

Др Вукашин Михајловић

Физиотерапија 2

9

ТЕРАПИЈСКЕ СТРУЈЕ ВИСОКЕ ФРЕКВЕНЦИЈЕ

У терапијске струје високе фреквенције спадају наизменичне струје фреквенције више од 100 000 Hz. У лечењу се примењују с високим напоном. На ткива не делују наддражајно, већ имају само топлотно дејство. То је први открио Никола Тесла 1891. године.

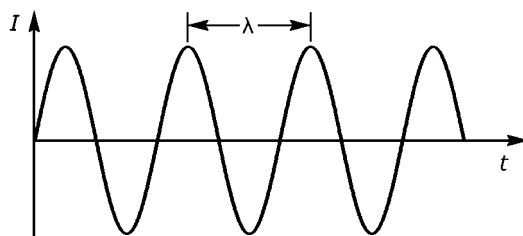
ОСНОВНА ФИЗИЧКА СВОЈСТВА И ПРИНЦИП ДОБИЈАЊА

Наизменичном називамо ону струју која периодично мења смер и јачину. У току једне осцилације струја расте од нуле до максимума, затим опада до нуле, мења смер у супротном смислу, опет расте до максимума и опада до нуле. Таква осцилација, ако се одиграва по закону синуса, графички изгледа у облику синусоиде.

Време за које се одиграва једна осцилација је периода, а број осцилација у једном секунду је фреквенција. Фреквенција је обрнуто сразмерна периоди:

$$f = \frac{1}{T},$$

где је f – фреквенција, T – периода.



Слика 9.1. Наизменична синусоидна струја

При протицању наизменичне струје, око проводника настају електромагнетни таласи, који се простиру брзином светлости, која у вакууму износи око 300 000 000 m/s. Растојање које један талас пређе у току једне периоде је таласна дужина. Између таласне дужине, фреквенције и брзине простирања постоји следећи однос:

$$\lambda = \frac{c}{f},$$

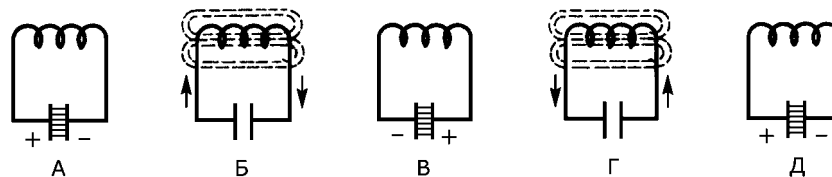
где је λ – таласна дужина, c – брзина простирања у датој средини, f – фреквенција.

Високофреквентне струје се добијају помоћу осцилаторног кола, које се састоји од кондензатора и самоиндукционог калема. Када се коло затвори, кондензатор се празни и настаје струја пражњења, а око самоиндукционог калема се ствара променљиво магнетно поље. Када се кондензатор потпуно испразни, струја би требало да престане, али се то не дешава, јер се под утицајем магнетног поља јавља индукована, тзв. секундарна струја истог смера. Она поново наелектрисава кондензатор, али у супротном смеру. Пражњењем кондензатора настаје струја пражњења супротног смера, променљиво магнетно поље и секундарна струја, која опет наелектрисава кондензатор.

У осцилаторном колу кондензатор се празни посредством калема, електрична енергија прелази у магнетну и обратно, што ствара наизменичну струју. Фреквенција тако добијене струје зависи од капацитета и самоиндукције и израчунава се по Томсоновом обрасцу:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{C \cdot L}},$$

где је f – фреквенција, C – капацитет, L – самоиндукција, π = константа (3,14).



Слика 9.2. Осцилаторно коло: А – кондензатор је наелектрисан; Б – тече струја пражњења, око калема се ствара магнетно поље; В – енергија магнетног поља је прешла у електричну енергију, кондензатор је поново наелектрисан али у супротном смеру; Г – тече струја пражњења супротном смера, око калема се опет ствара магнетно поље; Д – магнетно поље је ишчезло, његова енергија је прешла у електричну енергију, кондензатор је наелектрисан као у почетку.

Будући да се енергија троши на савлађивање омског отпора и губи путем магнетног поља, добијају се пригушене осцилације – свака следећа је мања од претходне. Да би се добиле непригушене осцилације, користе се електронски појачивачи, који надокнађују изгубљену енергију.

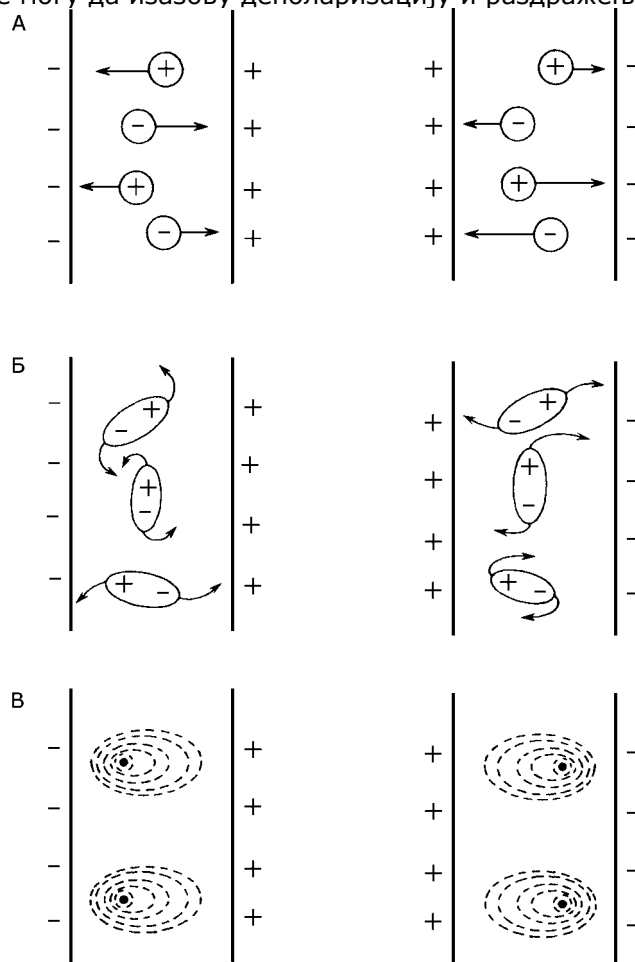
Биофизички основи дејства

Кроз ткива електрична струја се преноси посредством наелектрисаних честица – јона. То је јонска проводљивост или струја проводљивости. Осим наелектрисаних честица, у ткивима постоје поларизовани молекули, чији је један крај позитиван а други негативан, мада је молекул у целини електрично неутралан. Такви молекули називају се диполима. Као диполи особито се понашају молекули воде. Струје високе фреквенције имају својство да се преносе и посредством дипола, што чини тзв. поларизациону струју или, по Максвелу (Maxwell), струју померања. При нижим фреквенцијама преовлађује јонска проводљивост, а с повећањем фреквенције повећава се поларизациона струја. У електричном пољу јони се крећу линеарно, напред-назад, стално мењајући смер, сударају се међусобно и са другим молекулима и услед трења ствара се топлота (тзв. омски губици). Ротација дипол-молекула такође је праћена трењем и ослобађањем топлоте (тзв. диелектрични губици). Реч је о ендогеној топлоти, која настаје у ткивима, конверзијом електричне енергије у топлотну. Будући да ткива имају различит јонски састав и различит број дипола, то је и количина ослобођене топлоте у њима различита.

Под утицајем наизменичног поља високе фреквенције у атомима и молекулима који нису наелектрисани настаје искривљеност – дисторзија – путања којима круже електрони, па један

крај молекула постаје позитивнији а други негативнији, јавља се електронски „облак” којим се струја преноси. Молекули се при томе не крећу. Интеракцијом са суседним молекулима ствара се топлота, али у занемарљиво малом износу. Отуда се пластични поклопци електрода или ваздух између електрода и тела практично не загревају, јер се кроз њих струја преноси посредством електронског „облака”.

Струје високе фреквенције не делују надражајно на ткива, јер је полупериода њихових осцилација веома кратка, тако да се јони скоро не удаљавају од свог равнотежног положаја, концентрација јона на ћелијским мембранама се не мења, па ове струје не могу да изазову деполаризацију и раздражење.



Слика 9.3. Дејство високофреквентног електричног поља на јоне и молекуле ткива: А – линеарно кретање јона, Б – ротационо кретање дипол-молекула, В – дисторзија електронских путања са стварањем електронског облака. (Адаптирано из Low J, Reed A: *Electrotherapy Explained: Principles and Practice*. Oxford: Butterworth-Heinemann 2000)

КЛАСИФИКАЦИЈА

Терапијске струје високе фреквенције деле се на:

- Д'Арсонвалову струју,
- дуге таласе,
- кратке таласе,
- ултракратке таласе и
- микроталасе.

Да не би наступале сметње у радио-дифузији, будући да су у питању електромагнетни таласи, међународним договором је дозвољено да се у медицинске сврхе могу користити високофреквентне струје само одређене фреквенције, односно таласне дужине.

КРАТКИ ТАЛАСИ

За примену у медицини дозвољене су међународним договором три фреквенције, односно таласне дужине кратких таласа. Фреквенција 27,12 MHz, којој одговара таласна дужина 11,06 m, највише се користи јер има дозвољен шири толеранцијски опсег, па је израда уређаја мање сложена и јефтинија него када су у питању остале две фреквенције.

УРЕЂАЈ

Уређај за добијање кратких таласа састоји се из техничког и терапијског кола.

