

Termoregulacija u djece tijekom vježbanja

Hren, Doris

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Kinesiology / Sveučilište u Zagrebu, Kineziološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:117:122182>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-26**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Kinesiology, University of Zagreb - KIFoREP](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
KINEZIOLOŠKI FAKULTET

(studij za stjecanje akademskog naziva:
magistar kineziologije u edukaciji i kineziterapija)

Doris Hren

TERMOREGULACIJA U DJECE TIJEKOM
VJEŽBANJA

diplomski rad

Mentor:

izv.prof. dr. sc. Marija Rakovac

Zagreb, rujan, 2022.

Ovim potpisima se potvrđuje da je ovo završena verzija diplomskog rada koja je obranjena pred Povjerenstvom. S unesenim korekcijama koje je Povjerenstvo zahtijevalo na obrani te da je ova tiskana verzija istovjetna električnoj verziji predanoj u Knjižnici.

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Marija Rakovac

Student:

Doris Hren

TERMOREGULACIJA U DJECE TIJEKOM VJEŽBANJA

Sažetak

Dobrobit tjelesne aktivnosti i njezin pozitivan utjecaj na zdravlje dobivaju sve veću popularnost posljednjih godina u općoj populaciji. Poznato je da tjelesna aktivnost ukoliko se provodi redovito može dovesti do unaprijeđenja tjelesnog i psihičkog zdravlja te do sprječavanja niza kardiovaskularnih i metaboličkih bolesti. Tijekom provedbe bilo kakve vrste aktivnosti od iznimne je važnosti održati homeostazu, odnosno ravnotežu organizma kako bi svi sustavi skladno funkcionirali. Neravnoteža u organizmu može se odraziti na izvedbu koja u konačnici može završiti čak i fatalno. Djeca su, kao i odrasli, aktivni sudionici u području tjelesne aktivnosti te je početak ulaska u trening dosta pomaknut i djeca sve mlađa započinju trenažni proces. Obzirom da je organizam djeteta anatomske i fiziološke drugačiji od odraslog, promjene tijekom rasta i sazrijevanja dovode do drugačijeg odgovora organizma na tjelesni napor, nego kod odrasle osobe te takve promjene utječu i na termoregulaciju tijekom odmora i vježbanja. Ovaj rad za cilj ima prikazati što se događa u organizmu djece kada temperatura tijela raste prilikom mišićnog rada, kako se temperatura mijenja u različitim uvjetima okoliša, kako se odražava na zdravstveni status djeteta i kao posljednje, koje su preporuke za vježbanje ovisno o uvjetima u okolišu.

Ključne riječi: djeca, tjelesna aktivnost, očuvanje zdravlja, homeostaza

THERMOREGULATION IN CHILDREN DURING EXERCISE

Abstract

The benefits of physical activity and its positive impact on health have gained increasing popularity in the general population in recent years. It is known that physical activity, if carried out regularly, can lead to improvement of physical and mental health and to decrease of a number of cardiovascular and metabolic diseases. During the implementation of any type of activity, it is extremely important to maintain homeostasis, i.e., the balance of the organism, so that all systems function harmoniously. An imbalance in the body can affect the performance, which can ultimately even end fatally. Children, like adults, are active participants in the field of physical activity, the start of training is quite early, and children start with the training process

at a younger age. Since a child's body is anatomically and physiologically different than an adult's, changes during growth and maturation lead to a different response of the body to physical effort than in adults, and such changes affect thermoregulation during rest and exercise as well. The aim of this thesis is to show what happens in the body of children when the body temperature rises during muscle work, how the temperature changes in different environmental conditions, how this is reflected on the child's health status and, finally, what the recommendations for exercise are, depending on the environmental conditions.

Key words: children, physical activity, health preservation, homeostasis

Sadržaj:

| | |
|---|----|
| 1. UVOD | 6 |
| 2. GRAĐA I FUNKCIJA TERMOREGULACIJSKOG SUSTAVA ČOVJEKA | 7 |
| 3. SPECIFIČNOSTI TERMOREGULACIJE U DJECE..... | 10 |
| 4. TERMOREGULACIJA U DJECE TIJEKOM AKTIVNOSTI/VJEŽBANJA | 14 |
| 5. TERMOREGULACIJA U DJECE TIJEKOM AKTIVNOSTI U NEPOVOLJNIM OKOLIŠNIM UVJETIMA | 15 |
| 5.1. Termoregulacija u djece tijekom tjelesne aktivnosti u uvjetima visoke okolišne temperature | 15 |
| 5.2. Termoregulacija u djece tijekom tjelesne aktivnosti u uvjetima niske okolišne temperature | 17 |
| 6. ADAPTACIJA NA TOPLINSKO OPTEREĆENJE U DJECE..... | 19 |
| 7. MOGUĆI ZDRAVSTVENI RIZICI USLIJED TJELESNE AKTIVNOSTI U NEPOVOLJNIM OKOLIŠNIM UVJETIMA | 20 |
| 7.1. Negativne posljedice toplinskog opterećenja | 20 |
| 7.1.1. Toplinska iscrpljenost | 20 |
| 7.1.2. Mišićni (toplinski) grčevi..... | 20 |
| 7.1.3. Toplinski udar | 21 |
| 7.2. Negativne posljedice izloženosti niskim temperaturama | 22 |
| 7.2.1. Ozeblina | 22 |
| 7.2.2. Hipotermija | 23 |
| 8. PREPORUKE ZA PROVOĐENJE TJELESNE AKTIVNOSTI DJECE U NEPOVOLJNIM TOPLINSKIM UVJETIMA..... | 25 |
| 8.1. Preporuke za uvjete visoke okolišne temperature | 25 |
| 8.2. Preporuke za uvjete niske okolišne temperature | 26 |
| 9. ZAKLJUČAK | 28 |
| 10. LITERATURA..... | 30 |

1. UVOD

Proučavanje ljudske termoregulacije jedno je od najistraživanijih područja u modernoj fiziologiji i medicini, a razlog tome je uloga temperature u normalnim i patološkim stanjima. Direktno ili indirektno gotovo su svi sustavi i organi u ljudskom organizmu uključeni u održavanje konstantne temperature tijela budući da je njihov rad usko povezan s temperaturom unutarnjeg okoliša (homeostazom) (Ibraimov, Akhunbaev i Uzakov, 2021). Tjelesna temperatura može se mjeriti u dubokim tjelesnim tkivima, tzv. »tjelesnoj jezgri«, relativno je nepromijenjena i zadržava se u rasponu od $\pm 6^{\circ}\text{C}$, te putem kože. Za razliku od temperature jezgre koja ostaje nepromijenjena tijekom izlaganja zraku temperature od 10° do 55°C , temperatura kože mijenja se ovisno o temperaturi okoliša. Pojave odstupanja u staničnoj temperaturi dovode do promjene u molekularnim svojstvima što dovodi do smanjene učinkovitosti enzima i promjene difuznog kapaciteta, fluidnosti membrane, a sve zajedno utječe na smanjenu funkciju stanice koja može rezultirati različitim negativnim pojavama, npr. nemogućnošću izvođenja motoričkog zadatka, lošom koordinacijom ili pak gubitkom svijesti (Morrison i Nakamura, 2011). Za normalno funkcioniranje, organizam teži održavati tjelesnu temperaturu u uskom rasponu, odnosno održavati ravnotežu između proizvodnje topline i gubitka topline. To podrazumjeva ravnotežu između: proizvodnje topline metaboličkim putem (brzina metabolizma), skupa "suhih" mehanizama (konvekcija, radijacija i kondukcija) i izmjene topline isparavanjem/znojenjem (evaporacijom) između tijela i okoliša koji ga okružuje. Kada je ta ravnoteža poremećena, tjelesna se temperatura mijenja (Notley i suradnici, 2020). Prilikom mišićnog rada, toplina u tijelu se nakuplja i dolazi do porasta temperature tijela. U svom radu Gleeson (1998) navodi kako pojedinac u dobroj formi tijekom vježbanja visokim intenzitetom oko 80-90% $\text{VO}_{2\text{max}}$ može proizvesti toplinu od 1000 W (u mirovanju proizvodnja topline je oko 70 W) što dovodi do povećanja temperature tijela od 1° svakih 5-8 minuta. Dakle, trening koji traje 15-20 minuta može unutarnju temperaturu tijela približiti opasnim granicama koje dovode do umora i hipertermije. Autor navodi kako problem hipertermije i ozljeda uzrokovanih toplinom nije ograničen samo na prolongirano vježbanje u vrućim uvjetima već je proizvodnja topline izravno povezana s intenzitetom aktivnosti. Dakle, jako naporna aktivnost i u hladnim uvjetima može uzrokovati značajno podizanje temperature.

