

Uporaba kapacitivne in uporovne radiofrekvenčne terapije za povečanje temperature tkiva

Use of capacitive and resistive radiofrequency therapy for increasing tissue temperature

Sergeja Bec¹, Daša Weber¹, Renata Vauhnik¹

IZVLEČEK

Uvod: Naprave s kapacitivnim in uporovnim prenosom energije uporabljajo elektromagnetno valovanje od 300 kHz do 1 MHz. Terapija se uporablja za ustvarjanje toplote v različno globokih tkivih. Pri uporabi naprav za radiofrekvenčno terapijo potrebna raven energije in toka za doseg povečanja temperature tkiva ni posebej določena, zato se terapije izvajajo na podlagi izkušenj. Namen pregleda literature je opredeliti učinke radiofrekvenčne terapije na temperaturo tkiva glede na uporabljene parametre. **Metode:** Pregled literature je potekal v podatkovnih zbirkah PubMed, CINAHL in PEDro. **Rezultati:** V pregled je bilo vključenih dvanajst raziskav. Izsledki raziskav kažejo, da terapija, ki vključuje oba načina prenosa energije, pa tudi posameznega, povzroči statistično značilen višji dvig temperature kože od placebo terapije in v primerjavi s kontrolno skupino brez terapije. Višja temperatura kože je ostala tudi do 30 minut po terapiji. Izsledki nakazujejo na dvig temperature tkiva 10 in 20 mm pod površino kože. **Zaključki:** Radiofrekvenčna terapija s kapacitivnim in uporovnim prenosom energije je učinkovita terapija za povečanje toplote tako na površini kot v globini telesa pri zdravih odraslih.

Ključne besede: termoterapija, elektromagnetno valovanje, diatermija, globinsko ogrevanje, kapacitivni in uporovni prenos energije, tecar.

ABSTRACT

Introduction: Capacitive and resistive energy transfer devices use electromagnetic waves from 300 kHz to 1 MHz to generate heat in different tissues. The aim of the literature review is to define the effects of radiofrequency therapy on tissue temperature based on its parameters. **Methods:** A literature review was performed in PubMed, CINAHL and PEDro databases. **Results:** Twelve studies were included in the review. The results show that the therapy including both methods, as well as the individual modalities, statistically significantly increased the skin temperature compared to sham therapy and no treatment. The increased skin temperature lasted up to 30 minutes after treatment. The results also showed an increase in tissue temperature 10 and 20 mm under the skin. **Conclusions:** Radiofrequency therapy with capacitive and resistive energy transfer is an effective form of thermotherapy increasing temperature superficially and in the depth in healthy adults.

Key words: thermotherapy, electromagnetic, diathermy, deep heating, capacitive and resistive energy transfer, CRET.

¹ Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, Ljubljana

Korespondenca/Correspondence: izr. prof. dr. Renata Vauhnik, dipl. fiziot.; e-pošta: renata.vauhnik@zf.uni-lj.si

Prispelo: 21.07.2023

Sprejeto: 12.04.2024

UVOD

Termoterapija se pogosto uporablja v fizioterapiji za lajšanje bolečine, povečevanje elastičnosti tkiva in pospeševanje celjenja tkiv (1, 2). Povišanje temperature tkiva za vsako stopinjo poveča metabolizem za 10 do 15 % (3), še večji dvig temperature (od 3 do 4 °C) poveča elastične lastnosti vezivnega tkiva (1, 2). Termoterapijo lahko v splošnem delimo na površinsko in globinsko. Diatermija je najpogosteje uporabljena za globinsko ogrevanje tkiva, pri čemer se uporablja elektromagnetno valovanje od 3 kHz do 3000 MHz (1, 4). Najpogosteje uporabljeni frekvenci sta 27,12 MHz za tako imenovano kratkovalovno diatermijo (KVD) in 2450 MHz za mikrovalovno diatermijo (MVD). Obe obliki se lahko uporabljata v kontinuirani ali pulzirajoči obliki, s katerima se pri dovolj veliki povprečni intenziteti dovaja toplota v telo (1). Novejše naprave, ki izkoriščajo kapacitivni in uporovni prenos energije (špa. *transferencia electrica capacitiva resistiva* – TECAR), uporabljajo radiofrekvenčno elektromagnetno valovanje s frekvencami od 300 kHz do 1 MHz, najpogosteje 0,5 MHz (5, 6). Pri radiofrekvenčni terapiji ni neposrednega sevanja, ki prihaja od zunaj, v primerjavi s konvencionalno diatermijo, zato se izvaja tako, da sta elektrodi v stiku s kožo (7, 8). Zaradi nižjih frekvenc radiofrekvenčna terapija ne povzroča čezmernega ustvarjanja toplote med kožo in elektrodo, kot se to pojavlja pri konvencionalni diatermiji (5, 9). Dodatna prednost radiofrekvenčne terapije je, da se ta lahko izvaja z nižjo intenzivnostjo in se zato lahko uporablja tako pri kroničnih kot pri akutnih stanjih, ne da bi s povečanjem temperature negativno vplivali na vnetne procese (8, 9, 10). Pri terapiji se uporabljata dva načina prenosa energije oziroma modaliteti: kapacitivni (angl. *capacitive* – CAP) in uporovni (angl. *resistive* – RES) (11). CAP-aktivna elektroda ima izolacijsko plast, ki preprečuje neposreden stik kovine s kožo in omogoči ustvarjanje toplote v povrhnjih tkivih, ki imajo več vode, kot je mišično in maščobno tkivo ter limfni sistem (2, 11). RES-aktivna elektroda, ki nima premaza, omogoča, da energija teče neposredno skozi telo. Posledično se ustvarja toplota v tkivih z manj vode, kot so kosti, sklepne ovojnice in tetive (11, 12). Da se električni tokokrog zaključi, se poleg aktivnih elektrod uporablja tudi neaktivna plošča (13). Kontraindikacije pri radiofrekvenčni terapiji so nosečnost, vsadne elektrostimulacijske naprave

(npr. srčni spodbujevalnik), rakava obolenja, globoka venska tromboza, hipostezija in poškodovana koža (1, 13). Diatermija s termičnimi učinki naj se ne uporablja na predelu oči, spolovil in rastoče epifize (1).