Техничко коло садржи осцилаторно коло, у коме, пражњењем кондензатора посредством калема, настају кратки таласи; затим, анодно коло у које је укључено осцилаторно коло; коло за решетку које је у индуктивној вези са осцилаторним колом, при чему се користи систем повратне спреге; коло за загревање катодe; трансформатор за повећање напона (до 3000 V).

У терапијско или резонантно коло, које се састоји из осцилаторног кола, укључује се болесник. Веза између техничког и терапијског кола је индуктивна. Да би се извршио пренос енергије из техничког у терапијско коло, потребно је да се постигне резонанција између ова два кола, то јест да се њихове фреквенције изједначе. Сходно Томсоновом обрасцу, фреквенције

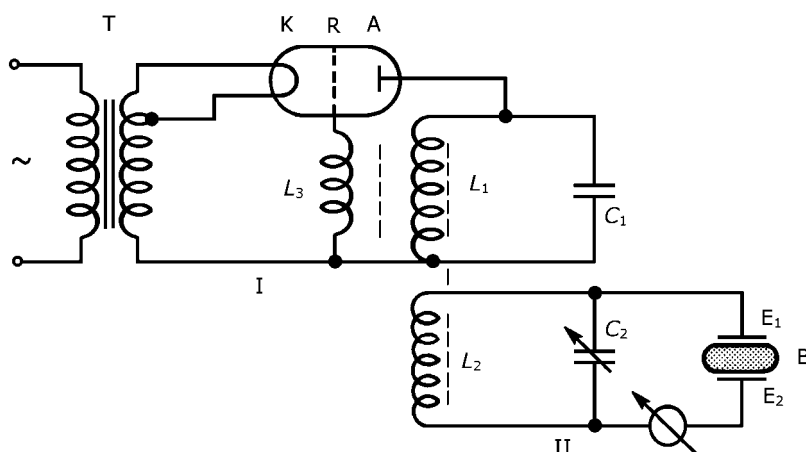
ће се изједначити када су производи капацитета и самоиндукције у оба кола једнаки:

$$C_1 \cdot L_1 = C_2 \cdot L_2,$$

где је C_1 – капацитет техничког кола, L_1 – самоиндукција техничког кола, C_2 – капацитет терапијског кола, L_2 – самоиндукција терапијског кола.

Табела 9.1. Фреквенције и таласне дужине кратких таласа дозвољене за примену у медицини

Фреквенција (MHz)	Толеранција (kHz)	Таласна дужина (m)
13,56	± 6,25	22,12
27,12	± 160	11,06
40,68	± 20	7,37



Слика 9.4. Схема уређаја за кратке таласе: Т – трансформатор; К – катода; R – решетка; А – анода; I – техничко коло; II – терапијско коло; $L_1 C_1$ – осцилаторно коло техничког кола; L_3 – самоиндукциони калем у колу за решетку; $L_2 C_2$ – осцилаторно коло терапијског кола; E_1 и E_2 – електроде; В – болесник

Будући да део тела који је укључен у терапијско коло има свој капацитет, који се и при незнатном померању тог дела тела мења, кондензатор терапијског кола је с променљивим капацитетом. Савремени уређаји садрже сервомеханизам за аутоматско регулисање резонанције, док се у старијим уређајима она регулисала ручно.

Јачина струје у терапијском колу зависи од јачине струје у техничком колу и постигнуте резонанције.

МЕТОДЕ И ТЕХНИКА ПРИМЕНЕ

Постоје две основне методе примене кратких таласа: капацитивна и индуктивна.

За капацитивну методу користе се кондензаторске електроде. То су чврсте металне плоче с поклопцем од плексигласа или пластике или су савитљиве и уткане у гуму. Када се електроде укључе у коло струје, између њих се успоставља електрично поље. Електроде представљају облоге кондензатора, а део тела и ваздушни простор између електрода и тела – диелектрикум.

Електроде се не стављају директно на кожу, већ на растојање од 1 до 4 cm. Ако се жели дубоко дејство, активна електрода се ставља на 3 до 4 cm од тела, а за површинско дејство 1 до 2 cm. Да би се избегла дисперзија електричног поља, укупно растојање између електрода и тела не треба да буде веће од 6 cm. Растојање се рачуна од металне плоче, а не од плексигла-



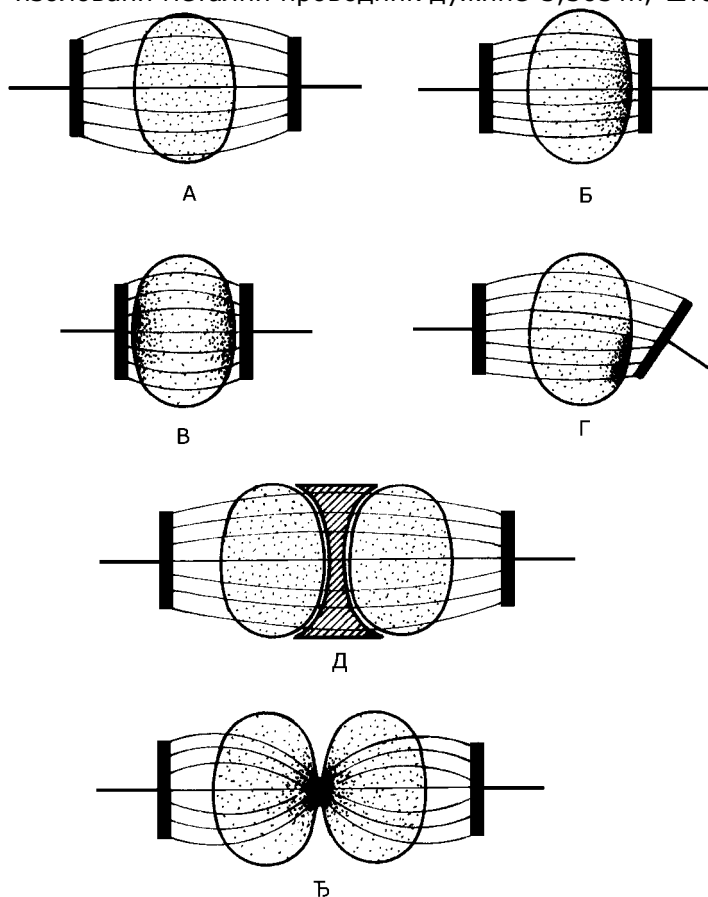
Слика 9.5. Кондензаторске електроде

са. Када се користе гумиране електроде, растојање се постиже подметањем филца између електрода и тела. Електроде треба да се ставе паралелно у односу на кожу, а не паралелно једна према другој. При примени на оба колена или обе шаке, ставља се између колена односно шака подметач од филца или убрус, како би се спречила концентрација линија поља на њиховим унутрашњим странама и избегле могуће опекотине.

Електроде се стављају копланарно или контрапланарно. При копланарној примени електроде су на истој страни тела, тако да линије електричног поља пролазе уздужно кроз ткива.

Контрапланарна примена се састоји у томе што се електроде стављају на супротне стране тела, линије електричног поља пролазе попречно – кроз сва ткива тог дела тела. Овакав положај електрода користи се за зглобове.

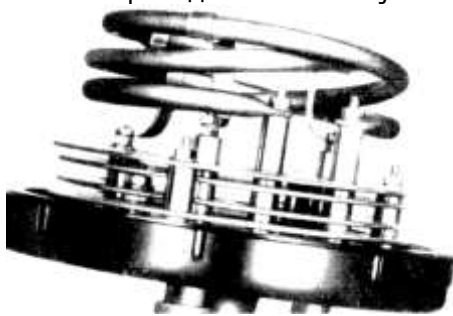
За индуктивну примену користе се соленоид-електроде и индукциони кабл. Соленоид-електроде се састоје од спирале са четири до пет металних навоја и ваздушног кондензатора и чине треће осцилаторно коло. Смештене су у цилиндричном пластичном омотачу, а производе се у две величине. Већа је монода с пречником од 14 cm и излазном снагом од 200 W, а мања је минода с пречником од 8,5 cm и снагом од 70 W. Стављају се на 1 до 5 cm од тела. У соленоид-електроде спада и диплода, снаге 200 W, која може да се савије у облику латиничног слова U, када се постиже загревање са три стране, или да се развуче у равну плочу када је загревање једнострано. Индукциони кабл је добро изоловани метални проводник дужине 5,503 m, што одго-



Слика 9. 6. Схематски приказ распореда топлоте у телу зависно од положаја електрода: А – обе електроде су размакнуте од тела: равномерно дубинско загревање; Б – једна електрода је приближена телу: изражено површинско загревање са те стране; В – обе електроде су приближене телу: изражено површинско загревање с обе стране; Г – једна електрода је искошена: повећано загревање према приближеном делу електроде; Д – између два дела тела је стављен подметач од филца: равномерно загревање; Ђ – између два дела тела није стављен подметач од филца: повећано загревање на унутрашњим странама

вара половини таласне дужине кратких таласа од 11,06 m. Омотава се око екстремитета у виду спирале или се на тело ставља у виду равне спирале. Растојање између кабла и тела износи 2 до 3 cm, а постиже се подметањем перфорисаног филца или убруса.

При проласку струје, у индукционим електродама (око намотаја) настаје магнетно поље. Када линије магнетног поља пролазе кроз масивни проводник као што је човечије тело, оне



Слика 9.7. Соленоид електрода – монода

у њему индукују вртложне, тзв. Фукоове (Foucault) струје које се претварају у топлоту. Такво загревање кратким таласима назива се индуктотермија.