2. GRADA I FUNKCIJA TERMOREGULACIJSKOG SUSTAVA ČOVJEKA

Ljudi su homeotermni, što znači da je unutarnja temperatura tijela fiziološki regulirana unutar uskih granica, a to stanje održavaju kompleksni termoregulacijski sustavi. Rad termoregulacijskih sustava pokreće se ovisno o tjelesnoj temperaturi koju ne karakterizira jedna vrijednost, već ta vrijednost ovisi o mjestu gdje se temperatura mjeri. Autori tako navode dvije najčešće podjele: 1) mjerenje temperature na vanjskoj ljusci, odnosno koži i 2) mjerenje temperature u unutarnjoj jezgri tijela (Tan i Knight, 2018). Vanjsko mjerenje temperature dosta je varijabilna mjera jer se odnosi na mjerenje temperature na koži na koju utječu mnogi okolišni uvjeti dok je mjerenje unutarnje temperature stabilnije te podrazumjeva središnji živčani sustav i unutrašnje organe (Tan i Knight, 2018). Unutrašnji organi stvaraju veći dio tjelesne topline, a najznačajniji su jetra, mozak i srce, te skeletni mišići tijekom rada. Unutrašnja temperatura kao stabilnija mjera termoregulacijskog sustava regulirana je kombinacijom dva mehanizma: povratnog mehanizma i mehanizma za prosljeđivanje informacija. U kombiniranoj funkciji ta dva mehanizma, važna je i prisutnost detektora na koži koji zamjećuju promjene u temperaturi (Guyton i Hall, 2017). Povratni mehanizam aktivira se kada temperatura jezgre izađe iz definiranog raspona kao što je slučaj tijekom tjelesnog vježbanja. Takve promjene u unutarnjoj temperaturi detektiraju posebni termoreceptori smješteni u mozgu, kralježničkoj moždini i trbušnim organima. Mehanizam za prosljeđivanje informacija aktivira se kada u temperaturi jezgre nema nikakvih promjena pa organizam šalje preventivni odgovor za očekivani toplinski izazov koji slijedi. Takav primjer mehanizma najčešći je kada dođe do promjene temperature zraka koja je zamijećena preko termoreceptora na koži pa termoregulacijski sustav šalje zaštitni odgovor da ne nastupi promjena u unutrašnjoj temperaturi jezgre.

Iako ta dva mehanizma prenose različite informacije, oni ipak zajedno pripadaju najvažnijem području za regulaciju tjelesne temperature, a to je preoptičko područje prednjeg dijela hipotalamusa (Tan i Knight, 2018). Preoptičko područje prednjeg dijela hipotalamusa smješteno je u mozgu i ima ulogu „termostata“ koji obrađuje senzorne informacije koje su detektirali središnji i kožni receptori te kao najvažniji centar za regulaciju tjelesne temperature pokreće odgovarajuće reakcije organizma kao što su povećani dotok krvi u kožu i pokretanje znojenja u svrhu većeg gubitka topline i ograničenog daljnjeg porasta tjelesne temperature. Toplina koja je stvorena u mišićima prenosi se na tjelesnu jezgru, a za detekciju porasta temperature odgovorni su termoreceptori smješteni u hipotalamusu (Gleeson, 1998).

Preko tegmentuma mosta i regije *raphe medullaris* eferentni signali koji polaze iz preoptičkog područja hipotalamusa dopiru do leđne moždine iz koje neuroni izlaze iz ventralnog roga, prolaze kroz bijeli *ramus communicans* i formiraju sinapsu u simpatičkom gangliju. Nadalje, simpatičko postganglijsko nemijelinizirano vlakno putem sivog *ramus communicans* pristupa spinalnom živcu, dopire do žlijezde znojnice i kao sudomotorni živac se grana izravno u tkivo u kojem se nalaze žlijezde znojnice. Glavni neurotransmitor koji sudjeluje u izlučivanju znoja je acetilkolin. Vežanjem acetilkolina za receptor žlijezde znojnice dolazi do povećanja unutarstanične koncentracije kalcijevih iona. Visoka koncentracija kalcijevih iona uz pasivnu difuziju vode kroz membranu dovodi do veće propusnosti za K^+ i Cl^- ione. Taj je mehanizam kontroliran pomoću natrij-kalij ATP-azne pumpe (Shibasaki i Crandall, 2010).

U preoptičkom području prednjeg dijela hipotalamusa nalazi se tri puta više živčanih stanica osjetljivih na toplinu nego na hladnoću te se pretpostavlja da one imaju ulogu regulatora temperature. Kada dođe do povećanja temperature za otprilike $10^{\circ}C$ aktiviraju se živčane stanice osjetljive na toplinu te je odašiljanje impulsa 2 do 10 puta jače. Vrijedi i obrnuto, ukoliko dođe do sniženja tjelesne temperature dolazi do veće aktivnosti živčanih stanica osjetljivih na hladnoću (Guyton i Hall, 2017).

Glavni nusproizvod metabolizma je toplina koja se različitim mehanizmima prenosi s čovjeka u okoliš, a količina izadavanja topline ovisi o dva čimbenika: 1) brzini proizvodnje topline od mjesta nastanka u tjelesnoj jezgri do kože i 2) brzini kojom se iz kože prenosi u okoliš (Guyton i Hall, 2017).

Prijenos topline kreće iz jezgre do kože putem krvi i ovisi o stupnju vazokonstrikcije arteriola, koja je pod nadzorom simpatičkog živčanog sustava, i arterijsko-venskoj anastomozi koja opskrbljuje venske spletove. Toplina se iz kože izdaje u okoliš putem jednog od 4 mehanizma: kondukcija (vođenje), konvekcija, radijacija i evaporacija (isparavanje) (Guyton i Hall, 2017).

Kondukcija (vođenje) uključuje prijenos topline s jednog čvrstog materijala na drugi putem izravnog molekularnog kontakta. Toplina može biti izgubljena iz tijela kada je koža u kontaktu s hladnim predmetom i obrnuto. Ukoliko je vrući predmet pritisnut na kožu, toplina se s predmeta prenosi na kožu i temperatura tijela raste. Ukoliko je kontakt između kože i predmeta prolongiran, toplina se s površine kože prebacuje u krv koja prenosi toplinu do jezgre, podižući unutrašnju temperaturu. Tijekom aktivnosti, kondukcija je obično zanemariva kao izvor

izmjene topline zato što je kontakt između površine tijela i predmeta (npr. kontakt stopala i vrućeg igrališta) kratak (Tan i Knight, 2018).

"Konvekcija je najčešći način prenošenja topline u tekućinama i plinovima, odvija se strujanjem fluida i premještanjem fluida s mjesta na mjesto" (Struna, 2022a). Konvekcija je bitna svakodnevno jer iz metabolizma uklanja toplinu koja je proizvedena tijekom odmora i vježbanja sve dok je temperatura zraka niža od temperature kože.

Radijacija je uz konvekciju tijekom mirovanja glavna metoda ukljanjanja topline iz tijela. Tijekom normalne sobne temperature između 21° i 25°C, ako je tijelo bez odjeće, 60% topline izgubi se radijacijom. Kada je temperatura objekata koji se nalaze u neposrednoj blizini veća nego ona na koži, tijelo prima temperaturu putem radijacije (Kenney, Wilmore i Costill, 2015).

I konačno, posljednji i najbitniji način izdavanja topline tijekom vježbanja je evaporacija. Do evaporacije dolazi kada je temperatura okoliša veća od temperature tijela pa dolazi do obrnutog procesa – umjesto otklanjanja topline putem radijacije i konvekcije, tijelo prima toplinu preko ta dva mehanizma pa je jedini način na koji će se osloboditi topline isparavanje, odnosno evaporacija (Guyton i Hall, 2017). Za održavanje homeostaze, gubitak topline preko isparavanja je ključan bez obzira na dob.

3. SPECIFIČNOSTI TERMOREGULACIJE U DJECE

Osamdesetih godina prošlog stoljeća, autor Oded Bar-Or objavio je značajan rad pod nazivom "Climate and the exercising child" (Bar-Or, 1980). Tadašnji broj relevantnih članaka na temu termoregulacije u djece bio je iznimno malen. Na PubMed bazi pretragom ključnih riječi "termoregulation AND heat AND exercise" do 1980. godine moglo ih se pronaći svega 8, dok je ta tema u odraslih bila obrađena u oko 86 radova.

Čak i kada je broj članaka, tj. broj saznanja bio malen, postojali su snažni dokazi da je termoregulacija kod djece dosta različita u odnosu na odrasle većeg toplinskog kapaciteta. U sljedećim godinama, nekoliko je radova dokazalo da na termoregulaciju može utjecati i proces sazrijevanja, a ne samo fizički rast kako se mislilo početkom 80-ih (Falk i Dotan, 2008).

U svom temeljnom radu te na temelju nekoliko drugih istraživanja, Bar-Or je zaključio da postoji nekoliko osnovnih razlika koja mogu ugroziti termoregulaciju u djece u odnosu na odrasle. To se prije svega odnosi na morfološke razlike koje se mijenjaju kada je riječ o pasivnoj izmjeni topline između tijela i okoliša, fiziološke razlike koje se odnose na kontrolu vazodilatacije i znojenja te razlike u omjeru vanjskog rada koji je izvršen prema stopi utroška energije (Notley i suradnici, 2020). Do danas je broj dokaza značajno narastao te autori navode kvalitativne i kvantitativne promjene koje se događaju tijekom rasta i sazrijevanja te se mogu odraziti na termoregulaciju. Generalno, te promjene uključuju morfološku i metaboličku sastavnicu, endokrini i kardiovaskularni sustav te mehanizam znojenja koji je pod nadzorom hipotalamusa.

Evaporacija je ključan mehanizam za održavanje homeostaze i otpuštanje topline iz tijela. Prema mnogim autorima, evaporacija se navodi kao glavna razlika u karakteristikama između djece i odraslih kada je riječ o termoregulaciji. U djece prije puberteta taj mehanizam još nije razvijen. Tijekom vježbanja na visokim temperaturama, djeca izlučuju manje znoja po žlijezdi budući da su one kod djece manje i imaju manju kolinergičnu osjetljivost (Shibasaki, Inoue i Kondo, 1997).