Do zdaj sta bila objavljena dva sistematična pregleda literature (6, 14), v katerih so predstavili dokaze o učinkih radiofrekvenčne terapije v rehabilitaciji in športu. Ugotovili so, da pride do povišanja temperature kože, povečanja pretoka krvi in oksigenacije krvi ter zmanjšanje bolečine in edema. Pri tem ni opredeljeno, koliko se temperatura poviša in s kakšnimi parametri so to spremembo dosegli (6, 14). Opravljeni so bili tudi drugi pregledi literature (8, 9, 15–17) ter ena metaanaliza (17), v katerih so natančneje opredelili učinke radiofrekvenčne terapije pri mišičnoskeletnih okvarah. V nobenem pregledu niso omenjali parametrov radiofrekvenčne terapije ali podali ugotovitve o povečani temperaturi tkiva. Mitrić in sodelavci (8) so dodali, da je ozadje učinkov radiofrekvenčne terapije povezano z njegovim vplivom na povišanje temperature tkiva in posledično pretoka krvi. Radiofrekvenčna terapija se trenutno izvaja bolj na podlagi izkušenj, saj potrebna raven energije in toka za doseg želenih rezultatov ni posebej določena (18). Namen tega pregleda literature je opredeliti učinek radiofrekvenčne terapije in posamezne modalitete (RES in CAP) na temperaturo tkiva glede na uporabljene parametre.

METODE

Pregled literature je potekal v podatkovnih zbirkah PubMed, CINAHL in PEDro. Uporabljene so bile iskalne kombinacije s ključnimi besedami: »capacitive resistive, capacitive-resistive, CRET (angl. *capacitive and resistive electric transfer*), TECAR, radiofrequency therapy, radio frequency therapy, radiofrequency treatment, radio frequency treatmen, INDIBAt« in »temperature«. Prav tako je bil opravljen pregled referenc vključenih raziskav in sistematičnih pregledov De Sousa-De Souse in sodelavcev (14) ter Beltrama in sodelavcev (6).

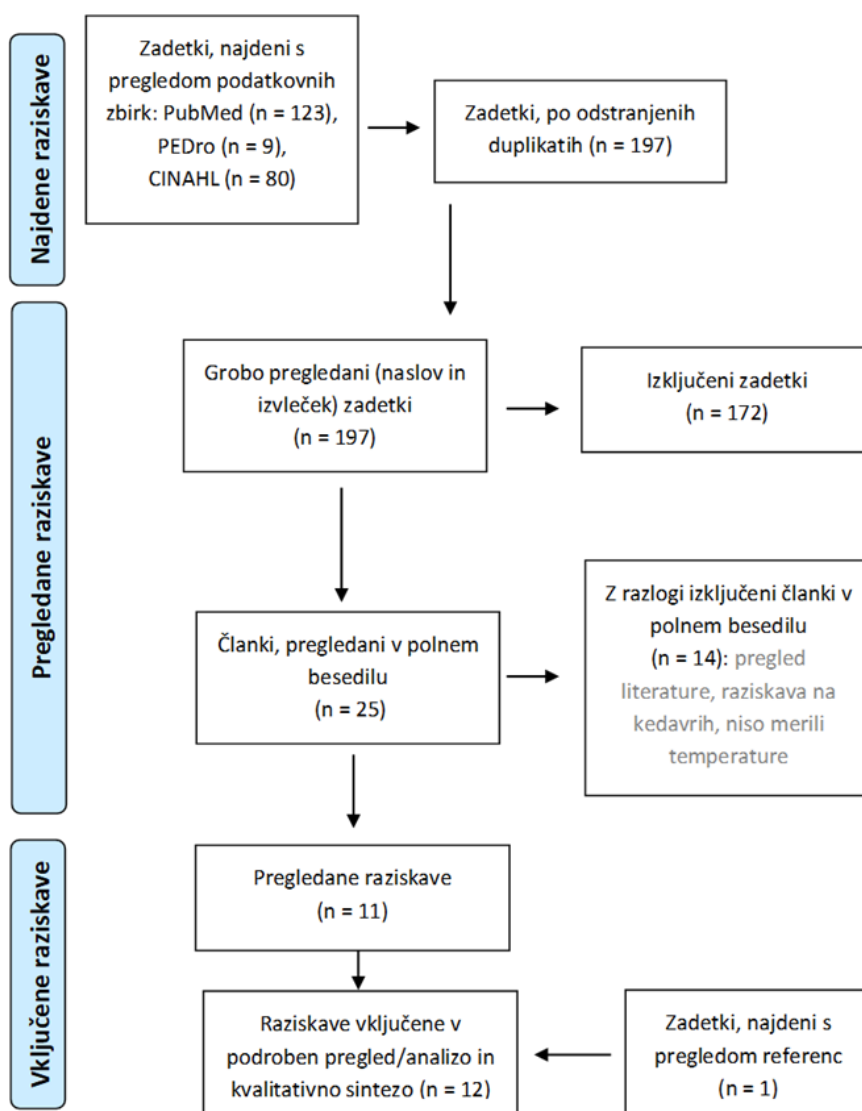
Vključeni so bili članki v angleškem jeziku, v katerih so raziskovali vpliv radiofrekvenčne terapije (kombinacija CAP in RES ali posamezni modaliteti samostojno) s frekvenco do vključno 0,5 MHz na temperaturo kože in tkiva pod kožo. Ni bilo

omejitev pri populaciji preiskovancev, kontrolne skupine in raziskovalnega načrta. Izključene so bile raziskave, ki so radiofrekvenčno terapijo izvajale na kadavrih ali živalih, v estetske namene ali kot radiofrekvenčno ablacijo.

