pokazala je višu temperaturu. Utvrđena je i tendencija blagog zagrijavanja T_{sk} neaktivne noge (tzv. kontralateralni učinak), no te promjene nisu bile statistički značajne ($p = 0,46$).

Ovo pilot-istraživanje potvrdilo je da jednonožni čučnjevi ekscentričnog tipa izazivaju akutno i lokalizirano povišenje temperature površine koljena. Rezultati sugeriraju da termografija može biti koristan alat za praćenje akutnih fizioloških promjena i reakcija tijela na trening.

Sažetak

Infracrvena termografija neinvazivna je metoda koja se primjenjuje u medicini i sportu za procjenu fizioloških promjena u tijelu. Omogućuje praćenje promjena površinske temperature kože (T_{sk}) koje mogu upućivati na upalne procese, promjene u cirkulaciji i mišićnu aktivnost. Dosadašnja istraživanja pokazala su da vježbanje utječe na T_{sk} , no nije u potpunosti razjašnjen utjecaj ekscentričnih vježbi, poput jednonožnih čučnjeva, na promjene temperature koljena.

Cilj ovog pilot-istraživanja bio je utvrditi promjene u površinskoj temperaturi prednje strane obaju koljena (aktivnog i neaktivnog) kod zdravih osoba, neposredno nakon izvođenja unilateralnog programa vježbanja ekscentričnog tipa.

U istraživanju je sudjelovalo 16 zdravih studenata (12 žena i četiri muškarca) prosječne dobi 24,9 godina. Sudionici su izvodili tri serije od 15 jednonožnih čučnjeva ekscentričnog tipa (četiri sekunde spuštanja, jedna sekunda podizanja) na nasumično odabranoj nozi (sedam na desnoj, devet na lijevoj). Inicijalna i finalna mjerenja

Ključne riječi: infracrvena termografija, ekscentrični čučnjevi, kontralateralni učinci

Datum primitka: 8.9.2025.

Datum prihvatanja: 2.12.2025.

<https://doi.org/10.24141/1/11/2/3>

Autor za dopisivanje:

Vjeran Švaić

A: Zdravstveno veleučilište, Mlinarska cesta 38, Zagreb

T: +385981768145

E-pošta: vjeran.svaic@zvz.hr

Uvod

Zbog svoje sposobnosti otkrivanja temperaturnih promjena koje mogu ukazivati na fiziološke procese unutar tijela, infracrvena termografija sve se više primjenjuje u medicini i sportu. Njezina upotreba temelji se na prepoznavanju temperaturnih razlika koje mogu ukazivati na prisutnost upalnih procesa, povećanu ili smanjenu cirkulaciju te druge fiziološke promjene u organizmu.¹⁻⁴ Istraživanja potvrđuju da su temperaturne razlike između lijeve i desne strane tijela obično simetrične, dok odstupanja veća od 0,6 do 1,1 °C mogu ukazivati na patološke promjene.⁵ Povećana temperatura često je indikator akutne ozljede zbog vazodilatacije i pojačane upalne reakcije, a smanjena temperatura može ukazivati na kronične ozljede ili smanjenu cirkulaciju.⁶ Posebno se ističe njezina vrijednost u praćenju neuroloških, mišićno-koštanih i ligamentarnih struktura.

Termografija se u sportskoj medicini primjenjuje za procjenu učinkovitosti metoda oporavka, uključujući krioterapiju, masažu i kompresijske terapije.⁷ little is known on their relative benefits and effectiveness to lower tissue temperature. This study was designed to evaluate the effectiveness of IM and CMI on tissue temperature and potential benefit to preventing DOMS. The research encompassed 36 subjects divided into three groups of twelve depending on the form of recovery: ice massage (IM Tehnološki napredak infracrvenih kamera omogućio je sve precizniju analizu termografskih podataka, čime se poboljšava njezina primjena u prevenciji i rehabilitaciji sportskih ozljeda. Omogućuje identifikaciju ranih znakova pretreniranosti kod sportaša, pomažući trenerima i medicinskom osoblju u prilagodbi trenažnih opterećenja.⁸ Također, primjenjuje se u analizi simetrije pokreta i opterećenja kod sportaša u različitim disciplinama, čime se smanjuje rizik od ozljeda i poboljšava sportska izvedba.⁹ Osim toga, upotrebljava se za analizu biomehaničkih opterećenja kod sportaša, optimizaciju tehnike treninga te praćenje oporavka nakon intenzivnih tjelesnih napora.⁹ Nadalje, termografija se primjenjuje za identifikaciju mišićnog zamora, procjenu rizika od ozljeda te kao alat za prilagodbu trenažnih programa na temelju individualnih temperaturnih odgovora sportaša.¹⁰ limiting practicality. Infrared thermography (IRT Kako bi se osigurala pouzdanost i reprodukcija mjerenja, razvijeni su standardizirani protokoli, primjerice The Glamorgan Pro-

tocol zajedno sa smjernicama TISEM, koji definiraju normalnu distribuciju tjelesne temperature kod zdravih osoba te postupke pripreme za što kvalitetniju provedbu termografskog snimanja.^{11, 12} S obzirom na sve veći broj istraživanja i poboljšanja u tehnologiji termografskih kamera, očekuje se da će termografija imati sve važniju ulogu u medicinskoj dijagnostici, sportu i rehabilitaciji, pružajući neinvazivan uvid u fiziološke procese tijela.