Broj žlijezda znojnica u ljudi, raspoređenih po cijelom tijelu, kreće se između 1,6 i 4 milijuna. Nakon treće godine života broj žlijezda ostaje fiksni i ne dolazi do stvaranja novih. Tijekom rasta i sazrijevanja tijelo osim što povećava svoju površinu, adaptira se na toplinu te dolazi do

ubrzavanja kolinergičnog podražaja žlijezda znojnice koji se javlja istodobno s bržim podražajem prema perifernom živčanom sustavu. Stopa znojenja može dovesti do promjene u gustoći žlijezda u tijelu koje se aktiviraju toplinom prilikom izlučivanja znoja pa dolazi do hipertrofije, odnosno žlijezde se mijenjaju u veličini (Shibasaki i Crandall, 2010).

Upravo taj mehanizam Shibasaki, Inoue i Kondo (1997) opisali su kao glavnu razliku između djece i odraslih kada je riječ o termoregulaciji. Provodili su istraživanje kojim su nastojali otkriti što se nalazi u osnovi nerazvijenog mehanizma koji uzrokuje znojenje. Istraživanje su provodili na 8 dječaka koji su bili u predpubertetu (7-11 godina) i 11 muškaraca (21-25 godina), a ispitanici su bili izloženi testu toplinskog opterećenja koji je trajao 60 minuta. Test se izvodio u standardnim okolišnim uvjetima (25°C, 45% vlažnosti) na način da su ispitanici uranjali potkoljenice u vodu koja je bila ugrijava na 42°C. Tijekom testa mjerena je rektalna temperatura (T_{re}), temperatura kože i lokalno znojenje na prsima, leđima, podlakticama i bedrima, te učestalost izbijanja znoja (pokazatelj aktivnosti centralnog sudomotornog sustava). Rezultati koje su dobili ukazuju da manje znojenje kod dječaka može biti posljedica nedovoljno razvijenog perifernog mehanizma koji uključuje žlijezde znojnice i periferna tkiva, a ne smanjene aktivnosti središnjeg sustava u sudomotornoj funkciji.

Postoji nekoliko zaključaka različitih autora koje su Gomes i suradnici (2013) naveli u svom radu, a odnose se na proizvodnju znoja u žlijezdama i njihovu sekreciju:

- sekretorni udio koji se izlučuje ovisi o veličini žlijezde
- veličina žlijezde znojnice i brzina znojenja su u pozitivnoj korelaciji
- dob i visina mogu biti povezani s veličinom žlijezde znojnice
- hipertrofija žlijezde znojnice povezana je s pojačanim kolinergičkim podražajem tijekom rasta i sazrijevanja, no odgovori perifernih žlijezda znojnice mogu reagirati i na andrenergičke podražaje
- nedostatak lučenja testosterona prije puberteta može utjecati na stopu znojenja u muške i ženske djece
- u žlijezdama znojnicama u djece otkriven je niži glikolitički metabolizam što se može odnositi na smanjenu proizvodnju znoja (Gomes, Carneiro-Junior i Marins, 2013).

Tijekom aktivnosti, metabolička proizvodnja topline je proporcionalna aktivnosti skeletnih mišića koji su u korelaciji s tjelesnom masom. Površina tijela ima značajnu ulogu u izmjeni

topline između tijela i okoliša i ključni je faktor u izdavanju topline. Bez obzira na njihovu tjelesnu masu, omjer površine i mase djeteta dobi 8 ili 9 godina može biti veći nego kod odrasle osobe za 40%. Veći omjer površine tijela i mase kod djece omogućit će im da se u toplom ili neutralnom okruženju više oslanjaju na gubitak topline suhim mehanizmima (konvekcija, radijacija i kondukcija), a manje isparavanjem odnosno evaporacijom. Kada je gradijent temperature koža-zrak veći, više se topline izmijeni između tijela i okoliša. Kada je temperatura u okruženju viša nego temperatura kože, tijelo upija toplinu iz okoline i ne može dovoljno kompenzirati hlađenjem dok u hladnijim uvjetima tijelo troši toplinu i ne može je stvoriti samo metaboličkim putem. Kako tijekom rasta i sazrijevanja dolazi do povećanja svih dimenzija u ljudskom tijelu to dovodi do smanjenja omjera između površine i mase tijela te posljedično utječe na izdavanje ili očuvanje topline u ekstremnim uvjetima (Falk, 1998).

Prag znojenja odnosno središnja temperatura na kojoj počinje znojenje viša je kod djece u određenim uvjetima okoline nego kod odraslih (Araki, Toda i Matsushita, 1979). Tijekom jednakog opterećenja (VO_2), djeca pokazuju nešto manje vrijednosti u minutnom volumenu srca nego odrasli.

U radu svom radu Falk (1998) navodi kako je većina literature koja spominje hormonalne razlike između djece i odraslih, a da se odnosi na termoregulaciju, usredotočena na dva hormona koja su povezana sa spolnim razvojem. To su testosteron i prolaktin. Istraživanje koje se provodilo 60-ih godina prošlog stoljeća na odraslim muškarcima dobi između 70 i 80 godina pokazalo je da su injekcije testosterona koje su im bile aplicirane pokazale sudoriferni učinak (Falk, 1998).

U istraživanju Rees i Shuster (1981) proučavala se razlika stope znojenja kod muškaraca i žena prije i nakon puberteta kao odgovor na androgene i anti-androgene hormone koji reguliraju razvoj spolnih karakteristika. Uočeno je da je u muškaraca stopa znojenja bila dvostruko veća nego u žena, da se razlika nije pojavila kod djevojčica i dječaka u predpubertetu te da primjena androgena i anti-androgena kod žena i muškaraca nije stimulirala odnosno povećala stopu znojenja (Rees i Shuster, 1981). Hormon prolaktin povezan je s osmoregulacijom te ima utjecaj na razinu elektrolita u znoju kod muških osoba koje se bave aktivnošću tijekom vrućine (Falk, 1998).

U tablici 1 sažeto su prikazane tjelesne i fiziološke razlike između djece i odraslih koje utječu na termoregulaciju.

Tablica 1. Tjelesne i fiziološke razlike između djece i odraslih koje utječu na termoregulaciju

| <u>Razlike</u> | <u>Utjecaj na termoregulaciju</u> |
|--|---|
| Fiziološke | |
| Veća potrošnja kisika za kretanje | Veća proizvodnja metaboličke topline po kg tjelesne mase |
| Manji maksimalni minutni volumen srca | Kompromis između perifernog, mišićnog i središnjeg živčanog sustava |
| Manja osjetljivost žlijezda znojnice | Viši prag znojenja, dulje vrijeme od početka znojenja, niska stopa znojenja |
| Manji anaerobni metabolizam žlijezda znojnice | Niska stopa znojenja |
| Manji odgovor prolaktina na vježbanje na vrućini | Učinak na sastav elektrolita u znoju |
| Tjelesne | |
| Veći omjer mase i površine | Povećano primanje topline u vrućem okruženju, povećano izdavanje topline u toplom i hladnom |
| Manji volumen krvi po površini tijela | Kompromis između perifernog, mišićnog i središnjeg živčanog sustava |
| Manje žlijezde znojnice | Niža sekrecija žlijezda znojnice |

4. TERMOREGULACIJA U DJECE TIJEKOM AKTIVNOSTI/VJEŽBANJA

“Tjelesna aktivnost je pojam koji opisuje svako tjelesno kretanje koje zahtijeva bilo koji oblik mišićne kontrakcije i rezultira povećanjem energijskog utroška iznad onog u mirovanju” (Mišigoj-Duraković i suradnici, 2018).

Znanstvenici i brojni stručnjaci iz područja kineziologije pokušavaju staviti naglasak na važnost povezanosti između tjelesne aktivnosti i zdravlja kod djece i odraslih osoba. To uključuje ne samo smanjen adipozitet već i poboljšanje u pokazateljima kardiovaskularnog i mišićno-koštanog zdravlja. Uvjeti u kojima se provodi vježbanje razlikuju se tijekom godine pa je tako i odgovor organizma drugačiji. Obzirom na vidljive razlike u karakteristikama između djece i odraslih, može se zaključiti da se odgovor organizma na neki stres, u ovom slučaju tjelesno vježbanje, jasno razlikuje. No, godinama unazad, mnogi znanstvenici su imali sukobljena mišljenja uspoređujući termoregulacijski sustav djece i odraslih. Prijašnja istraživanja upućivala su da djeca tijekom vježbanja imaju manju sposobnost regulacije tjelesne temperature, veće naprezanje kardiovaskularnog sustava te manju toleranciju na toplinsko opterećenje u odnosu na odrasle.

Rezultati istraživanja koje se provodilo između djece (djevojčice i dječaci u dobi između 9 i 12 godina) i odraslih jednakog relativnog intenziteta vježbanja uz minimalnu dehidraciju ukazali su na sličnu kožnu i rektalnu temperaturu, kardiovaskularni odgovor te sličnu toleranciju topline (Bergeron i suradnici, 2011).

5. TERMOREGULACIJA U DJECE TIJEKOM AKTIVNOSTI U NEPOVOLJNIM OKOLIŠNIM UVJETIMA

5.1. Termoregulacija u djece tijekom tjelesne aktivnosti u uvjetima visoke okolišne temperature

U literaturi autori navode da ne postoje velike razlike između djece i odraslih kada je u pitanju tjelesno vježbanje u uvjetima normalne temperature zraka. No, stavimo li djecu pod opterećenje u uvjete visoke temperature, odgovor organizma tijekom rasta i sazrijevanja u djece je nešto drugačiji.