REZULTATI

Postopek izbora vključenih raziskav je predstavljen z diagramom PRISMA na sliki 1. Na podlagi ključnih besed in vključitvenih ter izključitvenih meril je bilo v podrobno analizo vključenih 12 randomiziranih raziskav, objavljenih med letoma 2017 in 2023.

V sedmih raziskavah (5, 13, 20, 21, 23–25) so primerjali učinke radiofrekvenčne terapije na temperaturo kože v primerjavi s placebo radiofrekvenčno terapijo in v treh (20–22) s kontrolnimi pogoji, pri katerih niso imeli nobene terapije. V eni raziskavi (12) so primerjali učinke glede na vrstni red uporabe RES in CAP oblike terapije, v treh raziskavah pa so primerjali učinke posameznih oblik med sabo (2, 4, 6). V sedmih raziskavah so uporabili navzkrižni (»cross-over«) raziskovalni protokol, kar pomeni, da so izmenjali uporabo terapevtske intervencije (2, 5, 11, 12, 20, 22, 24).



Slika 1: Diagram poteka PRISMA (19)

Preglednica 1: Pregled v raziskavah uporabljenih raziskovalnih protokolov in parametrov radiofrekvenčne terapije

Avtor, leto	Poskusna intervencija	Parametri radiofrekvenčne terapije		
		Trajanje	Intenzivnost	Postavitev plošče/aktivne elektrode
Yokota et al., 2018 (22)	S1: RF S2: brez	5 min. CAP in 10 min. RES	subjektivno prijetno toplo	stegno spredaj/stegno zadaj
Kumaran & Watson, 2021 (21)	S1: RF S2: placebo RF S3: brez	5 min. CAP in 10 min. RES	subjektivno prijetno toplo	meča/področje kolena
Kumaran & Watson, 2018 (20)	S1: termični RF S2: netermični RF S3: placebo RF S4: brez S5: PKVD	5 min. CAP in 10 min. RES	subjektivno prijetno toplo	meča/stegno spredaj
Yeste-Fabregat et al., 2021 (23)	S1: RF S2: placebo RF	10 min. CAP in 15 min. RES	40 % ($M_{maks} = 300$ W)	golen/notranji del meč
Fousekis et al., 2020 (24)	S1: RF S2: RF s FO S3: placebo RF S4: placebo RF s FO	5 min. CAP in 10 min. RES	subjektivno prijetno toplo	ni podano/stegno zadaj
Tashiro et al., 2017 (5)	S1: RF S2: termopak S3: placebo RF	5 min. CAP in 10 min. RES	subjektivno prijetno toplo	trebuh/spodnji del paraspinalnih mišic
Yokota et al., 2017 (13)	S1: RF S2: termopak S3: placebo RF	5 min. CAP in 10 min. RES	subjektivno prijetno toplo	stegno spredaj/stegno zadaj
Bito et al., 2020 (25)	S1: RF S2: termopak S3: placebo RF	5 min. CAP in 10 min. RES	subjektivno prijetno toplo	trebuh/prsni koš zadaj
Barassi et al., 2022 (12)	S1: RF (RES-CAP) S2: RF (CAP-RES)	20 min. (10 min. vsake modalitete)	48 W ($M_{maks} = 400$ W)	trebuh/ledveni predel
Kumaran & Watson, 2015 (2)	S1: RES S2: CAP	do neprijetnega občutka toplote	subjektivno določanje treh stopenj	meča/stegno spredaj
Bryś et al., 2022 (4)	S1: CAP S2: RES	10 min. vsaka modaliteta	35 % ($M_{maks} = 200$ W)	stegno zadaj/stegno spredaj
Clijnsen et al., 2020 (11)	S1: RES S2: CAP S3: placebo RF	8 min. vsaka modaliteta	RES: 70 % CAP: 40 %	hrbno v višini lopatic/podlaket spredaj

CAP – kapacitivni način, M_{maks} – maksimalna moč naprave, NBVK – nespecifična bolečina v križu, PKVD – pulzirajoča kratkovalovna diatermija, RES – uporovni način, RF – radiofrekvenčna terapija, FO – fascialna orodja.

V raziskavah je sodelovalo 277 oseb, od tega 160 moških in 117 žensk. V posamezni raziskavi je sodelovalo od 10 (11, 24) do 45 (21) preiskovancev. V vseh raziskavah razen dveh (12, 21) so sodelovali zdravi odrasli ali zdravi starejši odrasli (25). V eni raziskavi (21) so sodelovali odrasli z artrozo kolenskega sklepa, v eni (12) pa odrasli z nespecifično bolečino v hrbtu.