Током процедуре, зависно од места примене, болесник треба да лежи на дрвеном кревету или да седи на дрвеној столици, не треба да се помера и не сме да дира електроде и каблове, нити било који део уређаја. Метални предмети, влажни завоји, па чак и капљице зноја концентришу линије поља, у њима је густина струје већа, те постоји опасност од настанка опекотина. Стога је потребно да се кожа прегледа и да се скине одећа, иако кратки таласи пролазе кроз одећу, гипс и било коју препреку. Преко дела тела који се третира треба ставити убрус од фротира ради апсорпције зноја.

Експозиција очију током процедуре треба да је минимална, а контактна сочива треба скинути, јер отежавају дисперзију топлоте.

Третман кондензаторским електродама треба избегавати код гојазних особа.

Каблови који иду од уређаја до електрода не смеју да се додирују, нити да додирују тело и друге предмете.

Током процедуре терапеут треба да је од уређаја удаљен најмање 1 m⁶⁰ и мора да буде у контакту с болесником, да прати његову реакцију и да не дозволи да болесник заспи.

Због могуће интерференције уређај за кратке таласе треба да је 3 m даље од других електротерапијских уређаја.⁶⁰

ДОЗИРАЊЕ

Кратки таласи не могу егзактно да се дозирају, јер се део енергије у виду електромагнетних таласа губи у простору, а не постоје уређаји помоћу којих би се могла измерити енергија апсорбована у телу. За дозирање се користи субјективни осећај топлоте. Према Шлифакеу (Schliephake),⁶⁶ разликују се четири дозе:

1. атермичка – не осећа се топлота;
2. олиготермичка – осећа се блага топлота;
3. термичка – осећа се умерена, пријатна топлота;
4. хипертермичка – осећа се интензивна али подношљива топлота, испод прага бола.

Начелно, атермичка доза примењује се у акутним стањима, олиготермичка и термичка – у хроничним стањима; а хипертермичка – уз велику опрезност примењује се за истезање колагена ожиљног ткива, као увод у стречинг вежбе и мобилизацију зглобова.

Сеанса траје око 20 min. Дужим трајањем топлота се више не повећава, јер се онда успоставља баланс између њене продукције и дисперзије. У једној серији лечења примењује се обично 10 сеанси.

ФИЗИОЛОШКО И ТЕРАПИЈСКО ДЕЈСТВО

Кратки таласи у ткивима изазивају конверзију електричне енергије у топлотну. Највећи конверзивни ефекат настаје услед кретања јона, мањи ефекат је услед ротације дипол-молекула, а најмањи потиче од дисторзије атома и молекула и кретања електрона у виду „облака“.

Количина створене топлоте зависи од диелектричних својстава и омског отпора ткива. Човечије тело представља сложени систем кондензатора и омског отпора. Ћелијске мембране представљају диелектрикум, а међућелијска течност, с једне стране, и цитоплазма, с друге стране, чине проводнике. На тај начин, у ткивима постоје микрокондензатори: два проводника између којих је диелектрикум. Укупни капацитет човечијег тела износи 0,01 до 0,02 μF . Отуда у ткивима, осим омског, постоји и капацитивни отпор; индуктивни практично не постоји.

При примени електричног поља највише се загрева поткожно масно ткиво, иако је оно слабији проводник струје од мишића.⁶⁸ Једно од објашњења јесте у томе што струја у поткожном масном ткиву пролази кроз бројне уске васкуларне канале који окружују масне ћелије, а добро проводе струју, тако да у њима настаје највећа конверзија електричне енергије у топлотну.⁶⁹ Осим тога, кожа и поткожно масно ткиво су ближи електродама, где је и интензитет електричног поља већи.⁶⁰

Распоред топлоте у ткивима донекле се може изменити положајем електрода, њиховом величином и обликом. Ако су електроде близу тела, већа је концентрација поља у површинским ткивима и она се више загревају; обратно је када су електроде удаљеније, тада је загревање равномерније. Ако су електроде мање од третираног сегмента, веће је загревање површинских ткива, а ако су веће, онда је загревање равномерније.

Да би се избегло прекомерно загревање површинских ткива, електроде се могу ставити контрапланарно и укрштено, под правим углом: током прве половине процедуре у једном, а током друге половине у другом правцу. На тај начин, дубоко локализована ткива су изложена електричном пољу двоструко више од коже. Овакав третман се може применити на зглоб колена, карличне органе, параназалне синусе.

При копланарном положају електрода, електрично поље пролази уздужно кроз површинске мишиће, јер су добро васкуларизовани и добро проводе струју па се стога највише загревају; кроз кожу и поткожно ткиво поље пролази само у пределу пројекције електрода, а веома мало између њих.⁶⁰ Овакав положај електрода је нарочито погодан за загревање паравертебралних мишића.

Применом магнетног поља највише се загревају ткива која добро проводе струју као што су мишићи и синовијална течност, јер се вртложне струје индукују у ткивима с добром проводљивошћу.⁸¹ Међутим, загревају се и површинска ткива више од

онога што би се очекивало од магнетног поља. То се објашњава ефектом електричног поља које настаје између суседних завоја на спирала, а може се елиминисати жичаном, тзв. Фарадејевом мрежом.⁶⁰ Неке соленоид електроде имају уграђену такву мрежу.

Енергија кратких таласа апсорбована у ткивима претвара се у топлоту. То је ендогена топлота, која настаје не само у површинским већ и у дубоким ткивима и делује протраховано. Под њеним утицајем повећају се метаболички процеси и настаје вазодилатација. Проток крви и лимфе се повећава и повећавају се дифузиони процеси и пропустљивост капилара, ресорбују се патолошки продукти и смањује се субакутни и хронични оток ткива. Кратки таласи стимулишу регенеративне процесе, повећавају фагоцитозу, а показују и извесно бактериостатично дејство према неким бактеријама као што су гонококе, смањују бол и повишени тонус мишића; примењени с максималном термичком подношљивошћу (хипертермичка доза) повећавају екстензибилитет колагена и омогућавају да се стречинг вежбама и мобилизацијом зглобова повећа обим покрета.

Већина студија о кратким таласима примењиваним у континуираном режиму је старијег датума и има многе методолошке проблеме.³ Скорашње контролисане клиничке студије указују на то да кратки таласи у остеоартритису колена ублажавају бол и смањују задебљање синовије мерено ултрасонографски,³⁰ да сигнификатно повећавају екстензибилитет ткива – мишића листа⁵⁹ и задње ложе натколенице.¹² Marks и сар.⁴⁵ на основу Cochrane систематског прегледа 11 релевантних студија закључили су да кратки таласи ублажавају главне симптоме остеоартритиса колена.

ПОТЕНЦИЈАЛНЕ ОПАСНОСТИ

При примени кратких таласа могу настати опекотине како површинских тако и дубоких ткива. Када су посредни дубоке опекотине, треба имати у виду да се у дубоким ткивима не осећа топлота, јер нема терморептор. Опасност предсказује дубоки бол. Опекотине настају услед концентрације линија електричног поља или поремећаја сензибилитета за термичке дражи.

Електрично поље концентришу метални имплантанти, заостали меци и гелери у телу или метални предмети на телу и у одећи, као и капљице воде и зноја на кожи и влажна одећа. Зубне пломбе не представљају опасност, док зубне жичане удлаге представљају. Опасност такође представљају интраутерине контрацептивне спирале.

Неадекватно растојање електрода или проводних каблова од тела или угаони положај електрода могу да изазову опекотине.

Кратки таласи могу да поремете или да потпуно зауставе рад тригерованих пејсмејкера. Стога болесници с таквим пејсмејкерима треба да буду даље од уређаја за кратке таласе. Кратки таласи могу такође да оштете електронске слушне апарате.

За време трудноће терапеуткиње не треба да се излажу кратким таласима због евентуалне опасности од спонтаног побачаја или малформација плода, иако досадашња истраживања нису то са статистичком значајношћу доказала.⁷⁰

Индикације

Основне индикације за примену кратких таласа су: увод у стречинг вежбе и мобилизацију и тракцију зглобова; посттравматска стања у субакутној и хроничној фази, успорено стварање калуса, посттравматске контрактуре; артрозе периферних зглобова, цервикални и лумбални синдром, анкилозирајући спондилитис, миофасцијални синдром, бурзитис, тендинитис, ентезопатије; постоперативни инфилтрати; аднекситис и параметритис; неуралгије, неуритис, радикулопатије.

Контраиндикације

Контраиндикације за примену кратких таласа су: уграђени срчани пејсмејкер; метал у ткивима, као и на површини тела који се не може скинути за време терапије као што су, на пример, спољни фиксатори или зубне удлаге; преканцерозна стања и малигни тумори; крварење и склоност ка крварењу; активна туберкулоза; оклузивна артеријска обољења; акутна и субакутна венска тромбоза; инкапсулирани гнојни процеси; трудноћа; поремећај сензибилитета за термичке дражи.

Импулсно електромагнетно поље

Реч је о кратким таласима фреквенције 27,12 MHz који се емитују у импулсима веома кратког трајања, иза којих следи веома дуги интеримпулсни интервал. Поједини уређаји производе импулсе од 65 μ s и 400 μ s, с фреквенцијом од 20 до 200 импулса у секунду и вршном излазном снагом од 1000 W, а у оптицају су и уређаји са ширим опсегом параметара.