Fiziološke promjene koje se događaju u djece su već spomenute i stavljaju ih u nepovoljniji položaj u termoregulacijskom smislu. One uključuju nižu stopu znojenja po žlijezdi znojnice u odnosu na odrasle, manji minutni volumen srca, veću koncentraciju mliječne kiseline u znoju i druge. No, neke od razlika odnose se na praktični učinak tijela i imaju veliku važnost kao odgovor na tjelesnu aktivnost te samu dobrobit i zdravlje djeteta. Djeca tijekom vježbanja proizvode veću metaboličku toplinu, stopa aklimatizacije je niža, manje toleriraju napor te se uslijed dehidracije povećava unutarnja temperatura tijela. Takve reakcije organizma prisutne su u sve djece, no poseban je naglasak na djeci koja boluju od nekih bolesti te samim time imaju veći rizik za ozljedu ili bolest tijekom vježbanja u uvjetima visoke temperature (Bar-Or, 1994a). Povećana mišićna kontrakcija tijekom aktivnosti dovodi do povećanja metaboličke topline tijela te je i potreba za odvođenjem topline također veća. Kod djece je proizvodnja metaboličke topline po kilogramu tjelesne mase veća u odnosu na odrasle tijekom trčanja i hodanja (Astrand, 1952). Znači, što je dijete manje, izdavanje topline je veće. Također, većom površinom tijela, brzina izmjene topline između okoline i tijela se povećava pa su tako djeca izložena bržem dotoku topline kada je temperatura okoliša viša od temperature kože (Bar-Or, 1994a).

U vrućim okolišnim uvjetima evaporacija predstavlja glavni način za hlađenje tijela kada je temperatura okoliša veća nego temperatura kože. U radu Falk i suradnika (1992) istraživala se reakcija žlijezda znojnice kod vježbanja na vrućini na dječacima u razdoblju predpuberteta, srednjeg puberteta i kasnog puberteta. Cilj rada bio je saznati utječe li rast i sazrijevanje na reakcije žlijezda znojnice tijekom vježbanja. Dječaci su bili podjeljeni u tri skupine (prema Tannerovom kriteriju stidnih dlaka) te su u klimatskoj komori (42°C, 20% relativne vlažnosti

zraka) vozili bicikl na 50% VO_{2max} . Mjerene varijable su uključivale gustoću žlijezda znojnica, srednju površinu kapljica znoja, udio kože prekrivene znojem, rektalnu temperaturu, temperaturu kože, frekvenciju srca i stopu znojenja. Dobiveni rezultati ukazali su da su rast i sazrijevanje popraćeni smanjenom gustoćom žlijezda znojnica aktiviranih toplinom, ali je površina znoja veća budući da je stopa znojenja po žlijezdi veća (Falk i suradnici, 1992).

Kako je redovita tjelesna aktivnost jedna od važnijih sastavnica zdravlja i dobrobiti i kod djece i odraslih, ona se osim u kontroliranim i planiranim uvjetima može provoditi i kao svakodnevna nestrukturirana igra. Takvoj igri djeca su najčešće izložena u vrijeme ljetnih školskih praznika kada postaju više aktivna nego u ostatku godine. Uvjeti u to doba godine za djecu predstavljaju veliki izazov i veliko opterećenje organizma čak i kada temperatura zraka nije previsoka. Upravo takvo istraživanje proveli su McGarr i suradnici (2021) na većem uzorku djece koja su bila uobičajno aktivna mjesecima prije početka testiranja kako bi se prilagodili uvjetima i na taj način poboljšali fiziološku sposobnost izdavanja topline. Također, djeca su bila slobodna mijenjati razine tjelesne aktivnosti bez utjecaja roditelja ili istraživača. Dobiveni rezultati ukazuju da i tijekom slobodne igre u relativno blagim uvjetima djeca pokazuju povećano opterećenje kardiovaskularnog sustava te veće naprezanje organizma izazvano toplinom. U aktivnostima umjerenog i jakog intenziteta došlo je do povećanja unutarnje temperature tijela (svako dijete postiglo je unutarnju temperaturu $\geq 38^{\circ}\text{C}$) i do $1,5^{\circ}\text{C}$ iznad početne vrijednosti unutar prvih 45-60 minuta igre. Tijekom daljnje igre, vrijednosti su bile niže ($\geq 1^{\circ}\text{C}$ iznad osnovne vrijednosti) što se može pripisati i padu aktivnosti tijekom vremena (McGarr i suradnici, 2020). Slični rezultati primjećeni su grupi od 14-ero tjelesno aktivne djece na treningu tenisa koji je trajao dva sata na temperaturi $26,6^{\circ}\text{C}$. Nakon 40-60 minuta treninga, prosječna unutarnja temperatura bila je $38,2^{\circ}\text{C}$ te je do kraja treninga bila na $38,0^{\circ}\text{C}$ (Bergeron, Waller i Marinik, 2006).

Brži porast tjelesne temperature dovodi i do povećanog rizika od ozljeda uzrokovanih toplinom, a niže vrijednosti stope znojenja kod djece javljaju se zbog nerazvijenih perifernih mehanizama što dovodi i do niže kolinergičke osjetljivosti (Gomes i suradnici, 2013). Također, ukupna količina vode u tijelu varira ovisno o površini tijela i razini tjelesne aktivnosti. Tijekom aktivnosti tijelo najviše tekućine izgubi uglavnom putem znojenja što može dovesti do hipohidracije. Takvo stanje tijekom aktivnosti dovodi kardiovaskularni sustav na razinu većeg opterećenja što rezultira smanjenim protokom krvi kroz kožu što dovodi i do niže stope

znojenja. Takvo opterećenje smatra se štetnijim kod djece nego kod odraslih (Fortney, Wenger, Bove i Nadel, 1984).

Nedostatak tekućine u tijelu zbog nedovoljnog unosa vode može biti povezan s kroničnim bolestima i oštećenjem kognitivnih funkcija (Suh i Kavours, 2018). Do nastupa žeđi, sportaši u prosjeku mogu izgubiti 2-3% svoje tjelesne težine što dovodi do toga da je sportska izvedba već narušena (Squire, 1990). Blaga dehidracija dovodi do značajnog smanjenja aerobnih sposobnosti u djece (Wilk, Yuxiu, i Bar-Or, 2002). Rezultati istraživanja o navikama hidracije i prehrane koje su provodili Yeargin i suradnici (2021) u ljetnom kampu na nogometašima u dobi od 10 ± 1 godina potvrđuju slične rezultate ranije provedenih istraživanja. Obzirom da je većina djece bila u blagom stanju hipohidracije prije i nakon treninga, autori apeliraju na bolju edukaciju djece i roditelja kako bi se naglasila važnost hidratacije i naglasila potencijalna zdravstvena dobrobit (Yeargin i suradnici, 2021).

5.2. Termoregulacija u djece tijekom tjelesne aktivnosti u uvjetima niske okolišne temperature

Sinergija tjelesnog vježbanja i visokih okolišnih uvjeta katkad može dovesti do štetnog utjecaja na zdravlje djeteta. Nasuprot tome, tjelesno vježbanje u hladnim uvjetima dovodi do povećanog stvaranja topline u organizmu odnosno termogeneze koja sprječava prekomjerno hlađenje tijela, a nedostatak topline nadoknađuje se pojačanom perifernom vazokonstrikcijom i metaboličkom proizvodnjom topline. Tijekom aktivnosti koje zahtijevaju umjereni i povećani intenzitet u uvjetima niske okolišne temperature, toplina koju stvara metabolizam često je veća nego stopa topline koja je izdana u okoliš. Takva situacija, kada je metabolička proizvodnja topline visoka te dijete razvija znojenje bez obzira na vanjsku temperaturu i odjeću, tipična je, npr. za hokej na ledu. No, javlja se nešto drugačiji odgovor kada su u pitanju aktivnosti u vodi. Provodljivost topline u vodi 25 puta je veća nego u zraku što bi značilo da tijelo 25-30 puta brže gubi toplinu tijekom plivanja nego tijekom trčanja ili vožnje biciklom na jednakim temperaturama (Bar-Or, 1994b).

Jedno od najranijih istraživanja koje su proveli Sloan i Keatinge (1973) pokazalo je da se djeca u tim uvjetima nalaze u nepovoljnijem položaju u odnosu na odrasle. U istraživanju koje se provodilo na dječacima i djevojčicama,iskusnim plivačima, u dobi između 8 i 19 godina uspoređivale su se razlike u fiziološkim reakcijama kod vježbanja u hladnim uvjetima s obzirom

na dob. Dobiveni rezultati ukazali su da većinom najmlađi sudionici imaju pad u temperaturi tijela od 2 ili više °C. Odnosno, brzina kojom se tijelo hladi bila je obrnuto proporcionalna dobi (Sloan i Keatinge, 1973).