V devetih raziskavah (2, 4, 5, 13, 20–22, 24, 25) so uporabili Indiba® napravo s frekvenco 448 kHz in v treh raziskavah (11, 12, 23) naprave s frekvenco

0,5 MHz: Tecar T-Plus Wintecare® (11), T-CARE TECAR® (23) in Quilmed® Endor® Next (12). V večini raziskav (2, 5, 13, 20–22, 24, 25) so intenzivnost terapije določali na podlagi prijetnega preiskovančevega subjektivnega občutka zaznave toplote. V štirih raziskavah (5, 13, 22, 25) so sledili navodilom proizvajalcev in uporabili oceno 6 ali 7 na 11-stopenjski lestvici (0–10) kot primerno intenzivnost radiofrekvenčne terapije. Podobno so storili v raziskavi Fousekisa in sodelavci (24), ki so z enakim namenom uporabili oceno 8 na VAS-lestevici (1–10). Watson in Kumaran sta v dveh

raziskavah (21, 22) uporabila intenzivnost opisano kot »zmerno, vendar prijetno«, v eni raziskavi (2) pa sta glede na subjektivni občutek preiskovancev določala prag zaznave toplote, prag prijetne toplote in prag neprijetnega občutenja toplote. V štirih raziskavah (4, 11, 12, 23) so intenzivnost določili glede na odstotek maksimalne moči naprave, v raziskavi Clijsena in sodelavcev (11) pa so ob pojavu neprijetnega subjektivnega občutka zaznave toplote preiskovanca zmanjšali moč aparata za polovico. Postavitve plošče in aktivne elektrode se je v raziskavah razlikovala. Natančnejši podatki so predstavljeni v preglednici 1.

V vseh raziskavah so merili temperaturo kože na površini, v treh raziskavah (5, 13, 25) pa so temperaturo tkiva merili tudi 10 (TT10) in 20 mm (TT20) pod površino kože. V raziskavah so uporabljali različna merilna orodja. Meritve so opravili pred obravnavo in takoj po njej ter od 10 (4) do 60 minut (8) po terapiji na predelu, kjer je bila aktivna elektroda. V vseh raziskavah so ugotovili, da je bila temperatura kože takoj po radiofrekvenčni terapiji ali uporabi posamezne modalitete (RES in CAP) višja kot pred terapijo, učinki pa so ostali tudi dlje časa. V raziskavah so poročali o povprečnem dvigu temperature kože po radiofrekvenčni terapiji

Preglednica 2: V raziskavah uporabljena merilna orodja in rezultati termičnih učinkov radiofrekvenčne terapije v primerjavi s placebo terapijo in brez terapije

Avtor, leto	Merilno orodje	Rezultati		
		Radiofrekvenčna terapija	Radiofrekvenčna terapija vs placebo	Radiofrekvenčna terapija vs brez
Yokota et al., 2018 (22)	IR-termometer	↑ TK ($p < 0,01$) takoj po (5,1 °C), 15 min. po (1,9 °C) in 30 min. po (1,7 °C)		↑ TK takoj po in 15 ter 30 min. po ($p < 0,01$)
Kumaran & Watson, 2021 (21)	sistem za merjenje biofizioloških meritev	↑ TK ($p < 0,01$) takoj po in 20 min. po	↑ TK ($p < 0,01$) takoj po in 20 min po terapiji	↑ TK ($p < 0,05$) takoj po in 20 min. po terapiji
Kumaran & Watson, 2018 (20)	sistem za merjenje biofizioloških meritev	↑ TK ($p < 0,001$) (uporabljena moč $42,37 \pm 4,64$ W) takoj po in 20 min. po	↑ TK ($p < 0,001$) takoj po	↑ TK ($p < 0,001$) takoj po
Yeste-Fabregat et al., 2021 (23)	termografska kamera	↑ TK takoj po ($p < 0,05$), ne pa po 15 in 30 min.	↑ TK takoj po ($p < 0,05$), ne pa 15 ali 30 minut po terapiji ($p > 0,05$)	
Fousekis et al., 2020 (24)	IR-termometer	↑ TK za 10,5 % (3,9 °C) ($p = 0,02$) ↑ TK trajala 55 min.		↑ TK ($p < 0,01$)
Tashiro et al., 2017 (5)	neizvazivni elektronski termometer	povp. Δ ↑ TK za 3,8 °C, TT10 za 3,2 °C in TT20 za 3,6 °C takoj po Δ ↑ TK za 1,6 °C, TT10 za 2 °C in TT20 pod za 1,9 °C 30 min. po	↑ TK, TT10 in TT20 takoj po in 30 min. po terapiji ($p < 0,016$)	
Yokota et al., 2017 (13)	neinvazivni elektronski termometer	povp. Δ ↑ TK za 2,4 °C, TT10 za 2,3 °C TT20 za 3,3 °C takoj po Povp. Δ ↑ TK za 1,5 °C, TT10 za 1,5 °C in TT20 za 2,3 °C 30 min. po	povp. Δ ↑ TK ($p < 0,01$), TT10 ($p < 0,01$) in TT20 mm ($p < 0,05$) po	
Bito et al., 2020 (24)	neinvazivni elektronski termometer	povp. Δ ↑ TK za 0,7 °C ($p > 0,05$), TT10 za 2,8 °C in TT20 za 3,6 °C ($p < 0,05$) takoj po	povp. Δ ↑ TT10 in TT20 ($p < 0,05$) po	
Barassi et al., 2022 (12)	termografska kamera	↑ TK takoj po ne glede na vrstni red uporabe RES- in CAP-modalitete ($p < 0,05$)		

CAP – kapacitivni način, IR – infrardeča, RES – uporovni način, TK – temperatura kože, TT10 – temperatura tkiva 10 mm pod površino kože, TT20 – temperatura tkiva 20 mm pod površino kože, ↑ – povečanje, Δ – sprememba.