Mnoga su istraživanja pokazala kako vježbanje utječe na početno snižavanje temperature kože u samim počecima izvođenja tjelesne aktivnosti, nakon čega slijedi progresivno povećanje temperature.¹³⁻¹⁶ Ovakav obrazac posebice je izražen pri mjerenju temperature kože iznad aktivne muskulature. Escamilla-Galindo i sur. otišli su korak dalje te su utvrdili kratkoročne učinke na površinsku temperaturu kože nakon unilateralnog treninga donjih ekstremiteta.¹⁷ Njihovo istraživanje pokazalo je kako postoje kontralateralni učinci na povećanje temperature kože iznad mišića neaktivne noge 30 i 60 minuta nakon provedenoga jednonožnog programa vježbanja na trenažerima, ali i smanjenje temperature kože iznad koljenog zgloba nakon istog programa. Prema saznanju autora, za sada još nijedno istraživanje nije definiralo razlike u temperaturi kože aktivnog i neaktivnog koljena uslijed primjene ekscentričnih vježbi. Stoga je osnovni cilj ovog istraživanja utvrditi temperaturne promjene u površinskoj temperaturi prednje strane oba koljena uslijed unilateralnog programa vježbanja primjenom jednonožnih čučnjeva ekscentričnog tipa.

Metode

U istraživanju je sudjelovalo 16 (N = 16) zdravih sudionika, studenata Zdravstvenog veleučilišta u Zagrebu, bez povijesti bolnih simptoma u prednjem dijelu koljena. Svi sudionici unaprijed su upućeni u specifičnosti termografskog snimanja prema smjernicama TISEM te su potpisali informirani pristanak za sudjelovanje u istraživanju. Sudionici su upućeni da ne konzumiraju alkoholna pića, kofein i cigarete niti da sudjeluju u sportskim aktivnostima ili terapijskim procesima ujutro prije mjerenja. Bili su obučeni u sportske hlačice radi lakšeg pristupa prednjem dijelu koljena. Tijekom faze

aklimatizacije, koja je trajala 10 minuta, sudionici su dobili upute da udobno sjednu te da ničim ne dodiruju svoja bedra, koljena i potkoljenice. Tijekom faze aklimatizacije ispunili su kratak upitnik koji se odnosio na stanje boli i funkcije koljenog zgloba kako bi se utvrdilo imaju li sudionici određene zdravstvene poteškoće.

Osnovni kriteriji isključivanja bili su povijest ozljede koljenog zgloba, trenutačno postojanje boli ili smanjene funkcije u koljenu, povišena središnja tjelesna temperatura ($\geq 37,5$ °C), patološki termogrami inicijalnog mjerenja i pretilost (osobe s indeksom tjelesne mase ≥ 30). Drugi dio istraživanja sastojao se od inicijalnog mjerenja površinske temperature prednje strane koljena primjenom infracrvene termografske (IC) kamere. Nakon provedenih mjerenja svi sudionici proveli su eksperimentalni program vježbanja izvodeći jednonožne čučnjeve ekscentričnog tipa do razine fleksije koljenog zgloba od 90°. Ekscentrična faza jednonožnog čučnja izvodila se u trajanju od četiri sekunde, dok se koncentrična faza i povratak u početni položaj provodio sunožno u trajanju od jedne sekunde. Eksperimentalni program vježbanja provodio se kroz 15 ponavljanja u tri serije s odmorom između serija u trajanju od 30 sekundi. Kontrolu izvedbe programa vježbanja provodio je jedan od istraživača. Nasumičnim odabirom (izvlačenjem papirića) sudionici su izabrani za izvođenje jednonožnih čučnjeva na lijevoj ili na desnoj nozi. Od ukupnog broja ispitanika sedam ih je izvodilo čučnjeve na desnoj, a devet na lijevoj nozi. Neposredno nakon izvođenja jednonožnih čučnjeva provedeno je finalno snimanje koljena IC kamerom.