Istraživanje na temu termoregulacijskog odgovora na vježbanje u hladnim uvjetima u djece i odraslih proveli su i Smolander i sur. (1992). Iako su rezultati iz prethodnih istraživanja ukazali da je kod djece brže hlađenje temperature jezgre tijela nego kod odraslih, rezultati ovog istraživanja dali su drugačije odgovore. Dječaci su tijekom istraživanja koje je uključivalo boravak u hladnoj komori (20 minuta mirovanje, 40 minuta vožnja biciklergometra na unaprijed određenom intenzitetu 30% VO_{2max}) imali zamjetno povećanje rektalne temperature za razliku od odraslih. Kao kompenzacija na veći omjer površine i mase tijela kod dječaka (320 / 250 cm² /kg), proizvodnja topline po kilogramu tjelesne mase bila je veća što se reflektira na veći unos O₂. Također, dječaci su pokazali efikasniju perifernu vazokonstrikciju udova (što se očituje kroz smanjenje temperature kože) (Araki, Matsushita i Hori, 1980).

Bar-Or (1994b) navodi nekoliko zaključaka koji su dobiveni kao odgovor na različite aktivnosti u hladnom okruženju kod djece:

- tjelesna temperatura jezgre kod dječaka može se održati stabilnom na temperaturi zraka manjoj od 5°C kada se kombinira blaga aktivnost i odmor
- aktivnosti koje se provode u vodi dovode do značajnijeg narušavanja termoregulacije u odnosu na adolescente i odrasle, a temperatura tijela brže pada što je voda hladnija
- tijelo se brže hladi u vodi što je dijete manje
- djetetova sposobnost kompenzacije velikog omjera površine i mase tijela bit će narušena zbog visokog gradijenta između kože i temperature zraka što će rezultirati velikim padom u temperaturi jezgre tijela.

6. ADAPTACIJA NA TOPLINSKO OPTEREĆENJE U DJECE

„Adaptacija u medicini, senzorna adaptacija, prilagođavanje osjetila i živčanih stanica na trajno podraživanje, koje se nakon nekog vremena više ne osjeća“ (Hrvatska enciklopedija, 2022).

Adaptacija ili prilagodba na toplinsko opterećenje uglavnom se postiže procesom prirodne aklimatizacije ili privikavanjem na ponavljano izlaganje toplini. Bolja tjelesna kondicija omogućuje tijelu da se bolje nosi s opterećenjem kada su uvjeti visoke temperature, no u uvjetima niske temperature ne vrijedi isto. Proces privikavanja na toplinu vrlo je sličan između djece, adolescenata i odraslih, no razlika je u brzini prilagodbe (Falk, 1998).

Prednosti aklimatizacije na toplinu tijekom tjelesnog vježbanja su fiziološke promjene koje poboljšavaju termoregulaciju, smanjuju rizik od bolesti, poboljšavaju znojenje i povećavaju protok krvi kroz kožu, snižavaju tjelesnu temperaturu, održavaju ravnotežu tekućina i slično. Adaptacija na izloženost toplini razvije se već nakon prva 4 dana, a ostatak se završi nakon naredna 3 tjedna (Périard, Racinais i Sawka, 2015).

Biološke prilagodbe uključuju integrirane termoregulacijske, kardiovaskularne, metaboličke, molekularne prilagodbe, te prilagodbe vezane za tekućinu i elektrolite (Sawka, Périard i Racinais, 2015). Fiziološke promjene uključuju povećanje volumena plazme, stope znojenja, kožnu vazodilataciju, smanjeno izlučivanje natrija mokraćom, sniženje praga znojenja, smanjen sadržaj elektrolita u znoju te smanjen broj otkucaja srca pri određenom opterećenju (Nichols, 2014). Povećanje intenziteta aktivnosti i više vježbi tijekom dana trebalo bi postupno uvoditi u razdoblje aklimatizacije (Bytomski i Squire, 2003).

U svom radu Inbar (1979) je dokazao da su dječaci između 8 i 10 godine dosegili sličnu razinu privikavanja kao mladići. Obje skupine bile su praćene 2 tjedna s protokolom privikavanja od 3 dana po tjednu. Program je uključivao vježbanje na temperaturi od 43°C i 21% relativne vlažnosti. Iako je razina privikavanja bila slična, dječaci su imali sporiju stopu privikavanja u odnosu na odrasle (Inbar, 1979).

Također, u izvješću Wagnera i sur. nalaze se rezultati koji pokazuju da je razina prilagodbe u periodu od 8 dana aklimatizacijskog protokola koji uključuje vježbanje na vrućini niža kod dječaka u dobi između 11 i 16 godina u usporedbi s muškarcima (Wagner, 1972).

7. MOGUĆI ZDRAVSTVENI RIZICI USLIJED TJELESNE AKTIVNOSTI U NEPOVOLJNIM OKOLIŠNIM UVJETIMA

7.1. Negativne posljedice toplinskog opterećenja

7.1.1. Toplinska iscrpljenost

Toplinska iscrpljenost ili toplinski kolaps javlja se kao česta posljedica djelovanja povećane tjelesne temperature. Stanje u kojem je poremećena termoregulacija, a najizrazitiji znaci su zatajivanje cirkulacije. Maksimalna periferna cirkulacija za cilj ima osloboditi što više topline iz tijela pri čemu središnji živčni sustav ostaje nedovoljno opskrbljen krvlju što dovodi to kolapsa. Stanje kolapsa može nastati naglo, bez nekih jasnih simptoma, a ponekad prethode osjećaj vrtoglavice, glavobolja, vlažna koža, umor, povišena tjelesna temperatura, mučnina ili ubrzan puls (Pećina i suradnici, 2019).

Kao i u većini okolnosti, djeca i stariji su pod uvećanim rizikom mogućeg javljanja ovog stanja. Ukoliko se stanje iscrpljenosti ne prekine progresija simptoma može dovesti i do toplinskog udara. Toplinska iscrpljenost može se pogoršati dehidracijom, a spriječiti se može ukoliko se pojedinac ukloni od izvora toplinskog zračenja. Osobe mogu preventivno djelovati na način da piju dovoljno hladne tekućine i uklone nepotrebnu odjeću radi lakšeg gubitka topline (Kenny i sur, 2018).

7.1.2. Mišićni (toplinski) grčevi

Prema definiciji, mišićni (toplinski) grčevi su bolni grčevi u osoba koje su znojenjem izgubile mnogo soli kao posljedica teških tjelesnih aktivnosti pri visokim temperaturama (Struna, 2022b). Nastaju u onim mišićnim skupinama koje su najviše opterećene tijekom nekog rada te je njihovo trajanje između 1 i 3 minute. Pojava grčeva je nagla i bez prethodnih simptoma (Pećina i suradnici, 2019).

Godinama znanstvenici pokušavaju definirati etiologiju i fiziološki nastanak te pojave. U ukupno oko šezdesetak radova novija literatura usredotočena je na dva moguća mehanizma: mehanizam dehidracije i neuromuskularni mehanizam. Pregledom literature zaključak je da neuromuskularna hipoteza može pobiti hipotezu o dehidraciji za koju se smatralo da je okidač

mišićnih grčeva. Naime, trenutni dokazi upućuju da je tijekom grča akcijski potencijal koji je generiran u somi motoneurona vjerojatno praćen neravnotežom između rastućeg ekscitacijskog poticaja iz mišićnog vretena i padajućeg inhibicijskog djelovanja Golgijevog tetivnog aparata (Giuriato, Pedrinolla, Schena i Venturelli, 2018).

7.1.3. Toplinski udar

Od samih početaka čovječanstva bilježe se zapisi o toplinskom udaru, no, tijekom posljednjih desetljeća stopa incidencije se povećala. Toplinski udar karakterizira potpuno zatajenje termoregulacije pri čemu se organizam više ne može braniti te znojenje u potpunosti prestaje. Primjer je tropska klima u kojoj je udio vlage visok, znoj s kože ne isparava i organizam se pregrijava (Pećina i suradnici, 2019). Takvo stanje pojavljuje se kada se temperatura tijela podigne iznad kritične granice koja je između 40°i 42°C. Simptomi koji se javljaju uslijed toplinskog udara su: mučnina, vrtoglavica, osoba je u stanju delirija, a ukoliko se temperatura ne snizi dolazi i do gubitka svijesti (Guyton i Hall, 2017).

Laitano i suradnici (2019) navode dvije klasifikacije toplinskog udara:

1. Klasični toplinski udar
2. Toplinski udar tijekom aktivnosti

Klasični toplinski udar javlja se u mirovanju i vezan je za rizične skupine kao što su djeca i stariji. Toplinski udar tijekom aktivnosti javlja se kod profesionalnih i rekreativnih sportaša. (Laitano i suradnici, 2019). Vodeći je uzrok smrti među sportašima tijekom aktivnosti (Howe i Boden, 2007).

Djeca su više podložna toplinskim ozljedama nego odrasli iz nekoliko razloga: imaju veći omjer površine i tjelesne mase u odnosu na odrasle što dovodi do veće izmjene topline između kože i okoline, stopa znojenja je manje u odnosu na odrasle, brzina aklimatizacije je sporija, odgovor djece na nadoknadu tekućine također je manji u odnosu na odrasle kod dugotrajnog vježbanja, odnosno nalaze se pod većim rizikom od dehidracije. Također, djeca koja boluju od neke bolesti nalaze se pod povećanim rizikom nastanka toplinske ozljede. Upotreba nekih lijekova može poremetiti termoregulaciju i povećati proizvodnju topline. Primjer su lijekovi za liječenje bolesti štitnjače i simpatomimetici koji pojačavaju aktivnost simpatikusa. Lijekovi koji dovode

do smanjenog znojenja su antikolinergici koji utječu na kontrakciju i opuštanje mišića te antihistaminici koji se koriste se u liječenju alergija. Haloperidol za smirenje pak smanjuje žeđ (Bytomski i Squire, 2003). Čimbenici rizika za toplinski udar tijekom aktivnosti mogu biti unutarnji i vanjski. Unutarnji čimbenici uključuju prijašnji toplinski udar, nedostatak aklimatizacije, lošu razinu tjelesne spremnosti, neprikladnu odjeću i ostalo. Medicinska stanja koja mogu biti predispozicija su pretilost, dijabetes melitus, hipertenzija, cistična fibroza i dr. (Armstrong i suradnici, 2007).