Просечна излазна снага која се односи на цео циклус, то јест на укупно трајање импулса и интеримпулсног интервала, знатно је мања и пропорционална је циклусном учинку. На пример, за импулсе од $65 \mu\text{s}$ и фреквенције 100 импулса у секунду циклусни учинак је:

$$\frac{65 \mu\text{s}}{1000000 \mu\text{s}} \cdot 100 \cdot 100\% = 0,65\%$$

а ако је вршна излазна снага 1000 W, просечна излазна снага ће бити:

$$1000\text{W} \cdot 0,0065 = 6,5\text{W};$$

за импулсе од $400 \mu\text{s}$ и фреквенције 100 импулса у секунду циклусни учинак је:

$$\frac{400 \mu\text{s}}{1000000 \mu\text{s}} \cdot 100 \cdot 100\% = 4\%,$$

а ако је вршна излазна снага 1000 W, просечна излазна снага ће бити:

$$1000\text{W} \cdot 0,04 = 40\text{W}.$$

Доза или енергија ослобођена на нивоу апликатора изражава се у џулима (J) и једнака је производу просечне излазне снаге, изражене у ватима (W), и трајању апликације, израженом у секундима (s). Ако је просечна излазна снага 40 W а трајање апликације 20 min (1200 s), доза ће бити:

$$40\text{W} \cdot 1200\text{s} = 48\,000\text{J} = 48\text{kJ}.$$

ФИЗИОЛОШКО И ТЕРАПИЈСКО ДЕЈСТВО

За импулсно електромагнетно поље карактеристично је да се топлота повећана током импулса одводи за време интеримпулсног интервала циркулацијом. Поступак, међутим, није стриктно атермички. Импулси дугог трајања и више фреквенције могу да изазову знатно загревање. Draper и сар.¹¹ утврдили су да се температура у гастрокнемијусу на 3 cm испод површине коже повећава у просеку за $3,5^{\circ}\text{C}$ код здравих особа при примени импулсног електромагнетног поља (27,12 MHz) импулсне фреквенције 800 Hz, трајања импулса $400 \mu\text{s}$ и ефективне излазне снаге 48 W, коришћењу индуктивне електроде (моноде) и трајању апликације 20 min.

Импулсно електромагнетно поље поспешује регенерацију ткива, смањује оток и запаљењски процес, повећава проток крви и ублажава бол и спазам мишића.

Механизам дејства није довољно познат. Једноставно објашњење се састоји у томе да електромагнетна енергија „покреће“ јоне, молекуле и, можда, ћелије убрзавајући њихову ензимску активност и транспорт кроз мембрану.¹⁴ Активности ћелија везане су за њихово јонско окружење. Извесна хипополаризација ћелијске мембране у вези је са дисфункцијом ћелије. Мембрански потенцијал од значаја је за контролу деобе ћелије, а тиме и за контролу зарастања оштећеног ткива. Сматра се да би електромагнетно поље могло да утиче на проток јона и на успостављање нормалног потенцијала оштећених ћелије.⁶⁰ На субцелуларном нивоу јавља се пијезоелектрични ефекат, што поспешује остеогенезу када је у питању коштани дисконтинуитет.¹⁹ Претпоставља се, такође, да су ћелије способне да апсорбују енергију електромагнетних поља одређене фреквенције и амплитуде и да ту енергију користе за хемијски рад.⁷⁹

Lehmann и de Lateur⁴⁰ сматрају да импулсно електромагнетно поље нема специфичне терапијске ефекте, већ да терапијски ефекти потичу од благог загревања. Knight и Draper³⁵ тврде да је физиолошки ефекат импулсног електромагнетног поља при просечној снази $\geq 12 \text{ W}$ примарно термички. Састоји се у повећању температуре ткива,^{10,11,20,29,31,32,78} повећању протока крви,^{29,31,32,78} повећању флексибилности фиброзног ткива,^{4,12,26,53} смањењу инфламације,³ смањењу синовитиса,²⁹ апсорпцији хематома,³ ублажавању бола.^{29,32,47,78}

У експериментима на животињама и болесницима утврђено је да импулсно електромагнетно поље повећава локалну микроваскуларну перфузију и оксигенацију ткива, као и фагоцитозу и продукцију колагена и стимулише зарастање торпидних рана и улкуса.^{28,48,49,64,71} У експериментима на животињама регистровано је да поспешује регенерацију периферних живаца^{56,57} и зарастање фрактура.⁵¹

У неким клиничким студијама приказано је да импулсно електромагнетно поље делује ефикасно на симптоме остеоартритиса,^{7,29,37,55} на угануће скочног зглоба праћено фрактуром,^{52,72} бол у леђима⁸³ и врату,¹⁶ на тригер тачке у леђима и врату,¹⁶ *whiplash* повреде вратне кичме,¹⁷ повреде шаке,¹ на симптоме након операције стопала,⁶⁵ док у другим студијама није регистрован сигнификантан ефекат на остеоартритис,^{5,33,30} угануће скочног зглоба,^{2,46} бол у леђима²² и врату.¹³ У метаанализи која је је обухватила девет рандомизованих контролних студија при-

казано је да импулсно електромагнетно поље повећава клинички скор и функцију код болесника са остеоартритисом колена, али да не постоји сигнификантна разлика у ублажавању бола у односу на контролу.⁸⁰

ТЕХНИКА ПРИМЕНЕ И ДОЗИРАЊЕ

Техника примене је иста као и за континуиране кратке таласе. Код неких уређаја примена је ограничена само на индуктивну цилиндричну электроду, која се ставља непосредно уз тело.

Не постоји усаглашени став у погледу дозирања. Начелно, импулсно електромагнетно поље дозира се према просечној излазној снази израженој у ватима и трајању сеансе. У акутним стањима примењују се мања, а у субакутним и хроничним већа просечна снага, што се односи и на трајање сеансе, које може да износи од 15 до 60 min.

Током процедуре терапеут треба да је од уређаја удаљен најмање 0,5 m када се користе капацитивне и 0,2 m када се користе индуктивне електроде.⁶⁰

КОНТРАИНДИКАЦИЈЕ

Контраиндикације су: уграђени срчани пејсмејкер, преканцерозна стања и малигни тумори, активна туберкулоза; трудноћа.

Контраиндикацију представљају метални имплантанти у облику жичане омче, којом се фиксирају шипке и плоче при прелому костију. Када су у питању метални имплантанти који нису у облику омче, импулсни кратки таласи се могу применити с опрезношћу.⁶⁰

ИМПУЛСНО ЕЛЕКТРОМАГНЕТНО ПОЉЕ МАЛЕ СНАГЕ

Посреди су кратки таласи фреквенције 27,12 MHz који се емитују у веома кратким импулсима с веома малом излазном снагом, а примењује се помоћу емисионих антена које се директно стављају на тело.

THELF® уређаји производе импулсе од 60 μ s с вршном излазном снагом од 50 mW и фреквенцијом која се по геометријској прогресији (удвостручавањем) може бирати од 5 до 640 импулса у секунду.²⁴ При фреквенцији од 5 импулса у секунду просечна излазна снага је 0,015 mW, а при фреквенцији од 640 им-

пулса у секунду износи 0,192 mW. Отуда и апликација може да траје дуго – од 30 min до неколико часова, па и дана.

Импулсно електромагнетно поље високе фреквенције и мале снаге одликује се атермичким ефектом. Стимулише зарастање прелома костију, ублажава бол, оток и запаљењски процес, изазива вазодилатацију.

Индикације

Индикације су: повреде меких ткива, успорено стварање калу-са, реуматична обољења, обољења периферних артерија.

Контраиндикације

Контраиндикације су: уграђени срчани пејсмејкер, трудноћа, крварење и склоност ка крварењу.

ДУГИ ТАЛАСИ

Дуги таласи су се користили у лечењу с почетка XX века; међутим, уређаји су били несавршени, а савитљиве оловнокалајне електроде директно су се стављале на кожу, распоред топлоте био је веома неправилан, највише су се загревали поткожно масно ткиво и кости и често је долазило до опекотина, па је примена таквих уређаја напуштена.

УРЕЂАЈ И ТЕХНИКА ПРИМЕНЕ

Однедавно постоји софистицирани уређај Skanlab 25 Bodywave®, који продукује електрично поље дугих таласа фреквенције 1 MHz, којој одговара таласна дужина од 300 m, максимална излазна снага је 25 W. Овај уређај производи норвешка фирма Skanlab AS, Fredrikstad.

Електрично поље у овом уређају примењује се помоћу кондензаторских електрода: једна је активна, тзв. третман електрода, која се покреће преко циљног подручја кружно или уздужно, а друга је инактивна, тзв. слободна електрода за уземљење (енгл. *floating ground electrode*) и ставља се наспрам третман електроде. Третман електроде се производе у три димензије: 15, 23 и 30 mm. Постоје две врсте електрода за уземљење: једна је у облику штапића, а друга је адхезивна.⁷⁵

Електроде представљају облоге кондензатора, а део тела између њих је диелектрикум. Капацитет кондензатора директно је пропорционалан производу диелектричне константе и вели-

чине третман електроде, а обрнуто растојању између електрода:

$$C = \varepsilon \cdot \frac{A}{d},$$

где је C – капацитет, ε – диелектрична константа, A – величина третман електроде, d – растојање између третман електроде и електроде за уземљење.