Kao osnovni pokazatelji temperature upotrijebljene su minimalne, maksimalne i prosječne vrijednosti specifične interesne regije (ROI) termograma desnog i lijevog koljena (Glamorgan Protocol code: BKA) izražene u Celzijevim stupnjevima (°C), korištenjem pravokutnih okvira¹¹ (slika 1). Uz navedenu interesnu regiju kvantitativna analiza napravljena je i na specifičnom području patelarne tetive. ROI patelarne tetive označen je također pravokutnikom tako da je gornji rub pravokutnika postavljen na donji vrh patele, a donji rub pravokutnika postavljen je na anatomska lokaciju *tuberositas tibiae*, uz širinu pravokutnika od otprilike ¼ širine potkoljenice (slika 2). Sva mjerenja provedena su u zatvorenoj prostoriji bez fluktuacije zraka i izravne Sunčeve svjetlosti kako bi se osigurao minimalan učinak okoline na termografska mjerenja. Radi praćenja dnevnih oscilacija redovito su mjereni podaci o temperaturi i vlažnosti prostorije. Eksperimentalni postupci održavali su se u manjim grupama sudionika u jutarnjim satima. Termo-

grafsko snimanje provedeno je tako da je kamera bila postavljena na udaljenosti 1 m i okomito u odnosu na koljena sudionika. Faktor emisivnosti na kameri bio je postavljen na 0,98.

Za potrebe ovog istraživanja upotrijebljena je termovizijska kamera Testo 868s (Testo SE & Co. KGaA). Prema tehničkim specifikacijama termalna osjetljivost kamere iznosi $\leq 0,08$ °C, a rezolucija je IC prijamnika 160×120 piksela. Za kvantitativnu obradu termograma upotrijebljen je računalni program IRTSoft ver. 5.0 (Testo SE & Co. KGaA). Od preostalih varijabli korišteni su podaci o visini, masi, indeksu tjelesne mase (ITM), središnjoj temperaturi tijela (mjereno u uhu Braunovim uređajem ThermoScan 5 Ear Thermometer - IRT6500) te za žene podatak o broju dana od posljednje menstruacije. Studiju je odobrilo Etičko povjerenstvo Zdravstvenog veleučilišta Zagreb (KLASA:602-03/25-18/320; URBROJ:251-379-10-25-02).

Rezultati

Uvidom u deskriptivne pokazatelje u istraživanju je sudjelovalo 12 žena i četiri muškarca, prosječne dobi $24,9 \pm 2,9$ godina. Preostali deskriptivni pokazatelji sudionika vidljivi su u tablici 1. Prosječna temperatura prostorije pri inicijalnim mjerenjima iznosila je $25,57 \pm 1,80$ °C uz vlagu $73,10 \pm 5,14$ %, a vrijednosti finalnih mjerenja temperature prostorije iznosile su $25,41 \pm 1,13$ °C i vlage $71,46 \pm 4,90$ % (tablica 2). Prosječna temperatura kože (T_{sk}) desnog koljena kod inicijalnog mjerenja iznosila je $30,39 \pm 0,95$ °C (raspon vrijednosti $29,0 - 32,0$ °C), a lijevog koljena $30,44 \pm 0,92$ °C (raspon vrijednosti $29,1 - 32,0$ °C). Prosječne razlike T_{sk} lijevog i desnog koljena bile su $0,09 \pm 0,08$ °C (raspon vrijednosti $0,0 - 0,2$ °C). Primjenom Wilcoxonova testa za zavisne uzorke nisu utvrđene statistički značajne razlike između T_{sk} lijevog i desnog koljena sudionika u fazi mirovanja ($p = 0,10$). Iz inicijalnih pokazatelja T_{sk} lijevog i desnog koljena sudionika može se zaključiti kako je riječ o normalnoj temperaturnoj distribuciji unutar očekivanih okvira zdrave populacije (tablice 3 i 4).

Povezanost između T_{sk} koljena i patelarne tetive pri inicijalnom mjerenju bila je iznimno visoka. Vrijednosti Spearmanova koeficijenta korelacije za desno koljeno i desnu patelarnu tetivu iznose $r = 0,968$ uz razinu