7.2. Negativne posljedice izloženosti niskim temperaturama

7.2.1. Ozeblina

Ozeblina ili smrzotine pripadaju ozljedama koje su nastale smrzavanjem i hladnoćom. Rezultat izlaganja hladnoći je oštećenje tkiva kada je temperatura okoliša ispod 0°C. Svaki dio kože koji je izložen okolišu sklon je ozeblinama. Osobe kod kojih nastupe ozeblina nalaze se pod visokim rizikom od smanjenog protoka krvi kroz kožu, odnosno dolazi do ishemije tkiva ili pak dolazi do potpunog prekida krvi unutar tkiva, odnosno nekroze. Ozljede se javljaju kada je tijelo izloženo jakoj hladnoći koja dovodi do vazokonstrikcije. Zbog smanjenog protoka krvi kroz krvne žile toplina ne dolazi do periferije te dolazi do ozeblina. Ruke, uši, nos, usne i stopala najskloniji su ozeblinama. Protok krvi kroz kožu na normalnoj temperaturi je oko 250 ml/min, a tijekom ozeblina protok krvi pada na 20-50 ml/min. Na temperaturi od 0° C protok krvi prestaje. Arterijski sustav se „smrzava“ kasnije od venskog sustava (Basit, Wallen i Dudley, 2022). Populacija koju najčešće zahvaća ova vrsta ozljeda su sportaši iz zimskih sportova na otvorenom kao što su skijaši i planinari.

Djeca i stariji pripadaju posebno osjetljivoj populaciji. Čimbenici rizika mogu biti bihevioralni kao što su manjak odjeće ili korištenje opojnih sredstava. Fiziološki čimbenici su dehidracija, velika nadmorska visina ili hipoksija, te drugi komorbiditeti uz mogućnost hipoksije tkiva: periferna vaskularna bolest i dijabetes (Imray i Oakley, 2005).

Klasifikacija ozeblina ruku i stopala temeljena na mogućim ishodima:

Stupanj 1 - cijanoza, bez predviđene amputacije

Stupanj 2 - cijanoza prisutna na distalnoj falangi, moguće posljedice na noktima ruku ili stopala

Stupanj 3 - cijanoza prisutna na srednjoj i proksimalnoj falangi, amputacija prsta, funkcionalne posljedice

Stupanj 4 - cijanoza prisutna na karpalnim/tarzalnim kostima, amputacija ekstremiteta, funkcionalne posljedice (Cauchy i suradnici, 2001).

U slučaju ako kod sportaša nastanu ozeblina važno je da mu pomoć pruži liječnik ili medicinska sestra. Iako su ozeblina veliki problem tijekom hladnih mjeseci, one su također povezane i s visokim morbiditetom. Većina ozeblina se može spriječiti ukoliko je osoba ili sportaš prethodno dobro educiran. Ukoliko dođe do traume kao što je gubitak funkcije jednog od ekstremiteta uz rano savjetovanje s kirurzima važan je intradisciplinarni pristup fizijatra, fizioterapeuta ili kineziterapeuta. U ekstremnim vrijednostima temperature tkiva, zbog hladnoće dolazi do paralize glatkih mišića u stijenkama krvnih žila te nastupa nagla vazodilatacija. Taj mehanizam predstavlja krajnju obranu od ozeblina (Guyton i Hall, 2017).

7.2.2. Hipotermija

Dugotrajno ili ekstremno izlaganje niskim temperaturama koje nadilaze termoregulacijske sposobnosti organizma najčešće dovodi do opasnog odstupanja od normotermije te nastupa hipotermija (Cheshire, 2016). Hipotermija nastupa kada se središnja tjelesna temperatura spusti na 35°C ili niže te hipotalamus počinje gubiti sposobnost reguliranja tjelesne temperature. Uzroci hipotermije mogu se podijeliti na primarne i sekundarne. Primarni se javljaju kod zdrave populacije kod koje je najčešći razlog nedovoljna količina odjeće ili izloženost ekstremno niskim temperaturama. Sekundarna hipotermija je najčešće posljedica neke bolesti, odnosno bolest je stvorila predispoziciju za nastanak hipotermije (Long i suradnici, 2005).

Prema Turk (2010) i Dugas (2008), potrebno je manje od 30 minuta u vodi na temperaturi od 0°C da nastupi hipotermija. U radu Keatinge i Evans (1961) spominje se kako čovjek na temperaturi od 0,3°C može preživjeti 45 minuta. Smrt tada ne nastaje zbog hipotermije već zbog srčanog udara (Keatinge i Evans, 1961).

Usprkos navedenim negativnim posljedicama izloženosti niskim temperaturama koje su poznate već dugi niz godina, u novijim istraživanjima znanstvenici sve više otkrivaju pozitivne učinke niskih temperatura na zdravlje, iako prvi zapis datira od 400 godina p.n.e. Naime, u zemljama uobičajenih niskih temperatura bez obzira na godišnje doba kao što su Norveška, Estonija, Rusija, Švedska te zemljama polarnih područja održava se vrlo popularno natjecanje “Plivanje u hladnoj vodi“, poznato još i kao “Zimsko plivanje“ i “Plivanje pod ledom“. Takva vrsta plivanja podrazumijeva razbijanje leda ukoliko se led nalazi na vodi te temperaturu vode ispod 5°C. Uz potencijalne rizike koji se mogu dogoditi prilikom izlaganja tako niskoj temperaturi, takva vrsta natjecanja i aktivnosti za znanstvenike predstavlja i mogućnost istraživanja zdravstvenih dobrobiti.

U istraživanjima su praćeni pozitivni učinci na zdravlje te su zabilježene promjene u hematološkim vrijednostima, hormonalnim promjenama i metabolizmu lipida (tablica 2) te rizici koji nastaju prilikom izlaganja na niskim temperaturama Knechtle i suradnici, 2020.

Tablica 2. Izlaganje niskoj temperaturi od 5° C i pozitivan utjecaj na organske sustave čovjeka (prilagođeno prema Knechtle i suradnici, 2020)

| <u>Organski sustav</u> | <u>Pozitivni učinci na određeni organski sustav</u> |
|-------------------------|---|
| Kardiovaskularni sustav | Smanjena razina lipida i niži krvni tlak |
| Endokrini sustav | Smanjenje razine triglicerida Povećana inzulinska osjetljivost Smanjeno djelovanje norepinefrina Povećanje kortizola |
| Psihološka funkcija | Antidepresivni učinak |
| Imunološki sustav | Povećanje broja leukocita Povećanje broja monocita Manji broj infekcija |

Tijekom plivanja u hladnoj vodi, važno je biti svjestan plućnih rizika kao što je nastanak plućnog edema te srčanih rizika koji uključuju pojavu aritmija koje mogu dovesti do srčanog zastoja. Također, sama faza uranjanja tijela u vodu i aklimatizacija, a ne samo temperatura vode, mogu sa sobom nositi rizik (Knechtle i suradnici, 2020).

8. PREPORUKE ZA PROVOĐENJE TJELESNE AKTIVNOSTI DJECE U NEPOVOLJNIM TOPLINSKIM UVJETIMA

8.1. Preporuke za uvjete visoke okolišne temperature

Redovito provođenje tjelesne aktivnosti važno je za psihološki i fiziološki razvoj djece. Osim toga, tjelesna aktivnost ima i značajnu ulogu u ranoj prevenciji kardiovaskularnih bolesti. No, u nepovoljnim uvjetima kao što je visoka temperatura, tjelesna aktivnost može predstavljati jedan od rizičnih čimbenika u razvoju različitih bolesti izazvanih toplinom. Najveći rizik javlja se pri temperaturama iznad 28° C, no ne isključuje se rizik i na nižim temperaturama. Za sigurno bavljenje sportom na visokim temperaturama i izloženosti suncu ne mogu se definirati točna ograničenja i pravila budući da na toleranciju vrućine utječu individualni čimbenici (Lawrenz, 2019). U individualne čimbenike mogu se ubrojiti i pozicije na kojima pojedina djeca igraju. Primjer toga je vratar u hokeju na travi kod kojega zaštitna odjeća spriječava konvektivni gubitak topline i time se povećava rizik od toplinskog udara (Lawrenz, 2019). Dječaci između 9 i 12 godina koji su u odnosu na svoje vršnjake pretili, pokazuju nižu toleranciju prilikom vježbanja na visokim temperaturama u odnosu na mršavije dječake svoje dobi (Dougherty, Chow i Kenney, 2010).