На циљно подручје, преко којег се покреће третман електрода, мора да се стави специјални кондуктивни гел отпоран на топлоту, а према величини тог подручја бира се величина третман електроде. Кожа на коју се апликује адхезивна електрода за уземљење треба да је чиста, сува и интактна, а када се користи електрода за уземљење у виду штапића, на кожу мора да се стави специјални кондуктивни гел. Ова електрода се фиксира



Слика 9.8. Примена дугих таласа у пределу Ахилове тетиве.
(Из Skanlab 25 Bodywave® – capacitive energy transfer system.
Users Manual. Scanlab AS, Fredrikstad, Norway)

помоћу велкро траке или, у већини случајева, када болесник лежи, тежином тела. Електроде морају добро да приањају уз тело. Ради бољег контакта, препоручује се да се и на третман электроду и электроду за уземљење у виду штапића стави гел. Каблови при апликацији не смеју да се међусобно додирују, нити да додирују болесника или терапеута, као и било који електрокондуктивни материјал.⁷⁵

Излазна снага се бира на скали од девет степени, и то тако да болесник осећа пријатну топлоту. Ако је третман електрода већа, потребна је већа снага, и обратно. На примењену излазну снагу, такође, утиче дебљина коже. Ако је кожа дебела и рожа-

ста, користи се већа снага. Трајање једне сеансе зависи од величине циљног подручја и од стадијума патолошког поремећаја, и износи најмање 10 min. У принципу, за подручје површине длана трајање треба да износи 12 до 14 min. Једна серија лечења се састоји од 6 до 15 сеанси, које се примењују три до четири пута седмично.⁷⁵

ФИЗИОЛОШКО И ТЕРАПИЈСКО ДЕЈСТВО

Дуги таласи се кроз ткива преносе линеарним кретањем јона, ротацијом дипол-молекула и дисторзијом електронских путања атома и молекула. Услед њиховог међусобног сударања настаје конверзија електричне енергије у топлотну.

Продукција топлоте зависи од електричног отпора ткива и њиховог положаја у односу на линије електричног поља. Ткива с великим отпором као што су масно и фиброзно ткиво највише се загревају ако леже попречно у односу на линије поља, док се ткива с ниским отпором као што су мишићи највише загревају ако леже уздужно према линијама поља.⁶³

Топлота се ствара не само у површинским већ и у дубоким ткивима. Под утицајем повећане топлоте проширују се артериоле, повећава се проток крви, повећавају се метаболички процеси. У терапијском погледу, поспешује се резолуција запаљењског процеса и зарастање повређених ткивних структура, повећава се екстензибилитет колагена, смањује се бол и мишићни спазам.^{18,36,62}

ИНДИКАЦИЈЕ

Индикације за примену дугих таласа су: периартритис рамена и кука, епикондилитис, бурзитис, тендинитис, миофасцијални болни синдром, плантарни фасциитис, синдром карпалног тунела, хондромалација пателе, дистензије и дисторзије, парцијалне руптуре тетива, посттрауматски хематоми, затим цервикални и лумбални синдром, артрозе и артритис, кожни ожиљци.

КОНТРАИНДИКАЦИЈЕ

Контраиндикације су: малигне болести, крварења и склоност ка крварењу, трудноћа, активна туберкулоза, обољења периферних артерија, флебитис, уграђени срчани пејсмејкер, метални имплантанти, зубне пломбе, акутна инфламација прва два до три дана после повреде.

МИКРОТАЛАСИ

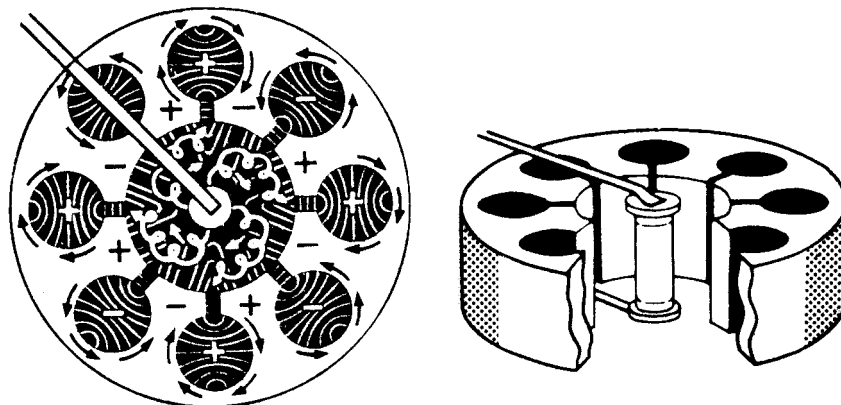
У електромагнетном спектру микроталаси се налазе између кратких таласа, с једне стране, и инфрацрвених зрака, с друге стране. Они се простиру, одбијају, фокусирају и апсорбују слично светлосним зрацима, па се зову и квазиоптички зраци. У терапији се примењују с фреквенцијом од 2450 MHz, којој одговара таласна дужина од 12,2 cm.

УРЕЂАЈ И ТЕХНИКА ПРИМЕНЕ

Као извор микроталаса служи специјални уређај, назван магнетрон, који сједињује функцију осцилаторног кола и електронске цеви. Састоји се од аноде у облику цилиндричног блока и катоде у облику шипке, аксијално постављене у средини блока. У аноди се налази паран број процепа и шупљина, који представљају резонаторе, то јест осцилаторна кола. Процепа имају улогу кондензатора, а шупљине улогу самоиндукционог калема. Цео систем је у пољу јаког магнета. Када се загреје, катода емитује електроне, који се у млазу, огромном брзином, крећу ка аноди. Услед дејства магнетног поља, електрони се не крећу праволинијски већ круже у простору између катоде и аноде. При том кружењу, они у резонаторима изазивају осцилације с фреквенцијом и таласном дужином које одговарају микроталасима.

Сви резонатори су међусобно индуктивно повезани, тако да се један резонатор спаја с коаксијалним каблом, којим се електромагнетна енергија одводи до антене за зрачење. Антена је монтирана у средину металног рефлектора. Она емитује микроталасе дивергентно, у свим правцима, а рефлектор их одбија и усмерава ка објекту зрачења.

Антена с рефлектором представља емитер, који се назива и директор или апликатор. Према облику и величини, постоји више врста емитера: полусферични, полуцилиндрични и олучасти – за зрачење већих површина; фокусни – за зрачење мањих површина; и контактни – за зрачење телесних шупљина.



Слика 9.9. Магнетрон

Емитер се ставља на растојање од 5 до 10 cm од тела. Интензитет зрачења опада с квадратом растојања од извора зрачења. Уколико је растојање веће утолико је дисперзија електромагнетног поља већа а интензитет зрачења мањи, и обратно. Емитер треба да се стави тако да зраци падају на тело перпендикуларно, то јест да је упадни угао нула степени, јер је тада, према закону косинуса, пенетрација микроталаса у тело највећа. Примењује се и зрачење кроз врећице с песком, при чему се смањује одбијање и дисперзија и повећава интензитет који допире до тела, па се доза може смањити за половину од уобичајене. Кроз одећу се не зрачи, јер одећа апсорбује микроталасе.

ДОЗИРАЊЕ

Микроталаси се дозирају према субјективном осећају топлоте и излазној снази генератора. Постоје четири дозе:

1. атермичка, са излазном снагом до 10 W;
2. олиготермичка, са снагом од 10 до 30 W;
3. термичка, са снагом од 30 до 70 W; и
4. хипертермичка, са снагом већом од 70 W.

Оптимално трајање зрачења износи 20 min; дужим трајањем топлота се, услед васкуларне реакције и успостављене дисперзије, не повећава. Серија лечења се састоји од 10 зрачења, а може се поновити после три до четири месеца.

ФИЗИОЛОШКО И ТЕРАПИЈСКО ДЕЈСТВО

На граници двеју средина с различитим диелектричним својствима микроталаси се једним делом одбијају, а другим делом пенетрирају. Одбијање је велико на граници ваздух–кожа, ко-

жа–масно ткиво, масно ткиво–мишић и мишић–кост, и зависно од дебљине коже и масног ткива, износи 50 до 75%.⁶⁷

Пенетрирајућа енергија се апсорбује у ткивима. Однос између пенетрације и апсорпције је реципрочан, то јест дубина пенетрација је утолико већа уколико је апсорпција мања, и обратно. Енергија рефлектована унутар ткива такође се апсорбује, што повећава загревање површинских ткива.⁶¹

При пенетерацији микроталаси се преламају и, ако је граница између две средине конвексна, они конвергирају, а ако је конкавна дивергирају, што је од значаја за образац загревања. При конвергенцији веће је загревање у дубини, а обратно је при дивергенцији.^{25,84}

Апсорбована микроталасна енергија, изазивајући ротацију дипол-молекула, кретање јона и дисторзију електронских путања атома и молекула, повећава топлоту у ткивима. Количина повећане топлоте је пропорционална количини апсорбоване енергије. Апсорпција је највећа у ткивима с великим садржајем воде као што су мишићи и паренхимни органи, јер је фреквенција микроталаса блиска фреквенцији релаксационих осцилација дипол-молекула воде. Релаксациона фреквенција је она фреквенција при којој је ротација дипол-молекула највећа: 180 степени. Када је ова фреквенција нижа од фреквенције микроталаса, дипол-молекули заостају у своме кретању, па је апсорпција мања.