pogreške $p < 0,01$, a za lijevo koljeno i lijevu patelarnu tetivu iznose $r = 0,962$ uz istu razinu pogreške (tablica 5). Prosječna T_{sk} desne patelarne tetive iznosila je $29,85 \pm 0,94$ °C (raspon vrijednosti 28,5 – 31,4 °C), a lijeve patelarne tetive $29,92 \pm 0,91$ °C (raspon vrijednosti 28,7 – 31,5 °C) (tablica 3). Primjenom Wilcoxonova testa za zavisne uzorke nisu utvrđene statistički značajne razlike između T_{sk} lijeve i desne patelarne tetive u fazi mirovanja ($p = 0,08$). Proveli smo Wilcoxonov test i t-test kao dodatnu provjeru, a rezultati su bili jednaki. Budući da se t-test temelji na usporedbi prosjeka, njegova je interpretacija u kontekstu našeg rada smislenija pa u rukopisu zadržavamo rezultate t-testa. Statistički značajne razlike utvrđene su između T_{sk} desnog koljena i istostrane patelarne tetive uz prosječne razlike u vrijednostima 0,54 °C (95 % CI = 0,44 – 0,65) te između T_{sk} lijevog koljena i istostrane patelarne tetive uz prosječne razlike u vrijednostima 0,52 °C (95 % CI = 0,43 – 0,60) uz razinu pogreške $p < 0,01$ (tablica 4). Iz ovih podataka vidljivo je kako je T_{sk} neposredno iznad patelarne tetive niža u odnosu na čitavu regiju koljenog zgloba. Osnovni je razlog to što ROI patelarne tetive zahvaća minimalnu količinu okolnog mišićnog tkiva i većih potkožnih krvnih žila koje mogu direktno utjecati na T_{sk} .

U nastavku analize usporedbe su provedene između aktivne i neaktivne noge neposredno nakon provedbe eksperimentalnog postupka. Na temelju t-testa za zavisne uzorke, prosječna razlika u T_{sk} koljena između aktivne i neaktivne noge iznosila je 0,42 °C (95 % CI = 0,25 – 0,60), dok je prosječna razlika T_{sk} patelarne tetive iznosila 0,49 °C (95 % CI = 0,26 – 0,73). Obje razlike bile su statistički značajne uz razinu pogreške $p = 0,00$ (tablica 4). Od ukupno 16 analiziranih sudionika, kod 13 je utvrđena viša T_{sk} u području koljena aktivne noge u odnosu na suprotnu neaktivnu nogu. Kod dvaju sudionika nije bilo razlike, dok je kod jednog sudionika T_{sk} neaktivne noge bila viša od T_{sk} aktivne noge. Pri analizi T_{sk} patelarne tetive pronađeni su slični uzorci. Kod 12 sudionika T_{sk} patelarne tetive aktivne noge bila je viša. Kod dvaju sudionika razlika nije bila vidljiva, a kod dvaju sudionika T_{sk} neaktivne noge bila viša od T_{sk} aktivne noge. Iz analize termograma može se zaključiti kako je aktivna noga kod 81 % i 75 % sudionika pokazivala topliji obrazac u odnosu na neaktivnu nogu za oba interesna područja (koljeno i patelarna tetiva).

Uz navedene rezultate pokušale su se također utvrditi vrijednosti kontralateralnih učinaka jednonožnih čučnjeva na neaktivnu nogu. Iz rezultata je vidljiva tendencija blagog zagrijavanja T_{sk} koljena neaktivne noge u visini od $0,25 \pm 0,73$ °C te T_{sk} patelarne tetive u

visini od $0,36 \pm 0,71$ °C, no t-testom za nezavisne uzorke nisu utvrđene statistički značajne razlike između T_{sk} neaktivne noge u fazi mirovanja i neposredno nakon provedenoga eksperimentalnog postupka. Autori ipak smatraju kako bi navedeni kontralateralni učinci pokazali statističku značajnost u slučaju nešto većeg broja ispitanika.

Diskusija

Ovi su nalazi u skladu s dosadašnjim spoznajama koje ukazuju na to da vježbanje aktivira stvaranje topline u mišićima i povećava lokalnu cirkulaciju, što posljedično dovodi do povišenja temperature kože iznad aktivnih mišićnih skupina.^{13,14,16} Povećana metabolička aktivnost mišića tijekom ekscentrične kontrakcije jednonožnog čučnja vjerojatno je dovela do povećanog protoka krvi i oslobađanja topline u okolnom području aktivnog koljena i pripadajuće patelarne tetive. U suprotnosti pak s navedenim rezultatima i istraživanjima, Formenti i sur. navode kako su dvije varijante izvođenja čučnjeva do otkaza u njihovu istraživanju utjecala na nižu T_{sk} u području prednje strane natkoljenice.¹⁵ Ovakvi rezultati vidljivi su u drugim istraživanjima kod kojih se vježbanje provodi postupnim i konstantnim povećanjem intenziteta te do granice pri kojoj ispitanici više ne mogu izvoditi vježbe.¹⁸ Očito je da konstantno povećanje zahtjeva za prijenos krvi i kisika u aktivne mišiće, kao i relativno kraće ukupno trajanje vježbanja, ne mogu ostvariti efekt zagrijavanja površine tijela u fazama neposredno nakon provedbe aktivnosti, već je takav efekt zagrijavanja T_{sk} vidljiv tek nakon nešto dužeg perioda oporavka.