Njemačka komisija za pedijatrijsku medicinu i prevenciju izadala je preporuke da se većinom zdrava djeca i adolescenti mogu sigurno baviti tjelesnim aktivnostima čak i u uvjetima vrućeg i vlažnog vremena. Adekvatna odjeća, hidratacija i privikavanje na vrućinu učinkovite su mjere smanjenja fiziološkog napora i poboljšanja tolerancije uz što veću mogućnost vanjskog hlađenja i broja pauzi za vježbanje. Za prevenciju od toplinskog udara izdana su stručna mišljenja:

- tjelesnu aktivnost premjestiti u doba dana kada je temperatura niža, odnosno ujutro ili navečer
- smanjiti trajanje aktivnosti i povećati trajanje pauzi kao i uvesti veći broj pauza
- 15-30 minuta prije vježbanja sportaši bi trebali konzumirati 5-7 ml tekućine po kilogramu tjelesne mase
- tijekom aktivnosti koja traje više od sat vremena, sportaši trebaju piti 10-13 ml tekućine po kilogramu tjelesne mase
- prilikom intenzivnog Sunčeva zračenja važno je voditi brigu o adekvatnoj zaštiti kože (Lawrenz, 2019).

Od strane Američke pedijatrijske akademije izdane su opće preporuke kojih bi se trebali pridržavati svi sportaši, treneri, profesori i roditelji, a odnose se na vježbanje prilikom vrućih dana:

- školski liječnici trebali bi djelovati na razvoj svijesti o važnosti obrazovanja o provedbi programa aktivnosti koja se provodi u uvjetima visokih temperatura u svih osoba koje sudjeluju u izvođenju bilo rekreacijskog ili natjecateljskog programa. To uključuje trenere i njihovo osoblje, učitelje i sve koji nadgledaju ili pomažu u provođenju aktivnosti
- stručno osoblje mora biti spremno pružiti medicinsku pomoć te svi objekti moraju biti opremljeni odgovarajućom medicinskom opremom
- sva djeca imaju pravo dobiti priliku za sigurnu i postepenu prilagodbu za vježbanje ili drugu tjelesnu aktivnost koja se odvija na vrućini uz postupnu aklimatizaciju (proces se odvija između 10 i 14 dana)
- svako značajno pogoršanje u aktivnosti praćeno promjenama u osobnosti ili drugim kliničkim pokazateljima kao što su bljedilo, crvenilo, pretjerani umor ili povraćanje, osjećaj ekstremne vrućine ili hladnoće znak je za uzburu i prekid aktivnosti
- nadoknada tekućine treba biti lako dostupna svima i konzumirana u redovitim intervalima prije, tijekom i nakon treninga. Održavanje primjerene hidratacije za djecu između 9 i 12 godina otprilike je oko 100 – 250 ml tekućine svakih 20 minuta dok je za adolescente održavanje optimalne hidratacije između 1,0 do 1,5L po satu
- u slučaju ponovljene ili dugotrajne aktivnosti opravdano je uključivanje nadoknade elektrolita kako bi se optimizirala rehidracija (Bergeron i suradnici, 2011).

Prilikom putovanja ili napornog vježbanja na otvorenom, intenzitet i trajanje aktivnosti trebali bi biti niži, a postupak prilagodbe trebao bi se provoditi tijekom 7-14 dana osobito ako je visok udio vlage (American Academy of Pediatrics, 2018).

8.2. Preporuke za uvjete niske okolišne temperature

Kod djece boravak na niskim temperaturama i aktivnosti kao što su sanjkanje, grudanje ili klizanje mogu biti važni s aspekta preporuke da djeca ispune minimalno 60 minuta dnevno u nekoj vrsti aktivnosti, no isto tako takav boravak može značiti i veliku opasnost za njihovo zdravlje, pa i život. Budući da su im, kako je već navedeno, tijela manja, više su izloženi hladnoći nego odrasli, odnosno brže gube toplinu. Obzirom na takvu činjenicu, vrlo je važno

da djeca prije svega budu primjereno odjevena prilikom izlaganja hladnoći (American Academy of Pediatrics, 2017). Djeca su izložena većem riziku od hipotermije nego odrasli zbog razlike u sastavu tijela i antropometriji. Različita odjeća primjenjuje se za tjelesne aktivnosti ovisno o temperaturi okoline i intenzitetu vježbanja. Najčešća je primjena poliesterske odjeće koja osigurava smanjeni gubitak topline (Castellani i suradnici, 2006).

Iako su ozeblina i hipotermija različita stanja, neke mjere prevencije su iste kako bi se dijete zaštitilo: provjera temperature zraka i jačine vjetra, adekvatna odjeća i pauze u igri na hladnom koje su neophodne kako bi se dijete zagrijalo (American Academy of Pediatrics, 2017).

Kada je riječ o vježbanju u vodi, neke od mjera sprječavanja pada temperature, odnosno mjere prevencije su sljedeće:

- voda u kojoj se nalaze djeca treba biti za oko 1°C toplija od vode u kojoj se kupaju odrasli
- kako bi se izbjegla hipotermija, poželjno je da djeca iz vode izađu svakih 15-20 minuta
- mršavija djeca u većem su riziku i treba im prikloniti veću pažnju
- djeca zbog zabave i igre mogu ignorirati osjećaj hladnoće (Bar-Or, 1994b).

9. ZAKLJUČAK

Iako tema termoregulacije kod znanstvenika pobuđuje velik interes, broj radova koji uključuju djecu još je uvijek u odnosu na odrasle manji. Razlog tomu nije poznat, odnosno u literaturi nije naveden, no budući da se radi o rizičnoj skupini, mogao bi se uzeti u obzir i taj aspekt provođenja istraživanja. Različiti autori opisuju niz razlika između djece i odraslih kada se promatra termoregulacija i navode da se djeca nalaze u nepovoljnijem položaju u odnosu na odrasle. Kao ključna razlika u termoregulacijskim mehanizmima između djece i odraslih često se navodi mehanizam evaporacije. Evaporacija je rezultat djelovanja žlijezda znojnice koje su kod djece manje i imaju manju kolinergičnu osjetljivost pa je samim time i znojenje kod djece manje. Iz tog razloga, tijekom vježbanja u vrućim i vlažnim uvjetima djeca mogu biti u nepovoljnijoj poziciji.

No, educiranje trenera i stručnih osoba koje sudjeluju u radu s djecom može dovesti do prevencije i sprječavanja negativnih posljedica izloženosti visokim temperaturama. Pravovremena aklimatizacija djeteta, hidratacija prije, tijekom i nakon treninga uvelike mogu osigurati adekvatnu provedbu trenažnog procesa ili slobodne aktivnosti kao što je igra. Isto tako tijekom hladnijih uvjeta postoje neke dobne razlike između reakcija na tjelesno vježbanje zbog kojih će se djeca naći u nepovoljnijem položaju u odnosu na odrasle. Budući da je dijete manje, a gubitak topline je zbog površine tijela veći, dijete će biti izloženije ozljedama koje nastaju u takvim uvjetima. Također, i u takvim uvjetima važno je da trener i osobe koje su uključene u proces budu dovoljno educirane kako bi se izbjegla pojava ozljeda, te ako i dođe do takve situacije, svaka bi osoba trebala biti sposobna pružiti pomoć.

Dijete nije čovjek u malom te ono prolazi kroz procese i zakonitosti prema kojima se odvija rast i sazrijevanje. Proces treninga je prije svega dinamičan proces u kojem je svaka situacija jedinstvena, a svako je dijete u tom procesu jedinka i organizam za sebe koji je podložan promjenama i adaptaciji. Reakcija svakog djeteta na podražaj može biti drugačija bez obzira na istu kronološku dob te je važnost pravodobne reakcije trenera od velikog značaja kako bi se izbjeglo ono najgore. U posljednjim smo godinama svjedoci velikog broja preranih smrti mladih sportaša, posebno nogometaša, a isto tako i pojave toplinskih bolesti koje nastaju kao posljedica dehidracije, izlaganja visokim temperaturama i slično ili pak izlaganja pre niskim temperaturama zimi. Od iznimne je važnosti podići kolektivnu svijest o mogućim rizicima i

posljedicama prije svega kod opće populacije, a zatim kod djece i mladih sportaša kako bi se svaka sljedeća nesreća spriječila.

10. LITERATURA

- American Academy of Pediatrics (2018). Heat Stress Tips for Exercising Children . Dostupno na: https://www.healthychildren.org/English/health-issues/injuriesemergencies/sports-injuries/Pages/Exercise-Related-Heat-Illness.aspx?gl=1*ta6rw*ga*NDkyOTgyMDYxLjE2NTgzMjQ5MTM.*ga_FD9D3XZVQQ*MTY1ODMyNDkxMy4xLjEuMTY1ODMyNTA1OC4w&ga=2.122421388.688793410.1658324914-492982061.1658324913
- American Academy of Pediatrics (2017). Cold Weather Safety for Children. Dostupno na: <https://www.healthychildren.org/English/safety-prevention/at-play/Pages/Cold-Weather-Safety.aspx>
- Araki, T., Toda, Y., Matsushita, K., & Tsujino, A. (1979). Age differences in sweating during muscular exercise. *Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 28(3), 239-248.
- Araki, T., Tsujita, J., Matsushita, K., & Hori, S. (1980). Thermoregulatory responses of prepubertal boys to heat and cold in relation to physical training. *Journal of Human Ergology*, 9(1), 69-80.
- 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.
- Åstrand, P. O. (1952). *Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age* (Doctoral dissertation, Munksgaard Forlag).
- Bar-Or, O. (1980). Climate and the Exercising Child - A Review. *International journal of sports medicine*, 01(2), 53-65.
- Bar-Or, O. (1994a). Children's responses to exercise in hot climates: implications for performance and health. *Sports Sci Exerc*, 7, 1-5.
- Bar-Or, O. (1994b). Children's Responses to Exercise in Cold Climates: Health Implications. *Sports Science Exchange*, 51(7), 4.
- Basit, H., Wallen, T. J., & Dudley, C. (2022). *Frostbite*. StatPearls [Internet]. Dostupno na <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK536914/>
- Bergeron, M. F., DiLaura Devore, C., Rice, S. G., & Council on Sports Medicine and Fitness and Council on School Health. (2011). Policy statement—Climatic heat stress and exercising children and adolescents. *Pediatrics*, 128(3), e741-e747.