Апсорпција је најмања у ткивима с ниским садржајем течности као што су масно и коштано ткиво. При проласку кроз масно ткиво енергија микроталаса фреквенције 2 450 MHz смањује се за половину на дубини од 3,5 cm, а при проласку кроз мишићно ткиво смањује се за половину већ на дубини од 0,7 cm.⁸⁴ Отуда микроталаси термички не оптерећују поткожно масно ткиво као кратки таласи. Међутим, ако је дебљина масног ткива већа од 2 cm, у њему ће се већи део енергије апсорбовати, а у мишиће ће пенетрирати преостали мањи део и они ће се мање загрејати него масно ткиво.

Висока апсорпција у првим слојевима мишића онемогућава дубоку пенетрацију микроталаса. Топлотни ефекат настаје на дубини од 3 до 5 cm. Микроталаси су погодни за загревање мишића и зглобова који нису окружени дебелим слојем поткожног масног ткива и великим мишићима као што су зглобови шаке и прстију, стопала и предња страна колена,⁶¹ док за загревање кука нису подесни.^{43,61}

Дистрибуција микроталасне енергије зависи и од облика емитера. Полусферични (кружни) емитери обично дају кружни

образац загревања, које је веће на периферији него у центру, док полуцилиндрични (издужени) дају овални образац загревања, које је веће у центру него на периферији.⁵⁴

Модел микроталасне терапије јесте преференцијално загревање коже и мишића. Микроталаси фреквенције 915 MHz (и та фреквенција је дозвољена за примену у медицини) дубље продиру у ткива и више загревају мишиће и дубока ткива од микроталаса фреквенције 2450 MHz и из тог аспекта су прикладнији за терапијско загревање. Међутим, микроталаси фреквенције 2450 MHz су у предности у том смислу што могућим ексцесивним загревањем коже драже рецепторе за топлоту сигнализирајући опасност од појаве опекотина.⁶¹

Модерни уређаји омогућавају емисију микроталаса у континуираном и импулсном режиму. Нема релевантних доказа да импулсни микроталаси на ткива делују екстратермички.⁶¹

Ендогена топлота продукувана микроталасима изазива вазодилатацију и повећава проток крви,^{21,40,58,73,74,87} повећава пластицитет везивног ткива и омогућава да се стречинг вежбама и мобилизацијом оно истегне када је скраћено,^{6,8,15,42,85} ублажава бол и мишићни спазам,^{34,40,50,82} убрзава резолуцију запаљењског процеса и поспешује зарастање ткива.^{34,40,41}

ПОТЕНЦИЈАЛНА ОШТЕЋЕЊА И МЕРЕ ЗАШТИТЕ

Ексцесивним предозирањем могу настати опекотине. У експериментима на животињама оне захватају кожу и површинске слојеве мишића, док је поткожно масно ткиво релативно поштеђено.⁷⁷ Микроталасну енергију метал знатно више рефлектује него што апсорбује. Рефлектована енергија апсорбује се у ткивима близу метала и може изазвати њихово прегрејавање и опекотине. Опекотине могу такође изазвати и капљице зноја на кожи.

Будући да се микроталаси одбијају од коштаних површина, постоји могућност стварања стојећих таласа с локалним прегрејавањем у тзв. врелим тачкама (енгл. *hot spot's*).³⁵ Таква могућност постоји када су у питању микроталаси фреквенције 2450 MHz.

На микроталасе су особито осетљиви органи с великим садржајем течности и слабом васкуларизацијом: очи, тестиси, оваријуми, епифизе костију у расту, отечени зглобови. Они селективно апсорбују микроталасе, створена топлота не може да се одстрани циркулацијом, па настаје прегрејавање.

С високом дозом могуће је код експерименталних животиња изазвати катаракту.⁴⁰ Очи се не смеју директно зрачити, а током зрачења треба ставити специјалне наочаре од металне мреже

или наочаре с танким слојем метала уграђеним у стакло, од којих се микроталаси одбијају.

Прегрејавање може да оштети тестисе и сперматогенезу. Стога треба избегавати директну експозицију тестиса и предузети заштитне мере да одбијена и расејана радијација не допире до њих.⁸⁶ Оваријуми су због свог дубоког положаја заштићени од микроталасне радијације.⁶¹

Микроталасна радијација може да погорша синовитис.³⁹

За време гравидитета терапеуткиње треба да избегавају микроталасну експозицију, због опасности од спонтаних побачаја²⁷ и евентуалних конгениталних малформација плода.⁷⁶

Безбедна дистанца за персонал износи 1 m испред а 25 cm иза емитера при зрачењу с дозом мањом од 100 W, а при зрачењу с већом дозом 1,4 m.²⁶

Индикације

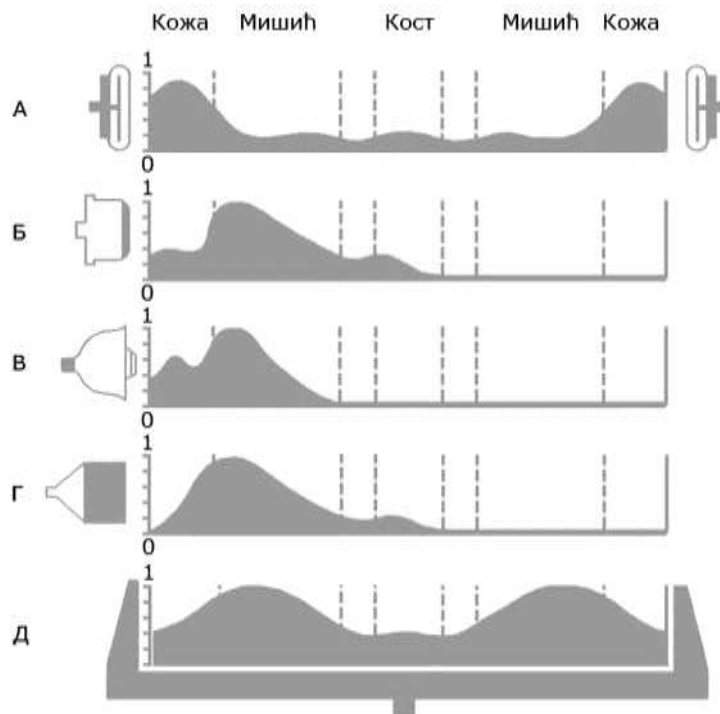
Индикације за микроталасно зрачење су: постакутне мускуло-скелетне повреде, контрактуре; синдром фибромијалгије, мио-фасцијални болни синдром, тендинитис, бурзитис, артрозе, артритис, анкилозирајући спондилитис; неуралгија, неуритис, радикулитис; аднекситис, параметритис, маститис после порођаја; синзитис, отитис; темпоромандибуларни артритис, грануломи, алвеолитис, запаљења пре и после вађења зуба.

Контраиндикације

Контраиндикације су: уграђени срчани пејсмејкер; метални имплантанти; преканцерозна стања и малигни тумори; акутна запаљења; инкапсулирани гнојни процеси; активна туберкулоза; оклузивна артеријска обољења; акутна и субакутна венска тромбоза; крварење и склоност ка крварењу; гравидни утерус; зрачење очију, тестиса и епифиза костију у расту; поремећај сензибилитета за термичке дражи.

УЛТРАКРАТКИ ТАЛАСИ

Дозвољена фреквенција ултракратких таласа за примену у медицини је 433,92 MHz, којој одговара таласна дужина од 69 cm. Добијају се помоћу генератора који ради на принципу магнетрона. Примењују се, као и микроталаси, посредством антене с рефлектором, која се ставља на 3 до 10 cm од тела. Дозирају се према субјективном осећају топлоте и излазној снази генератора.



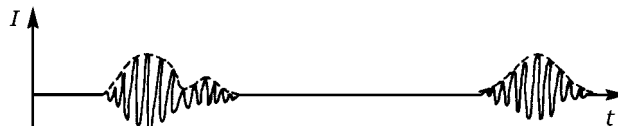
Слика 9.10. Распоред топлоте у ткивима при примени:
 А – електричног поља кратких таласа (кондензаторске електроде);
 Б – магнетног поља кратких таласа (монода); В – микроталаса
 (полусферична електрода); Г – ултракратких таласа (округла
 електрода); Д – ултракратких таласа (олучаста електрода)

Ултракратки таласи дубље продиру у тело од микроталаса, јер се мање апсорбују у ткивима богатим течностима. При преласку из једне средине у другу мање се одбијају од микроталаса; стојећи таласи се при њиховом одбијању практично не стварају. У ткивима изазивају равномернију топлоту од микроталаса. Термички не оптерећују поткожно масно ткиво.

Индикације и контраиндикације су исте као и за микроталасе.

Д'АРСОНВАЛОВА СТРУЈА

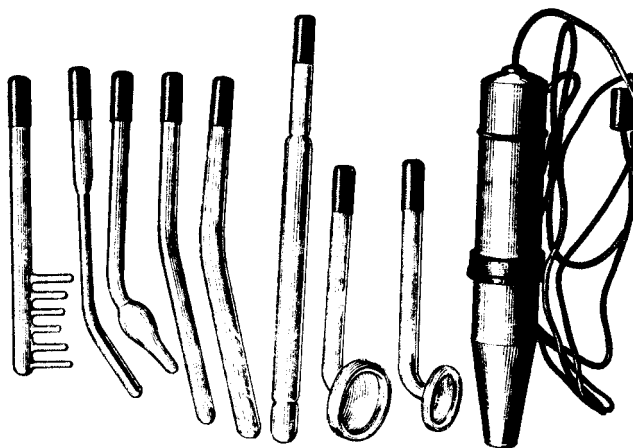
Д'Арсонвалова струја је наизменична струје фреквенције 100 до 200 kHz, високог напона и мале јачине (напон у техничком колу износи неколико десетина милиона волти, а јачина струје у терапијском колу неколико милиампера). У ствари, то су серије модулисаних импулса, које трају око 20 μ s, а у једном секунду се понављају 50 до 100 пута.