Zanimljivo je da su autori također zabilježili tendenciju blagog zagrijavanja T_{sk} koljena i patelarne tetive neaktivne noge, iako te promjene nisu bile statistički značajne na ovom uzorku. Ovaj nalaz upućuje na moguće kontralateralne učinke unilateralnog vježbanja na površinsku temperaturu, što je u skladu s ranijim istraživanjem Escamilla-Galinda i sur., koji su primijetili slične kontralateralne učinke nakon unilateralnog treninga donjih ekstremiteta na trenažerima.¹⁷ Autori sugeriraju da bi se statistička značajnost ovih kontralateralnih učinaka mogla potvrditi na većem uzorku ispitanika. Mogući mehanizmi koji stoje iza ovog fenomena

Tablica 1. Deskriptivni pokazatelji

	N	MIN	MAX	AS	SD
DOB	16	22,00	31,00	24,94	2,89
VIS	16	157,00	187,00	171,56	8,33
MAS	16	50,00	90,00	65,00	11,54
ITM	16	17,00	27,90	21,99	2,71

N – broj ispitanika; MIN – minimalna vrijednost; MAX – maksimalna vrijednost; AS – aritmetička sredina; SD – standardna devijacija; DOB – dob ispitanika; VIS – visina; MAS – masa tijela; ITM – indeks tjelesne mase

Tablica 2. Ambijentalne vrijednosti

	N	MIN	MAX	AS	SD
T _{amb1}	16	23,30	27,10	25,57	1,80
T _{amb2}	16	24,00	26,40	25,41	1,13
RH _{amb1}	16	68,10	79,90	73,10	5,14
RH _{amb2}	16	65,90	77,50	71,46	4,90

N – broj ispitanika; MIN – minimalna vrijednost; MAX – maksimalna vrijednost; AS – aritmetička sredina; SD – standardna devijacija; T_{amb1} – temperatura prostorije inicijalno mjerenje; T_{amb2} – temperatura prostorije finalno mjerenje; RH_{amb1} – vlaga prostorije inicijalno mjerenje; RH_{amb2} – vlaga prostorije finalno mjerenje

Tablica 3. Temperaturne vrijednosti koljena i patelarnih tetiva (inicijalno mjerenje)

	N	MIN	MAX	AS	SD
DKT _{avg1}	16	29,00	32,00	30,39	0,95
LKT _{avg1}	16	29,10	32,00	30,44	0,92
DPT _{avg1}	16	28,50	31,40	29,85	0,94
LPT _{avg1}	16	28,70	31,50	29,93	0,91
RAZ _{DK1LK1}	16	0,00	0,20	0,09	0,08

N – broj ispitanika; MIN – minimalna vrijednost; MAX – maksimalna vrijednost; AS – aritmetička sredina; SD – standardna devijacija; DKT_{avg1} – prosječna temperatura desnog koljena; LKT_{avg1} – prosječna temperatura lijevog koljena; DPT_{avg1} – prosječna temperatura desne patelarne tetive; LPT_{avg1} – prosječna temperatura lijeve patelarne tetive; RAZ_{DK1LK1} – prosječne razlike u temperaturi desnog i lijevog koljena

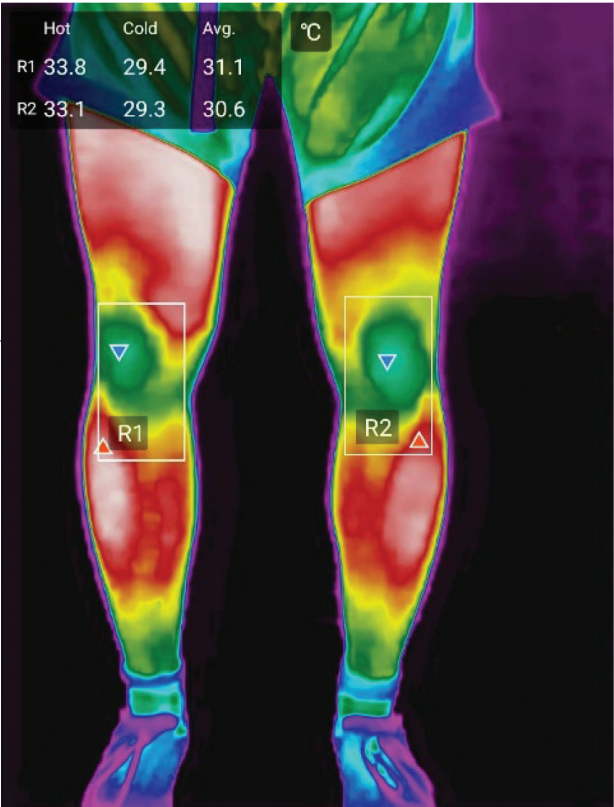
Tablica 4. Parametrijski i neparametrijski testovi razlika za zavisne uzorke