- Bergeron, M. F., Waller, J. L., & Marinik, E. L. (2006). Voluntary fluid intake and core temperature responses in adolescent tennis players: sports beverage versus water. *British Journal of Sports Medicine*, *40*(5), 406-410.
- Bytomski, J. R., & Squire, D. L. (2003). Heat illness in children. *Current sports medicine reports*, *2*(6), 320-324.
- Castellani, J. W., Young, A. J., Ducharme, M. B., Giesbrecht, G. G., Glickman, E., & Sallis, R. E. (2006). Prevention of cold injuries during exercise.
- Cauchy, E., Chetaille, E., Marchand, V., & Marsigny, B. (2001). Retrospective study of 70 cases of severe frostbite lesions: a proposed new classification scheme. *Wilderness & environmental medicine*, *12*(4), 248-255.
- Cheshire Jr, W. P. (2016). Thermoregulatory disorders and illness related to heat and cold stress. *Autonomic Neuroscience*, *196*, 91-104.
- Dougherty, K. A., Chow, M., & Larry Kenney, W. (2010). Critical environmental limits for exercising heat-acclimated lean and obese boys. *European journal of applied physiology*, *108*(4), 779-789.
- Dugas, T.A. (2008). *A Physiological Trip through Cold Water Exposure*. Dostupno na <http://scienceofsport.blogspot.com/2008/01/exercise-in-cold-part-ii.html>
- Falk, B. (1998). Effects of thermal stress during rest and exercise in the paediatric population. *Sports Medicine*, *25*(4), 221-240.
- Falk, B., Bar-Or, O., Calvert, R., & MacDougall, J.D. (1992). Sweat gland response to exercise in the heat among pre-, mid-, and late-pubertal boys. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *24*(3), 313-319.
- Falk, B., & Dotan, R. (2008). Children's thermoregulation during exercise in the heat—a revisit. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, *33*(2), 420-427.
- Fortney, S. M., Wenger, C. B., Bove, J. R., & Nadel, E. R. (1984). Effect of hyperosmolality on control of blood flow and sweating. *Journal of Applied Physiology*, *57*(6), 1688-1695.
- Giuriato, G., Pedrinolla, A., Schena, F., & Venturelli, M. (2018). Muscle cramps: A comparison of the two-leading hypothesis. *Journal of electromyography and kinesiology*, *41*, 89-95.
- Gleeson, M. (1998). Temperature regulation during exercise. *International Journal of Sports Medicine*, *19*(S 2), S96-S99.
- Gomes, L. H. L., Carneiro-Júnior, M. A., & Marins, J. C. B. (2013). Thermoregulatory responses of children exercising in a hot environment. *Revista Paulista de Pediatria*, *31*, 104-110.

- Guyton, A.C., & Hall, J.E. (2017). *Guyton i Hall: Medicinska Fiziologija. 13.izdanje*. Zagreb: Medicinska naklada.
- Howe, A. S., & Boden, B. P. (2007). Heat-related illness in athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, 35(8), 1384-1395.
- Hrvatska enciklopedija (2022). Adaptacija. Dostupno na <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=424>
- Ibraimov, A., Akhunbaev, S., & Uzakov, O. (2022). The Missing Link in the Human Thermoregulation Systems. *Biomedical Research and Clinical Reviews*, 6(4).
- Imray, C. H. E., & Oakley, E. H. N. (2005). Cold still kills: cold-related illnesses in military practice freezing and non-freezing cold injury. *BMJ Military Health*, 151(4), 218-222.
- Inbar, O. (1979). Acclimatization to dry and hot environment in young adults and children 8-10 years old (dissertation). Teachers College, Columbia University.
- Keatinge, W. R., & Evans, M. (1961). The respiratory and cardiovascular response to immersion in cold and warm water. *Quarterly Journal of Experimental Physiology and Cognate Medical Sciences: Translation and Integration*, 46(1), 83-94.
- Kenney, W. L., Wilmore, H. J., Costill, L. D. (2015) *Physiology Sport and Exercise, Exercise in Hot and Cold Environments (str.296-320)*, Sixth Edition. United Kingdom: Human Kinetics
- Kenny, G. P., Wilson, T. E., Flouris, A. D., & Fujii, N. (2018). Heat exhaustion. *Handbook of clinical neurology*, 157, 505-529.
- Knechtle, B., Waśkiewicz, Z., Sousa, C. V., Hill, L., & Nikolaidis, P. T. (2020). Cold water swimming—benefits and risks: A narrative review. *International journal of environmental research and public health*, 17(23), 8984.
- Laitano, O., Leon, L. R., Roberts, W. O., & Sawka, M. N. (2019). Controversies in exertional heat stroke diagnosis, prevention, and treatment. *Journal of Applied Physiology*, 127(5), 1338-1348.
- Lawrenz, W. (2019). Exercise in the heat for children and adolescents. Statement from the Commission for Pediatric Sports Medicine, German Society for Sports Medicine and Prevention. *Dtsch Z Sportmed*, 70(11), 265-269.
- Long III, W. B., Edlich, R., Winters, K. L., & Britt, L. D. (2005). Cold injuries. *Journal of long-term effects of medical implants*, 15(1).
- McGarr, G. W., Saci, S., King, K. E., Topshee, S., Richards, B. J., Gemae, M. R., ... & Kenny, G. P. (2020). Heat strain in children during unstructured outdoor physical activity in a continental summer climate. *Temperature*, 8(1), 80-89.

- Mišigoj-Duraković, M. i suradnici (2018). *Tjelesno vježbanje i zdravlje*. Zagreb: cliZnanje.
- Morrison, S. F., & Nakamura, K. (2011). Central neural pathways for thermoregulation. *Frontiers in bioscience: a journal and virtual library*, 16, 74..
- Nichols, A. W. (2014). Heat-related illness in sports and exercise. *Current reviews in musculoskeletal medicine*, 7(4), 355-365.
- Notley, S. R., Akerman, A. P., Meade, R. D., McGarr, G. W., & Kenny, G. P. (2020). Exercise thermoregulation in prepubertal children: a brief methodological review. *Medicine and science in sports and exercise*, 52(11), 2412.
- Pećina, M. i sur. (2019.) *Sportska medicina*. Zagreb: Medicinska naklada.
- Périard, J. D., Racinais, S., & Sawka, M. N. (2015). Adaptations and mechanisms of human heat acclimation: applications for competitive athletes and sports. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 25, 20-38.
- Rees, J., & Shuster, S. (1981). Pubertal induction of sweat gland activity. *Clinical Science (London, England: 1979)*, 60(6), 689-692.
- Sawka, M. N., Périard, J. D., & Racinais, S. (2015). Heat acclimatization to improve athletic performance in warm-hot environments. *Sports Science Exchange*, 28(153), 1-6.
- Shibasaki, M., & Crandall, C. G. (2010). Mechanisms and controllers of eccrine sweating in humans. *Frontiers in bioscience (Scholar edition)*, 2, 685.
- Shibasaki, M., Inoue, Y., & Kondo, N. (1997). Mechanisms of underdeveloped sweating responses in prepubertal boys. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 76(4), 340-345.
- Sloan, R.E.G., & Keatinge, W.R. (1973). Cooling rates of young people swimming in cold water. *Journal of applied physiology*, 35(3), 371-375.
- Smolander, J., Bar-Or, O., Korhonen, O., & Ilmarinen, J. (1992). Thermoregulation during rest and exercise in the cold in pre- and early pubescent boys and in young men. *Journal of applied physiology*, 72(4), 1589-1594.
- Squire, D. L. (1990). Heat illness: fluid and electrolyte issues for pediatric and adolescent athletes. *Pediatric Clinics of North America*, 37(5), 1085-1109.
- Struna – Hrvatsko strukovno nazivlje (2022a). Konvekcija. Dostupno na <http://struna.ihjj.hr/naziv/konvekcija/8151/>
- Struna – Hrvatsko strukovno nazivlje (2022b). Toplinski grčevi. Dostupno na <http://struna.ihjj.hr/naziv/toplinski-grcevi/18088/>
- Suh, H., & Kavouras, S. A. (2019). Water intake and hydration state in children. *European journal of nutrition*, 58(2), 475-496.

- Tan, C. L., & Knight, Z. A. (2018). Regulation of body temperature by the nervous system. *Neuron*, 98(1), 31-48.
- Turk, E. E. (2010). Hypothermia. *Forensic science, medicine, and pathology*, 6(2), 106-115.
- Wagner, J. A., Robinson, S., Tzankoff, S. P., & Marino, R. P. (1972). Heat tolerance and acclimatization to work in the heat in relation to age. *Journal of Applied Physiology*, 33(5), 616-622.
- Wilk, B., Yuxiu, H., & Bar-Or, O. (2002). Effect of body hypohydration on aerobic performance of boys who exercise in the heat. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(5), S48.
- Yeargin, S., Torres-McGehee, T. M., Emerson, D., Koller, J., & Dickinson, J. (2021). Hydration, Eating Attitudes and Behaviors in Age and Weight-Restricted Youth American Football Players. *Nutrients*, 13(8), 2565.