Preglednica 3: V raziskavah uporabljena merilna orodja in rezultati termičnih učinkov radiofrekvenčne RES- in CAP-modalitete ter primerjava med njima

Avtor, leto	Merilno orodje	Rezultati		
		RES	CAP	RES vs CAP
Kumaran & Watson, 2015 (2)	IR-termometer	↑ TK za 12,7 % (3,9 °C) (p < 0,05) do praga neprijetnega občutenja (uporabljena moč 81,5 ± 20,1 W) ↑ TK ostala tudi 45 min. po koncu (p < 0,05)	↑ TK za 11,1 % (3,4 °C) (p < 0,05) do praga neprijetnega občutenja (uporabljena moč 32,4 ± 11,8 W) ↑ TK ostala tudi 45 min. po koncu (p < 0,05)	Prag neprijetnega občutenja hitreje dosežen pri CAP, dosežena temperatura enaka. Upadanje temperature je bilo hitrejše po CAP. ↑ TK po RES (p = 0,01) po 45 minutah
Bryś et al., 2022 (4)	termografska kamera	↑ TK (p < 0,05) takoj po in 5 ter 10 min. po	↑ TK (p < 0,05) takoj po in 5 ter 10 min. po	↑ TK po RES (p < 0,01) takoj po ter 5 in 10 min po terapiji
Clijisen et al., 2020 (11)	termografska kamera	povp. Δ ↑ TK za 2,8 °C	povp. Δ ↑ TK za 1 °C	p > 0,05

CAP – kapacitivni način, IR – infrardeča, RES – uporovni način, TK – temperatura kože, ↑ – povečanje, Δ – sprememba.

pri starejših odraslih za 0,7 °C (25), kar ni bilo statistično značilno. Pri odraslih je bil dvig temperature kože višji in statistično značilen med 2,4 in 5,1 °C (5, 13, 22, 24). Dvig temperature v globini 10 mm je bil med 2,3 in 3,2 °C (5, 13, 25) in še višji v globini 20 mm, kjer se je povišala med 3,3 in 3,6 °C (5, 13, 25) pri odraslih in starejših odraslih. V raziskavah so poročali o statistično značilno višji temperaturi kože 30 minut po radiofrekvenčni terapiji za 1,3 °C in do 1,6 °C (5, 13, 22). Tudi TT10 in TT20 je ostala povišana med 1,5 in 2,3 °C 30 minut po radiofrekvenčni terapiji (5, 13) Pri primerjavi modalitet se je izkazalo, da je RES na koži povzročila višji povprečni dvig temperature (2,8 °C) v primerjavi s CAP, ki je na koži povzročila dvig temperature za povprečno 1 °C, vendar ni bilo statistično značilno (11). Barassi in sodelavci (12) so ugotovili, da vrstni red uporabe modalitet CAP in RES pri radiofrekvenčni terapiji ni imel statistično značilnega vpliva na povišanje temperature kože. Povišanje temperature je bilo statistično značilno višje v skupinah s radiofrekvenčno terapijo kot v kontrolni skupini in skupini s placebo radiofrekvenčno terapijo. V nobeni od raziskav niso poročali o stranskih učinkih terapije. Natančneje so merilna orodja in rezultati predstavljeni v preglednicah 2 in 3.

RAZPRAVA

V vseh raziskavah, razen eni (25), v kateri so preučevali učinke 15-minutne radiofrekvenčne terapije (5 minut CAP in 10 minut RES) (5, 13, 20–22, 24, 25), so ugotovili, da se je temperatura kože

povišala. Bito in sodelavci (25) so preučevali učinke pri starejših odraslih, ki imajo v primerjavi z mlajšimi odraslimi manjšo količino vode v koži in podkožnem tkivu ter tanjšo kožo z manjšim številom žil (26, 27), kar je lahko vzrok, da ni prišlo do statistično značilnega povečanja temperature kože. Kljub temu so Bito in sodelavci (25) ugotovili, da se je temperatura tkiva 10 in 20 mm pod površino kože zvišala. Enako so ugotovili v dveh raziskavah pri zdravih odraslih (5, 13). Dvig temperature kože takoj po radiofrekvenčni terapiji je bil med 2,4 °C in 3,8 °C pri zdravih odraslih, vendar le 0,7 °C pri starejših odraslih, kar nakazuje trend zviševanje temperature. Dvig temperature pod kožo pa je bil med 2,3 °C in 3,6 °C pri zdravih odraslih in starejših odraslih. Povišana temperatura za povprečno 1,5 °C je ostala tudi 30 minut po terapiji (5, 13). Fousekis in sodelavci (15) so poročali o višji temperaturi tkiva tudi 55 minut po obravnavi, Barassi in sodelavci (8) pa tudi eno uro po radiofrekvenčni terapiji. Višja temperatura se je ohranila tudi v globljih tkivih (10 in 20 mm pod kožo) 30 minut po obravnavi (5, 13). Razlika v temperaturi tkiva 10 mm pod kožo je bila povprečno med 1,5 °C (13) in 2 °C (5) ter še višja na globini 20 mm med 1,9 °C (5) in 2,3 °C (13) 10 minut po terapiji. Tudi raziskavi (5, 29), v katerih so z infrardečim spektrofotometrom merili spremembo količine hemoglobina na globini 15 (29) in 30 mm (5), so ugotovili povečanje celotnega hemoglobina takoj po 15-minutni radiofrekvenčni terapiji. Količina celotnega hemoglobina, ki predstavlja volumen krvi v tkivu, je ostala povečana tudi 30 minut po terapiji

(5, 29). Ker je odziv povečanega pretoka krvi posledica povišanja temperature in vazodilatacije (1, 29), lahko sklepamo torej, da je v globini 15 in 30 mm pod kožo prišlo do povečanja temperature (29). Beltrame in sodelavci (6) so pri širšem pregledu literature na zdravih osebah izpostavili učinek povečanega pretoka krvi v povezavi z višjo oksigenacijo tkiva z lažjim dostavljanjem prehranskih snovi in odplavljanjem metabolitov. V raziskavah so ugotovili, da je 15-minutna radiofrekvenčna terapija izboljšala raztegljivost sprednjih (22) in zadnjih (13, 28) stegenskih mišic takoj po terapiji. Na podlagi rezultatov pregleda literature se lahko predpostavi, da 15-minutna radiofrekvenčna terapija poviša temperaturo tkiva do te mere, da bi izboljšala metabolizem (1, 3) v tkivih in celo spremenila elastične lastnosti vezivnega tkiva (1, 2), če je intenzivnost določena na podlagi občutkov pacientov.