Parovi	t-test						Wilcoxonov test	
	Razlika AS	SD	SP AS	t	DF	p	Z	p
DKT _{avg1} – LKT _{avg1}	-0,05	0,11	0,03	-1,83	15	0,09	-1,628	0,10
DPT _{avg1} – LPT _{avg1}	-0,08	0,21	0,05	-1,44	15	0,17	-1,743	0,08
DKT _{avg1} – DPT _{avg1}	0,54	0,19	0,05	11,26	15	< 0,01	-3,528	< 0,01
LKT _{avg1} – LPT _{avg1}	0,52	0,16	0,04	12,96	15	< 0,01	-3,535	< 0,01
AKT _{avg2} – neAKT _{avg2}	0,43	0,33	0,08	5,19	15	< 0,01	-3,176	< 0,01
APT _{avg2} – neAPT _{avg2}	0,49	0,43	0,11	4,55	15	< 0,01	-3,051	< 0,01

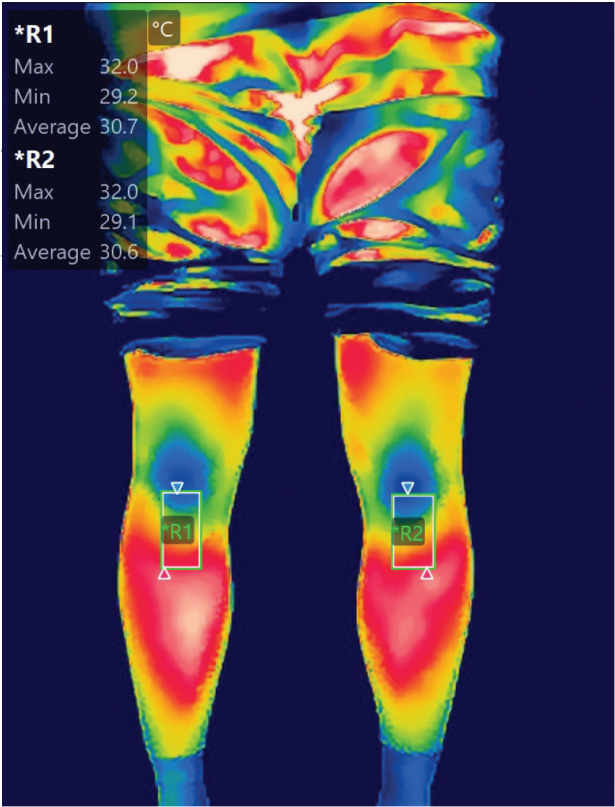
AS – aritmetička sredina; SD – standardna devijacija; SP AS – standardna pogreška aritmetičke sredine; t – vrijednost; DF – stupnjevi slobode; p – vjerojatnost pogreške tipa I; Z – vrijednost; DKT_{avg1} – prosječna temperatura desnog koljena; LKT_{avg1} – prosječna temperatura lijevog koljena; DPT_{avg1} – prosječna temperatura desne patelarne tetive; LPT_{avg1} – prosječna temperatura lijeve patelarne tetive; AKT_{avg2} – prosječna temperatura aktivnog koljena; neAKT_{avg2} – prosječna temperatura neaktivnog koljena; APT_{avg2} – prosječna temperatura aktivne patelarne tetive; neAPT_{avg2} – prosječna temperatura neaktivne patelarne tetive

Tablica 5. Matrica korelacija temperatura koljena i patelarnih tetiva									
		DKT _{avg1}	LKT _{avg1}	DPT _{avg1}	LPT _{avg1}	DKT _{avg2}	LKT _{avg2}	DPT _{avg2}	LPT _{avg2}
DKT _{avg1}	<i>r</i>	1	0,985	0,968	0,959	0,514	0,742	0,551	0,776
	<i>p</i>		< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,04	< 0,01	0,03	< 0,01
LKT _{avg1}	<i>r</i>	0,985	1	0,941	0,962	0,500	0,745	0,509	0,777
	<i>p</i>	< 0,01		< 0,01	< 0,01	0,05	< 0,01	0,04	< 0,01
DPT _{avg1}	<i>r</i>	0,968	0,941	1	0,953	0,552	0,671	0,572	0,727
	<i>p</i>	< 0,01	< 0,01		< 0,01	0,04	< 0,01	0,02	< 0,01
LPT _{avg1}	<i>r</i>	0,959	0,962	0,953	1	0,445	0,605	0,473	0,691
	<i>p</i>	< 0,01	< 0,01	< 0,01		0,08	0,01	0,06	< 0,01
DKT _{avg2}	<i>r</i>	0,514	0,500	0,522	0,445	1	0,719	0,967	0,614
	<i>p</i>	0,04	0,05	0,04	0,08		< 0,01	< 0,01	0,01
LKT _{avg2}	<i>r</i>	0,742	0,745	0,671	0,605	0,719	1	0,726	0,930
	<i>p</i>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01		< 0,01	< 0,01
DPT _{avg2}	<i>r</i>	0,551	0,509	0,572	0,473	0,967	0,726	1	0,686
	<i>p</i>	0,03	0,04	0,02	0,06	< 0,01	< 0,01		< 0,01
LPT _{avg2}	<i>r</i>	0,776	0,777	0,727	0,691	0,614	0,930	0,686	1
	<i>p</i>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	