Слика 9.11. Д'Арсонвалове струје

Уређаји за продукцију ове струје садрже генератор струје високе фреквенције и модулатор. У састав уређаја улази и резонатор, који се састоји од спирале с великим бројем намотаја жице, и чини део терапијског осцилаторног кола, а служи и као аутотрансформатор за повећање напона. На резонатор се прикључују електроде. То су стаклене цевчице разног облика с разређеним јонизованим ваздухом. Називају се и кондензаторским електродама, јер, када се ставе на тело, једну облогу кондензатора чини јонизовани ваздух, другу – део тела, а диелектрикум је стакло. У току рада светле розељубичасто.

Дарсонвализација може бити локална и општа. Локална се примењује стабилном или лабилном техником. При стабилној методици електрода се ставља на кожу или се уноси у телесну шупљину и не помера се. Болесник осећа лаку топлоту. При лабиној техници електрода се помера, али се не удаљава од коже. У току апликације чује се лако прштење и виде се мале варнице. Ако се електрода удаљи, варнице „прескачу“ и могу да изазову тачкасте опекотине. Код неких обољења као што су проширене вене и лимфна стаза, као и када се жели психотерапијски и аналгетички ефекат, електрода се незнатно удаљава од коже. Апликација траје 10 до 15 min.



Слика 9.12. Електроде за локалну дарсонвализацију с резонатором. (Из Пасынков ЕИ: *Общая физioterapia*. Москва: Медицина 1969)

Општа дарсонвализација се примењује помоћу великог соноида, у коме болесник седи на дрвеној столици. Одећу не скида, али из одеће треба да извади металне предмете и да скине накит с тела. На болесника делује променљиво магнетно поље.

ФИЗИОЛОШКО ДЕЈСТВО

Д'Арсонвалова струја има слаб топлотни ефекат, јер је јачина струје мала.

Локална дарсонвализација изазива вазодилатацију артериола, тонизира крвне судове, побољшава трофику и стимулише развој гранулативног ткива, смањује пруритус, бол и спазам мишића.

Општа дарсонвализација делује седативно и смањује крвни притисак.

ИНДИКАЦИЈЕ

Индикације за локалну дарсонвализацију су: трофичке улцерације, варикозитети; Рејноова болест, периферне артериопатије; алопеција, пруритус разне генезе; парадонтоза, гингивитис; каузалгија, неуралгија, главобоља; несаница, неурастенија.

КОНТРАИНДИКАЦИЈЕ

Контраиндикације су: малигни тумори, крварење и склоност ка крварењу, поремећај кожне осетљивости, индивидуална неподношљивост.

РЕФЕРЕНЦЕ

1. Barclay V, Collier R, Jones A. Treatment of various hand injuries by pulsed electromagnetic energy (Diapulse). *Physiotherapy* 1983; 69: 186–188.
2. Barker AT, Barlow RS, Porter J, et al. A double-blind clinical trial of low-power pulsed shortwave therapy in treatment of a soft tissue injury. *Physiotherapy* 1985; 71: 500–504.
3. Bricknell R, Watson T. The thermal effects of pulsed shortwave therapy. *Br J Ther Rehabil* 1995; 2: 430–434.
4. Brucker JB, Knight KL, Rubley MD, et al. An 18-day stretching regimen, with or without pulsed shortwave diathermy, and ankle dorsiflexion after 3 weeks. *J Atl Train* 2005; 40: 276–280.
5. Callaghan MJ, Whittaker PE, Grimes S, et al. An evaluation of pulsed shortwave diathermy on knee osteoarthritis using radioleucoscintigraphy: A randomized, double blind, controlled study. *Joint Bone Spine* 2005; 72: 150–155.
6. Castor CW, and Yaron M. Connective tissue activation. The effects of temperature studied *in vitro*. *Arch Phys Med Rehabil* 1976; 57: 5–9.
7. Chamberlain MA, Care G, Harfield B. Physiotherapy in osteoarthritis of the knees. *Int Rehab Med* 1982; 4: 101–106.

8. DeLateur BJ, Stonebridge JB, and Lehmann JF. Fibrous muscular contraction: Treatment with a new direct contact microwave applicator operating at 915 MHz. *Arch Phys Med Rehabil* 1978; 59: 488–490.
9. Draper DO, Castro J, Feland B, et al. Shortwave diathermy and prolonged stretching increase hamstrings flexibility more than prolonged stretching alone. *J Orthop Sports Phys Ther* 2004; 34: 413–420.
10. Draper DO. Interest in diathermy heats up again. *Biomechanics* 2001; 8: 77–83.
11. Draper DO, Knight KL, Fujiwara T, et al. Temperature change in human muscle during and after pulsed short-wave diathermy. *J Orthop Sports Phys Ther* 1999; 29: 13–18.
12. Draper DO, Miner L, Knight KL, et al. The carryover effects of diathermy and stretching in developing hamstring flexibility. *J Atl Train* 2002; 37: 37–42.
13. Dziedzic K, Hill J, Lewis MS, et al. Effectiveness of manual therapy or pulsed shortwave diathermy in addition to advice and exercise for neck disorders. A pragmatic randomized controlled trial in physical therapy clinics. *Arthritis Reum* 2005; 53: 214–222.
14. Evans A. The healing process at cellular level: a review. *Physiotherapy* 1980; 66: 256–258.
15. Fadilach R, Pinkas J, and Weineberger A. Heating rabbit joint by microwave applicator. *Arch Phys Med Rehabil* 1987; 68: 710–712.
16. Foley-Nolan D, Barry C, Coughlan BJ, et al. Pulsed high frequency (27 MHz) electromagnetic therapy for persistent neck pain. A double blind, placebo controlled study of 20 patients. *Orthopedics* 1990; 13: 445–451.
17. Foley-Nolan D, Moore K, Codd M, et al. Low energy high frequency pulsed electromagnetic therapy for acute whiplash injuries. *Scand Rehab Med* 1992; 24: 51–59.
18. Frosøth H, Eklund T, Kluver D, et al. Objective assessment with epicondylitis radialis treated by capacitor method using Skanlab 25 Bodywave. *Fizioterapeuten* 1994; 12: 21–24.
19. Fukada E, Yasuda I. Piezoelectric effects in cartilage. *Jpn J Appl Physiol* 1964; 3: 117–121.
20. Garrett CL, Draper DO, Knight KL. Heat distribution in the lower leg from pulsed short-wave diathermy and ultrasound treatment. *J Atl Train* 2000; 35: 13–22.
21. Gersten JW, Wakim KG, Herrick JF, et al. The effect of microwave diathermy on the peripheral circulation and on tissue temperature in man. *Arch Phys Med* 1949; 30: 7–25.
22. Gibson T, Graham R, Harkness J, et al. Controlled comparison of shortwave diathermy treatment with osteopathic treatment in non-specific low back pain. *Lancet* 1985; I (8440) 1258–1261.
23. Goats GC. Microwave diathermy. *Br J Sports Med* 1990; 24: 212–218.
24. Goljevac Lj. Prikaz aparata sistema THELF i način aplikacije PEMP-a. U *Zbornik radova o elektro-biološkoj indukciji osteogeneze*. Novi Sad: Institut za hirurgiju 1989; 78–82.
25. Guy A. Biophysics of high frequency currents and electromagnetic radiation. In Lehman J (ed): *Therapeutic Heat and Cold*. Williams & Wilkins 1982.
26. *Health Equipment Information*. London: No.188, September 1980.
27. Hellstrom RO, Stewart WF. Miscarriage among female physical therapists who report using radio- and microwave frequency electromagnetic radiation. *Am J Epidemiol* 1993; 138: 775–785.
28. Itoh M, Montemayor JS, Matsumoto E, et al. Accelerated wound healing of pressure ulcers by pulse high peak power electromagnetic energy (Dipulse). *Decubitus* 1991; 2: 24–28.