Določanje intenzivnosti radiofrekvenčne terapije na podlagi subjektivnega občutka zaznave toplote preiskovanca je zelo pomembno za doseganje dolgoročnih učinkov ogrevanja. Yeste-Fabregat in sodelavci (23) so določili intenzivnost naprave na 40 odstotkov maksimalne moči (120 W) in ugotovili, da so kljub daljši, 25-minutni obravnavi, dosegli le takojšnji učinek povišanja temperature kože, ki pa ni ostal niti 15 minut po obravnavi. Proizvajalci radiofrekvenčnih naprav priporočajo intenzivnost, ki zadošča subjektivni oceni toplote 6 ali 7 na lestvici od 0 do 10 (2). Tako morda z določanjem le odstotek maksimalne moči ni dosežena potrebna intenzivnost za dvig temperature, vendar pa tako določena intenzivnost ni standardizirana za vse preiskovance (11).

Za doseganje povišanja temperature kože za vsaj 1 °C sta bili učinkoviti tudi CAP- in RES-modaliteti (2, 11), pri čemer je bilo povišanje temperature višje pri RES kakor pri CAP (4). Temperatura kože je ostala višja kot pred terapijo od 10 do 45 minut po terapiji pri obeh načinih (2, 4, 11). Končna temperatura kože takoj po terapiji pri enakih posameznikih (navzkrižni raziskovalni način) je bila dosežena hitreje s CAP-modaliteto oziroma z manjšo močjo kakor RES (2, 11). Tudi učinki ogrevanja 45 minut po obravnavi z RES so bili večji kakor s CAP-modaliteto (2), vendar je bila intenzivnost pri RES večja (81,5 W) kakor pri CAP (42,4 W). Učinki ogrevanja 10 minut po terapiji so

bili večji pri skupini, ki je imela RES kakor pri skupini s CAP pri enaki intenzivnosti modalitet (69 W) (4). Pri primerjavi RES in CAP je bolj smiselno izvesti navzkrižni raziskovalni protokol, kot sta to izvedla Kumaran in Watson (2), ker je lahko količina tkiva z večjo in manjšo upornostjo med posamezniki različna. To bi lahko spremenilo tudi učinke RES in CAP terapije, zato je primerjava teh med različnimi osebami, kot so storili Brys in sodelavci (4), manj zanesljiva. V raziskavi Glažarjeve in sodelavcev (30) so pri 20-minutni terapiji z električnim poljem s kapacitivnim aplikatorjem (0,5–2 MHz), intenzitete na subjektivnem občutenju toplote (42–47 W), ugotovili povečanje celotne količine hemoglobina, merjeno z infrardečim spektrofotometrom, takoj po terapiji in tudi 10 minut po koncu. Razlike niso bile statistično značilne. Raziskava Clijsena in sodelavcev (11) pa je pri uporabi sonografije Power Doppler za merjenje znotraj mišičnega pretoka krvi sicer pokazala povečanje pretoka po 8-minutni terapiji z načinom RES (210 W, če je treba, zmanjšano na 105 W) in CAP (120 W, če je treba, zmanjšano na 60 W), vendar rezultati niso bili statistično značilni. Rezultati hitrejšega segrevanja površine kože med terapijo in hitrejšega ohlajanja po terapiji pri uporabi CAP-modalitete (2, 4) sicer posredno podpirajo trditev proizvajalcev, da RES- in CAP-modaliteti povzročita odzive različno globoko v tkivu, vendar so potrebne nadaljnje raziskave, ki bi pri primerjavi med modalitetama preverjali tudi temperaturo globlje pod kožo, kot je bilo to izvedeno pri uporabi obeh modalitet (5, 13, 25). Kljub razlikam med CAP in RES Barassi in sodelavci (12) niso ugotovili razlike v vrstnem redu uporabe obeh modalitet na temperaturo kože. Take razlike med CAP- in RES-modaliteto zahtevajo previdnost pri primerjavah učinkov terapije na različnih delih telesa in z različno postavitvijo elektrod. Količina proizvedene toplote v tkivu je odvisna od prevodnosti tkiva, moči elektromagnetnega valovanja, velikosti elektrod in antropometričnih dejavnikov (2) ter uporabljene modalitete. V nadaljnjih raziskavah bi bilo treba raziskati vpliv teh dejavnikov na povišanje temperature tkiva, pri čemer bi za boljšo primerljivost morali avtorji raziskav poročati tudi o uporabljeni moči elektromagnetnega valovanja, in ne le o subjektivnem občutku osebe. Prav tako je pomembno upoštevati, da so v raziskavah uporabljali različna merilna orodja. Največ

časovnega zamika zaradi priprave kože in inštrumentov je bilo pri uporabi sistemov za merjenje biofizioloških meritev (20, 21). Kumaran in Watson (22) sta predlagala, da bi učinke radiofrekvenčne terapije spremljali že med terapijo, ne le po njej. Za tako spremljanje površinske temperature je najprimernejše merjenje s termografijo (4).