r – Spearmanov koeficijent korelacije; *p* – vrijednost pogreške; DKT_{avg1} – prosječna temperatura desnog koljena inicijalno mjerenje; LKT_{avg1} – prosječna temperatura lijevog koljena inicijalno mjerenje; DPT_{avg1} – prosječna temperatura desne patelarne tetive inicijalno mjerenje; LPT_{avg1} – prosječna temperatura lijeve patelarne tetive inicijalno mjerenje; DKT_{avg2} – prosječna temperatura desnog koljena finalno mjerenje; LKT_{avg2} – prosječna temperatura lijevog koljena finalno mjerenje; DPT_{avg2} – prosječna temperatura desne patelarne tetive finalno mjerenje; LPT_{avg2} – prosječna temperatura lijeve patelarne tetive finalno mjerenje



Slika 1. Interesna regija koljena



Slika 2. Interesna regija patelarne tetive

u površinskoj temperaturi prednje strane oba koljena zdravih osoba uslijed unilateralnog programa vježbanja ekscentričnog tipa, konkretno jednonožnih čučnjeva. Rezultati su pokazali statistički značajnu razliku u površinskoj temperaturi (T_{sk}) između aktivnog i neaktivnog koljena neposredno nakon provedene vježbe. Konkretno, aktivna je noga kod većine sudionika (81 % za područje koljena i 75 % za patelarnu tetivu) pokazala višu T_{sk} u odnosu na neaktivnu nogu. Prosječna razlika u T_{sk} koljena iznosila je 0,42 °C, dok je za patelarnu tetivu ta razlika bila 0,49 °C.

Ograničenja ovog pilot-istraživanja uključuju relativno mali uzorak ispitanika i činjenicu da su sudionici bili relativno homogeni po dobi i većinom žene. Buduća istraživanja trebala bi uključiti veći i raznovrsniji uzorak kako bi se potvrdili ovi preliminarni nalazi i istražila generalizabilnost rezultata na različite populacije. Također bi bilo korisno provesti mjerenja površinske temperature u više vremenskih točaka nakon vježbanja kako bi se pratio vremenski tijek temperaturnih promjena i bolje razumjeli mehanizmi kontralateralnih učinaka.

Unatoč ovim ograničenjima, ovo pilot-istraživanje pruža prve podatke o promjenama T_{sk} koljena zdravih osoba uslijed jednonožnih čučnjeva ekscentričnog tipa. Rezultati sugeriraju da termografija može biti jedna od metoda za detekciju akutnih fizioloških promjena u koljenu nakon vježbanja te potencijalno koristan alat u praćenju oporavka i adaptacija na trening. Nadalje, naznačeni kontralateralni učinci zaslužuju daljnje istraživanje kako bi se bolje razumjeli mehanizmi i klinički značaj ovih promjena.