29. Jan MH, Chai H, Wang C, *et al.* Effects of repetitive shortwave diathermy for reducing synovitis in patients with knee osteoarthritis: An ultrasonographic study. *Phys Ther* 2006; 86: 236–244.
30. Jan MH, Lai JS. The effect of physiotherapy on osteoarthritic knees of females. *J Formos Med Assoc* 1991; 90: 1008–1013.
31. Jan M, Lin K. Clinical heat effect of shortwave diathermy on knee joint. *Formosan J Phys Ther* 1990; 15: 7–13.
32. Jan M, Yip P, Lin K. Change of arterial blood flow and skin temperature after direct and indirect shortwave heating on knee. *Formosan J Phys Ther* 1993; 18: 64–71.
33. Klaber-Moffett J, Richardson P, Frost H, *et al.* A placebo controlled double blind trial to evaluate the effectiveness of pulsed shortwave diathermy for osteoarthritic hip and knee pain. *Pain* 1996; 67: 121–127.
34. Kloth L. Shortwave and microwave diathermy. In Miclowitch SL, Wolf SL (eds): *Thermal Agents in Rehabilitation*. F. A. Davis Company 1986.
35. Knight KL, Draper DO. Diathermy. In *Therapeutic Modalities: the Art and Science*. Wolter Kluwer|Lippincott Williams & Wilkins 2008.
36. Larsson H, Sheredin K, Karisson J. Treatment effect with Skanlab 25 Bodywave for medial tibialis pain syndrome. <http://www.skanlab.no> 1995.
37. Laufer Y, Ziberman R, Porat R, *et al.* Effect of pulsed shortwave diathermy on pain and function of subjects with osteoarthritis of knee: a placebo controlled double blind clinical trial. *Clin Rehabil* 2005; 19: 255–263.
38. Lerman Y, Caner A, Jacobovich R, *et al.* Electromagnetic fields from shortwave diathermy equipment in physiotherapy departments. *Physiotherapy* 1996; 82: 456–458.
39. Lehmann JF. Comparison of relative heating patterns produced in tissue by exposure to microwave energy with exposure at 2 450 and megacycles. *Arch Phys Med Rehabil* 1965; 46: 307.
40. Lehmann JF, de Lateur BJ. Therapeutic heat. In Lehman J (ed): *Therapeutic Heat and Cold*. Williams & Wilkins 1982.
41. Lehmann JF, Dundore DE, Esselman PC, *et al.* Microwave diathermy: effects on experimental muscle haematoma resolution. *Arch Phys Med Rehabil* 1983; 64: 127–129.
42. Lehmann JF, Masock AJ, Warren CG, *et al.* Effect of therapeutic temperatures on tendon extensibility. *Arch Phys Med Rehabil* 1970; 51: 481–487.
43. Lehmann JF, McMillan JA, Brunner GD, *et al.* Comparative study of the efficiency of short-wave, microwave and ultrasonic diathermy in heating the hip joint. *Arch Phys Med Rehabil* 1959; 40: 510–512.
44. Low JL. The nature and effects of pulsed electromagnetic radiation. *N Z J Physiother* 1978; 6: 18–22.
45. Marks R, Ghassemi M, Durate R, *et al.* A review of the literature on shortwave diathermy as applied to osteo-arthritis of the knee. *Physiotherapy* 1999; 85; 304–316.
46. McGill SN. The effect of pulsed shortwave therapy on lateral ligament sprain of the ankle. *N Z J Physiother* 1988; 10: 21–24.
47. McGray RE, Patton NJ. Pain relief at trigger point: Comparison of moist heat and shortwave diathermy. *J Orthop Sports Phys Ther* 1984; 5: 175–178.
48. Mayrovitz HN, Larsen PB. A preliminary study to evaluate the effect of pulse radio frequency field treatment of lower extremity peri-ulcer skin microcirculation on diabetic patients. *Wounds* 1995; 7: 90–93.
49. Mayrovitz HN, Larsen PB. Effects of pulse electromagnetic fields on skin microvascular blood perfusion. *Wounds* 1992; 4: 197–202.

50. Newton RA. Contemporary views on pain and the role played by thermal agents in rehabilitation. In Miclowitch SL, Wolf SL (eds): *Thermal Agents in Rehabilitation*. F. A. Davis Company 1986.
51. Otter M, McLeod K, Rubin C. Effects of electromagnetic fields in experimental fracture repair. *Clin Orthop Rel Res* 1998; 355: 590–S104.
52. Pennington GM, Danley DL, Sumko MH, et al. Pulsed, non-thermal, high-frequency electromagnetic energy (Diapulse) in the treatment of grade I and II ankle sprain. *Mil Med* 1993; 158: 101–104.
53. Peres SE, Draper DO, Knight KL, et al. Pulsed shortwave diathermy and prolonged long-duration stretching increase dorsiflexion range of motion more than identical stretching without diathermy. *J Athl Train* 2002; 37: 43–50.
54. Prentice WE, Draper DO. Shortwave and microwave diathermy. In Prentice WE (ed): *Therapeutic Modalities for Physical Therapists*. McGraw-Hill 2002.
55. Quirk AS, Newman RJ, Newman KJ. An evaluation of interferential current, shortwave diathermy and exercise in treatment of osteoarthritis of the knee. *Physiotherapy* 1985; 71: 55–57.
56. Raji A. An experimental study of the effects of pulsed electromagnetic field (Diapulse) on nerve repair. *J Hand Surg* 1984; 98: 105–111.
57. Raji A, Bowden R. Effect of high-peak pulsed electromagnetic field on the degeneration and regeneration of the common peroneal nerve in rats. *J Bone Joint Surg* 1983; 65B: 478–492.
58. Richardson AW. Effect of microwave induced heating on the blood flow through skeletal muscles. *Am J Phys Med* 1954; 33: 103–107.
59. Robertson V, Ward AR, Jung P. The effect of heat on tissue extensibility: a comparison of deep and superficial heating. *Arch Phys Med Rehabil* 2005; 86: 819–825.
60. Robertson V, Ward A, Low J, Reed A. Electromagnetic fields: shortwave. In *Electrotherapy Explained: Principles and Practice*. Butterworth-Heinemann Elsevier 2006.
61. Robertson V, Ward A, Low J, Reed A. Microwave diathermy. In *Electrotherapy Explained: Principles and Practice*. Butterworth-Heinemann Elsevier 2006.
62. Rodahi K, Frosøth H, Mæhlum S, et al. The effect of the treatment with Skanlab 25 Bodywave on the patients with tennis elbow <http://www.skanlab.no> 1996.
63. Rodahi K, Mæhlum S. The effect of the treatment with Skanlab 25 Bodywave to the deep temperature on healthy test person. A pilot study. <http://www.skanlab.no> 1997.
64. Salzberg CA, Cooper-Vastola SA, Perez FJ, et al. The effect of non-thermal pulse electromagnetic energy (Diapulse) on wound healing of pressure ulcers in spinal cord injured patients: a randomized, double-blind study. *Wounds* 1995; 7: 11–16.
65. Santiesteban AJ, Grant C. Post-surgical effect of pulsed shortwave therapy. *J Am Podiat Med* 1985; 75: 306–309.
66. Schliephake E. *Kurzwellentherapie*. 6 Auflage, Stuttgart: G. Fischer Verl. 1960.
67. Schowcroft AT, Mason AH, Hyane CR. Safety with microwave diathermy. *Physiotherapy* 1977; 63: 359–361.
68. Schwan HP. Biophysics of diathermy. In Licht S (ed): *Therapeutic Heat and Cold*. Baltimore: Waverly Press 1965.
69. Scott BO. Shortwave diathermy. In Licht S (ed): *Therapeutic Heat and Cold*. Baltimore: Waverly Press 1965.
70. Shields N, O'Hare N, Gomley J. Short-wave diathermy pregnancy: What is the evidence. *Adv Physiother* 2003; 5: 2–14.

71. Seaborne D, Quirion-DeGiradi C, Rousseau M, *et al.* The treatment of pressure sores using pulsed electromagnetic energy (EME). *Physiotherapy* 1996; 48: 131–137.
72. Seiger C, Draper DO. Use pulsed shortwave diathermy and joint mobilisation to increase ankle range of motion in the presence of surgical implanted metal. A case series. *J Orthop Sports Phys Ther* 2006; 36: 669–677.
73. Sekins KM, Dundore D, Emery AF, *et al.* Muscle blood flow change in response to 915 MHz diathermy with surface cooling as measured by Xe133 clearance. *Arch Phys Med Rehabil* 1980; 61: 105–113.
74. Sekins KM, Lehmann JF, Esselman P, *et al.* Local muscle blood flow and temperature response to 915 MHz diathermy as simultaneously measured and numerically predicted. *Arch Phys Med Rehabil* 1984; 65: 1–7.
75. Skanlab 25 Bodywave – capacitive energy transfer system. User Manual. <http://www.skanlab.no> 2001.
76. Smith DV, Claren SK, Harvey MA. Hyperthermia as a possible teratogenic agent. *J Pediatr* 1978; 92: 878.
77. Surrell JA, Alexander RC, Cohle SD, *et al.* Effects of microwave radiation on living tissue. *J Trauma* 1987; 27: 935–939.
78. Svarcova J, Trnavsky K, Zvarova J. The influence of ultrasound, galvanic current and shortwave diathermy on pain intensity in patients with osteoarthritis. *Scan J Rheumatol* 1987; 67: 83–85.
79. Tsong T. Deciphering the language of cell. *Trends Biol Sci* 1989; 14: 89–92.
80. Vavkin P, Arrich F, Schuhfried O, *et al.* Effectiveness of pulsed electromagnetic field therapy in the management of osteoarthritis of the knee: a meta-analysis of randomized controlled trials. *J Rehabil Med* 2009; 41: 406–411.
81. Verrier M, Falcomer K, Crawford JS. A comparison of tissue temperature following two shortwave diathermy technics. *Physioter Can* 1977; 29: 21–25.
82. Wadsworth H, and Chanmugam APP; *Electrophysical Agents in Physiotherapy: Therapeutic and Diagnostic Use*. Science Press 1983.
83. Wagstaff P, Wagstaff S, Downey M. A pilot study to compare the efficacy of continuous and pulsed magnetic energy (shortwave diathermy) on the relief of low back pain. *Physiotherapy* 1986; 72: 563–568.
84. Ward A. *Biophysical Bases of Electrotherapy (CD)*. Butterworth Heinemann Elsevier 2006.
85. Warren CG, Lehmann JF, Koblansky JN. Elongation of rat tail tendon: effect of load temperature. *Arch Phys Med Rehabil* 1971; 52: 465–475.
86. Watson P. Microwave – their effects and safe use. *N Z J Physiotherapy* 1971; 4: 20–24.
87. Wyper DJ, and McNiven DR. The effect of microwave therapy upon muscle blood flow in man. *Br J Sports Med* 1976; 10: 19–21.