Radiofrekvenčna terapija se je izkazala učinkovitejša pri zvišanju temperature kože takoj po terapiji (21–23) in 20 (21) ter 30 (22) minut po terapiji, v primerjavi s kontrolnimi pogoji, kjer preiskovanci niso imeli terapije (21, 22, 23). Prav tako je bila učinkovitejša od placebo radiofrekvenčne terapije (5, 13, 20, 21, 20–22), kjer se je temperatura kože v nekaterih primerih celo zmanjšala zaradi hladne aktivne elektrode (11, 20, 24). Te ugotovitve potrjujejo, da povišanje temperature tkiva ni naključno ali le posledica trenja zaradi premikanja elektrode na koži. V tem pregledu literature sta zajeti le dve raziskavi, ki nista preverjali učinkov na zdravih posameznikih (8, 12). Čeprav ni prišlo do opazne razlike, so potrebne nadaljnje raziskave, ki bi preverjale te učinke na pacientih z različnimi diagnozami. V pregledanih člankih niso poročali o stranskih učinkih radiofrekvenčne terapije, iz česar lahko predvidevamo, da je terapija po vsej verjetnosti varna oblika termoterapije, vendar da bomo lahko to trdili bolj zagotovo, so potrebne še nadaljnje raziskave, izvedene tudi na pacientih.

ZAKLJUČEK

Na podlagi pregledane znanstvene literature lahko zaključimo, da je radiofrekvenčna terapija, v kateri se uporabi tako CAP- kot RES-modaliteta, učinkovita oblika termoterapije za povečevanje temperature toplote tako na površini telesa kot v globlje ležečih tkivih, če je intenzivnost določena na podlagi pacientovega subjektivnega prijetnega občutka toplote. Dosedanje raziskave so ugotovile, da do povišanja temperature kože in tkiva 10 in 20 mm pod površino kože pride že po petnajstih minutah ogrevanja pri intenzivnosti, ki posamezniku daje prijeten subjektivni občutek, in da je povišanje temperature tolikšno, da lahko pozitivno vpliva na metabolizem in elastičnost vezivnega tkiva. V nadaljnjih raziskavah bi bilo smiselno preučiti vpliv različnih parametrov radiofrekvenčne terapije, postavitve elektrod in

antropometričnih lastnosti preiskovancev na termične učinke tudi pri različnih patologijah.

LITERATURA

1. Cameron MH (2018). Diathermy. In: *Physical agents in rehabilitation: An evidence-based approach to practice*, 5th Edition. Elsevier, 200–18.
2. Kumaran B, Watson T (2015). Thermal build-up, decay and retention responses to local therapeutic application of 448 kHz capacitive resistive monopolar radiofrequency: A prospective randomised crossover study in healthy adults. *Int J Hyperthermia* 31(8): 883–95.
3. Nadler SF, Weingand K, Kruse RJ (2004). The physiologic basis and clinical applications of cryotherapy and thermotherapy for the pain practitioner. *Pain Physician* 7(3): 395–9.
4. Bryś K, Grabarek BO, Król P, Staszkiwicz R, Wierzbik-Strońska M, Król T (2022). The thermal influence of an electromagnetic field with a radio frequency depending on the type of electrode used. *Int J Environ Res Public Health* 19(18): 11378.
5. Tashiro Y, Hasegawa S, Yokota Y, Nishiguchi S, Fukutani N, Shirooka H, Tasaka S, Matsushita T, Matsubara K, Nakayama Y, Sonoda T, Tsuboyama T, Aoyama T (2017). Effect of capacitive and resistive electric transfer on haemoglobin saturation and tissue temperature. *Int J Hyperthermia* 33(6): 696–702.
6. Beltrame R, Ronconi G, Ferrara PE, Salgovic L, Vercelli S, Solaro C, Ferriero G (2020). Capacitive and resistive electric transfer therapy in rehabilitation: a systematic review. *Int J Rehabil Res* 43(4): 291–8.
7. Tranquilli C, Ciuffetti A, Bergamo P, Combi F (2009). Multicentre study on Tecar® therapy in sports pathologies. *FMSI Institute of Sports Medicine*.
https://www.physioblasts.org/f/public/1348925023_4_FT0_1tecar_multi_centre_study_116_patients_fm_si__coni_tranquilli_ganzit_bergamo.pdf <6. 4. 2024>.
8. Mitrić Z, Vučković M, Mačak-Hadžiomerović A (2021). Effects of capacitive and resistive electronic transfer therapy in musculoskeletal diseases - a results overview of recent clinical trials. *Int J Med Rev Case Rep* 5 (12), 5–10.
9. Ribeiro S, Henriques B, Cardoso R (2018). The effectiveness of tecar therapy in musculoskeletal disorders. *Int J Public Health* 3(5): 77–83.
10. Paolucci T, Pezzi L, Centra MA, Porreca A, Barbato C, Bellomo RG, Saggini R (2020). Effects of capacitive and resistive electric transfer therapy in patients with painful shoulder impingement syndrome: a comparative study. *J Int Med Res* 48(2): 300060519883090.