Referencije

- Ramirez-GarciaLuna JL, Rangel-Berridi K, Bartlett R i sur. Use of Infrared Thermal Imaging for Assessing Acute Inflammatory Changes: A Case Series. *Cureus* 2022; 14: e28980.
- Girasol CE, Dibai-Filho AV, de Oliveira AK i sur. Correlation Between Skin Temperature Over Myofascial Trigger Points in the Upper Trapezius Muscle and Range of Motion, Electromyographic Activity, and Pain in Chronic Neck Pain Patients. *J Manipulative Physiol Ther* 2018; 41: 350–357.
- Park J-Y, Hyun JK, Seo J-B. The effectiveness of digital infrared thermographic imaging in patients with shoulder impingement syndrome. *J Shoulder Elbow Surg* 2007; 16: 548–554.
- Sillero-Quintana M, Fernández-Jaén T, Fernández-Cuevas I i sur. Infrared Thermography as a Support Tool for Screening and Early Diagnosis in Emergencies. *Journal of Medical Imaging and Health Informatics* 2015; 5: 1223–1228.
- Liu L, Gisselman AS, Tumilty S. Thermal profiles over the Patella tendon in a cohort of non-injured collegiate athletes over the course of a cross-country season. *Phys Ther Sport* 2020; 44: 47–52.
- Cramer MN, Gagnon D, Laitano O i sur. Human temperature regulation under heat stress in health, disease, and injury. *Physiol Rev* 2022; 102: 1907–1989.
- Adamczyk JG, Krasowska I, Boguszewski D i sur. The use of thermal imaging to assess the effectiveness of ice massage and cold-water immersion as methods for supporting post-exercise recovery. *J Therm Biol* 2016; 60: 20–25.
- Marins J, Fernández Cuevas I, Arnaiz-Lastras J i sur. Applications of Infrared Thermography in Sports. A Review. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte* 2015; 15: 805–824.
- Szurko A, Kasprzyk-Kucewicz T, Cholewka A i sur. Thermovision as a Tool for Athletes to Verify the Symmetry of Work of Individual Muscle Segments. *Int J Environ Res Public Health* 2022; 19: 8490.
- Masur L, Brand F, Düking P. Response of infrared thermography related parameters to (non-)sport specific exercise and relationship with internal load parameters in individual and team sport athletes-a systematic review. *Front Sports Act Living* 2024; 6: 1479608.
- Ammer K. The Glamorgan Protocol for recording and evaluation of thermal images of the human body. *Thermology International* 2008; 18: 125–129.
- Moreira DG, Costello JT, Brito CJ i sur. Thermographic imaging in sports and exercise medicine: A Delphi study and consensus statement on the measurement of human skin temperature. *J Therm Biol* 2017; 69: 155–162.
- Chudecka M, Lubkowska A. The use of thermal imaging to evaluate body temperature changes of athletes during training and a study on the impact of physiological and morphological factors on skin temperature. *Hum Mov* 2018; 13: 33–39.
- Fink N, Bogomilsky S, Raz A i sur. Thermographic Changes following Short-Term High-Intensity Anaerobic Exercise. *Life (Basel)* 2023; 13: 2175.
- Formenti D, Ludwig N, Trecroci A i sur. Dynamics of thermographic skin temperature response during squat exercise at two different speeds. *J Therm Biol* 2016; 59: 58–63.
- Weigert M, Nitzsche N, Kunert F i sur. Acute Exercise-Associated Skin Surface Temperature Changes after Resistance Training with Different Exercise Intensities. *International Journal of Kinesiology and Sports Science* 2018; 6: 12–18.
- Escamilla-Galindo VL, Estal-Martínez A, Adamczyk JG i sur. Skin temperature response to unilateral training measured with infrared thermography. *J Exerc Rehabil* 2017; 13: 526–534.
- Merla A, Mattei PA, Di Donato L i sur. Thermal imaging of cutaneous temperature modifications in runners during graded exercise. *Ann Biomed Eng* 2010; 38: 158–163.
- Ammer K. Temperature of the human knee - A review. *Thermology International* 2012; 22: 137–151.

THE EFFECT OF UNILATERAL ECCENTRIC LOADING ON KNEE SURFACE TEMPERATURE - A PILOT STUDY

Abstract

Infrared thermography is a non-invasive method used in medicine and sports to assess physiological changes in the body. It allows for the monitoring of changes in skin surface temperature (T_{sk}) which can indicate inflammatory processes, circulatory changes, and muscle activity. Previous research has shown that exercise affects T_{sk} , but the influence of eccentric exercises, such as single-leg squats, on knee temperature changes is not fully understood. The aim of this pilot study was to determine changes in the skin surface temperature of the anterior aspect of both knees (active and inactive) in healthy individuals immediately after performing a unilateral eccentric exercise program.

Sixteen healthy students (12 women, 4 men) with an average age of 24.9 years participated in the study. Participants performed three sets of 15 single-leg eccentric squats (4 seconds lowering, 1 second lifting) on a randomly selected leg (7 on the right, 9 on the left). Initial and final measurements of T_{sk} for both knees were performed with an infrared thermographic camera. The analysis included a comparison of the average temperature values for the entire knee and the specific area of the patellar tendon.

The results showed a statistically significant increase in T_{sk} on the active knee compared to the inactive one. The average difference in knee T_{sk} was $0,42^{\circ}\text{C}$ ($p < 0.01$), while for the patellar tendon the difference was $0,49^{\circ}\text{C}$ ($p < 0.01$). For most participants (81% for the knee, 75% for the patellar tendon), the active leg showed a higher temperature. A tendency for a slight warming of the T_{sk}

of the inactive leg (the so-called contralateral effect) was also observed, but these changes were not statistically significant ($p=0.46$).

This pilot study confirmed that single-leg eccentric squats cause an acute and localized increase in knee surface temperature. The results suggest that thermography can be a useful tool for monitoring acute physiological changes and the body's reaction to training.

Keywords: infrared thermography, eccentric squats, contralateral effects