11. Clijsen R, Leoni D, Schneebeli A, Cescon C, Soldini E, Li L, Barbero M (2020). Does the application of tecar therapy affect temperature and perfusion of skin and muscle microcirculation? A pilot feasibility study on healthy subjects. *J Altern Complement Med* 26(2): 147–53.
12. Barassi G, Mariani C, Supplizi M, Prosperi L, Di Simone E, Marinucci C, Pellegrino R, Guglielmi V, Younes A, Di Iorio A (2022). Capacitive and resistive electric transfer therapy: A comparison of operating methods in non-specific chronic low back pain. *Adv Exp Med Biol* 1375: 39–46.
13. Yokota Y, Tashiro Y, Suzuki Y, Matsushita T, Matsubara K, Kawagoe M, Sonoda T, Nakayama Y, Hasegawa S, Aoyama T (2017). Effect of capacitive and resistive electric transfer on tissue temperature, muscle flexibility, and blood circulation. *J Nov Physiother* 7: 325–31.
14. De Sousa-De Sousa L, Tebar Sanchez C, Maté-Muñoz JL, Hernández-Lougedo J, Barba M, Lozano-Estevan MDC, Garnacho-Castaño MV, García-Fernández P (2021). Application of capacitive-resistive electric transfer in physiotherapeutic clinical practice and sports. *Int J Environ Res Public Health* 18(23): 12446.
15. Szabo DA, Neagu N, Teodorescu S, Predescu C, Sopa IS, Panait L (2022). TECAR therapy associated with high-intensity laser therapy (Hilt) and manual therapy in the treatment of muscle disorders: A Literature Review on the Theorised Effects Supporting Their Use. *J Clin Med* 11(20): 6149.
16. Hawamdeh M (2014). The effectiveness of capacitive resistive diathermy (Tecartherapy®) in acute and chronic musculoskeletal lesions and pathologies.
17. Vahdatpour B, Haghghat S, Sadri L, Taghian M, Sadri S (2022). Effects of transfer energy capacitive and resistive on musculoskeletal pain: A systematic review and meta-analysis. *Galen Med J* 11: e2407.
18. López-de-Celis C, Hidalgo-García C, Pérez-Bellmunt A, Fanlo-Mazas P, González-Rueda V, Tricás-Moreno JM, Ortiz S, Rodríguez-Sanz J (2020). Thermal and non-thermal effects of capacitive-resistive electric transfer application on the Achilles tendon and musculotendinous junction of the gastrocnemius muscle: a cadaveric study. *BMC Musculoskelet Disord* 21(1): 46.
19. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, PRISMA Group (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Med* 21; 6(7): e1000097.
20. Kumaran B, Watson T (2018). Skin thermophysiological effects of 448 kHz capacitive resistive monopolar radiofrequency in healthy adults: A randomised crossover study and comparison with pulsed shortwave therapy. *Electromagn Biol Med* 37(1): 1–12.
21. Kumaran B, Watson T (2021). Thermophysiological responses to capacitive resistive monopolar radiofrequency electromagnetic radiation in patients with osteoarthritis of the knee joint: A randomised controlled experimental study. *Electromagn Biol Med* 40(1): 210–21.
22. Yokota Y, Sonoda T, Tashiro Y, Suzuki Y, Kajiwara Y, Zeidan H, Nakayama Y, Kawagoe M, Shimoura K, Tatsumi M, Nakai K, Nishida Y, Bito T, Yoshimi S, Aoyama T (2018). Effect of capacitive and resistive electric transfer on changes in muscle flexibility and lumbopelvic alignment after fatiguing exercise. *J Phys Ther Sci* 30(5): 719–25.
23. Yeste-Fabregat M, Baraja-Vegas L, Vicente-Mampel J, Pérez-Bermejo M, Bautista González IJ, Barrios C (2021). Acute effects of tecar therapy on skin temperature, ankle mobility and hyperalgesia in myofascial pain syndrome in professional basketball players: A pilot study. *Int J Environ Res Public Health* 18(16): 8756.
24. Fousekis K, Chrysanthopoulos G, Tsekoura M, Mandalidis D, Mylonas K, Angelopoulos P, Koumoundourou D, Billis V, Tsepis E (2020). Posterior thigh thermal skin adaptations to radiofrequency treatment at 448 kHz applied with or without Indiba® fascia treatment tools. *J Phys Ther Sci* 32(4): 292–6.
25. Bito T, Suzuki Y, Kajiwara Y, Zeidan H, Harada K, Shimoura K, Tatsumi M, Nakai K, Nishida Y, Yoshimi S, Kawabe R, Yokota J, Yamashiro C, Tsuboyama T, Aoyama T (2020). Effects of deep thermotherapy on chest wall mobility of healthy elderly women. *Electromagn Biol Med* 39(2): 123–8.
26. Farage MA, Miller KW, Elsner P, Maibach HI (2007). Structural characteristics of the aging skin: a review. *Cutan Ocul Toxicol* 26(4): 343–57.
27. Lorenzo I, Serra-Prat M, Yébenes JC (2019). The role of water homeostasis in muscle function and frailty: A Review. *Nutrients* 11(8): 1857.
28. Kim YJ, Park JH, Kim, J, Moon GA, Jeon HS (2021). Effect of high-frequency diathermy on hamstring tightness. *Phys Ther Korea* 28(1): 65–71.
29. Bito T, Tashiro Y, Suzuki Y, Kajiwara Y, Zeidan H, Kawagoe M, Sonoda T, Nakayama Y, Yokota Y, Shimoura K, Tatsumi M, Nakai K, Nishida Y, Yoshimi S, Tsuboyama T, Aoyama T (2019). Acute effects of capacitive and resistive electric transfer (CRet) on the Achilles tendon. *Electromagn Biol Med* 38(1): 48–54.
30. Glažar K, Bogerd N, Grapar Žargi T, Kacin A (2015). Primerjava termičnih in hemodinamskih odzivov v koži in mišicah na ogrevanje z električnim in magnetnim poljem. *Zdrav Vestn* 84: 447–55