

**DR VUKAŠIN MIHAJLOVIĆ**

**FIZIOTERAPIJA 2**

## 12

### МАГНЕТНО ПОЉЕ НИСКЕ ФРЕКВЕНЦИЈЕ

У физикалној терапији примењује се статичко и импулсно магнетно поље ниске фреквенције. У овом поглављу биће речи о примени импулсног магнетног поља ниске фреквенције.

#### ИСТОРИЈАТ ПРИМЕНЕ

Магнетно поље у терапији се користи већ неколико хиљада година. У Египту, древни лекар Еберс на папирусу је 3 600 година пре Христа записао рецепт за лечење повреда главе и сунчанице, који садржи и артпет – ферометеорит слабе магнетне активности.<sup>69</sup> Постоје такође записи да су Грци, Римљани, Византинци и Арапи за лечење користили разне врсте магнета.<sup>69</sup>

Модерна ера магнетне терапије почиње с радовима које су 1957. године објавили Јапанци Fukada и Yasuda<sup>23</sup> и 1962. године Американац Bassett,<sup>11</sup> поставивши научне основе за примену магнетног поља у лечењу прелома костију који не зарастају спонтано. Даљим истраживањима проширена је примена магнетног поља у терапији многих болести и повреда.

#### ФИЗИЧКИ ОСНОВИ

Електричне и магнетне појаве међусобно су повезане и условљене и представљају виши облик кретања материје.

Количина наелектрисања која се креће изазива магнетизам, односно магнетно поље, које се манифестује механичким дејством – Лоренцовом (Lorentz) силом – на количину наелектрисања која се такође креће.

Магнетно поље стварају слободне наелектрисане честице које се крећу, као и наелектрисане честице које се крећу унутар атома и молекула за које су везане. Магнетно поље постоји, стога, око проводника са струјом и око сталних магнета.

За квантитативно описивање магнетног поља које се примењује у физикалној терапији користи се вектор индукције магнетног поља, чија јединица у Међународном систему мерних јединица је тесла (Т). У магнетотерапији обично се користи мања јединица: милитесла (mT). Хомогено је оно магнетно поље у коме вектор магнетне индукције има у свим тачкама исти интензитет, правац и смер.

Махвелл је 1865. године поставио теорију о међусобној повезаности и условљености електричног и магнетног поља: временски променљиво електрично поље ствара магнетно поље, као што и променљиво магнетно поље ствара електрично поље. Ова два поља не могу да постоје независно једно од другог. Не може се произвести променљиво магнетно поље без истовременог настајања електричног поља, и обратно – променљиво електрично поље не може да постоји без магнетног поља. Отуда променљиво електрично поље и променљиво магнетно поље чине једну целину: електромагнетно поље. Само под одређеним условима оно се испољава као електрично или само као магнетно поље.

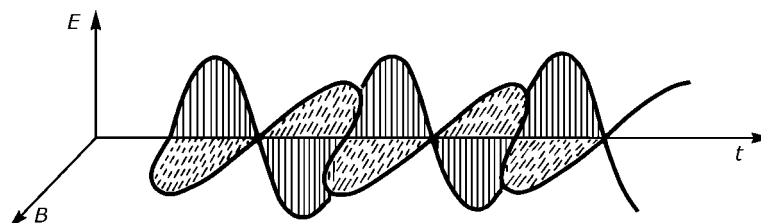
Линије силе електричног и магнетног поља леже у међусобно нормалним равнима.

Електрично и магнетно поље располажу енергијом. Густина енергије електромагнетног поља једнака је збиру густине енергије електричног и магнетног поља:

$$W_{em} = W_e + W_m = \frac{\epsilon E^2}{2} + \frac{B^2}{2\mu},$$

где је  $W_{em}$  – густина енергије електромагнетног поља,  $W_e$  – енергија електричног поља,  $W_m$  – енергија магнетног поља,  $E$  – јачина електричног поља,  $\epsilon$  – електрична пропустљивост средине,  $B$  – магнетна индукција,  $\mu$  – магнетна пропустљивост средине.

Електромагнетни талас је посебна врста електромагнетног поља које се шири у простору, чиме се преноси енергија електромагнетног поља из једне тачке простора у другу. Брзина простирања електромагнетних таласа једнака је брзини светлости (300 000 000 m/s), јер је и светлост део електромагнетног спектра.



**Слика 12.1.** Електромагнетно поље:  $E$  – електрично,  $B$  – магнетно  
Електромагнетно поље које се у физикалној терапији примењује припада у електромагнетном спектру радиоталасима најниже фреквенције, који се деле на радиоталасе веома ниске фреквенције, од 3 до 30 kHz, екстремно ниске фреквенције, од 3 Hz до 3 kHz, и ултраниске фреквенције, до 3 Hz.

### АПАРАТИ

Магнетно поље у клиничкој пракси користи се одавно, али је његова систематска примена релативно нова. На тржишту постоје апарати различити у погледу концепције израде и принципа функционисања, што ствара тешкоће у процени резултата лечења. Отуда потреба да се разјасни: шта се подразумева под апаратом за магнетотерапију.

Апарат за магнетотерапију може да се дефинише као технички уређај који ствара претежно магнетно поље у погледу фреквенције, интензитета, смера и облика таласа.<sup>43</sup> То је од велике важности будући да постоје апарати који производе магнетно и електрично поље исте вредности. У том случају не може се говорити о магнетотерапији већ о електромагнетотерапији, што је различито у односу на механизам деловања.

Постоје разни начини стварања магнетног поља које се користи у терапијске сврхе. Солениди су најбољи за продукцију хомогеног поља ниске фреквенције и ниског интензитета. – Соленид је проводник у облику завојнице. То је најчешће жица равномерно намотана око дугачког шупљег цилиндра.



**Слика 12.2.** Апарат за магнетотерапију  
(Cosmogamma, Emildue, Italia)

При протицању струје, у солениду настаје хомогено магнетно поље, које је на крајевима двоструко слабије него у средишту. Други тип апарата је с парним соленидом, то јест са две завојнице које нису намотане око шупљег цилиндра већ леже у истој равни, и стављају се на тело попречно или уздужно једна према другој, али тако да северни пол једне завојнице буде окренут ка јужном полу друге завојнице, при чему се магнетно поље појачава.

У лечењу се углавном користи импулсно магнетно поље. Када су у питању апарати са уравнотеженом магнетном и електричном компонентом, под појмом „импулс“ подразумева се серија („флеш“) високофреквентних електромагнетних таласа кратког трајања – неколико десетина микросекунди, иза које следи пауза од 1 до 10 ms. На тај начин, омогућава се дисперзија топлоте произведене у ткивима од електричне компоненте. Када је реч о апаратима за „праву“ магнетотерапију, с претежно магнетним пољем (чији вектор магнетне индукције превалира над вектором јачине електричног поља за више од 90%), термичка компонента, која је последица електричног ефекта, занемарљива је.<sup>20</sup> Атермија карактерише магнетну терапију и представља елемент којим се она највише разликује од осталих физикалних модалитета, и омогућава примену магнетог поља у лечењу оних обољења код којих је топлота контраиндикована.<sup>20</sup>

Апарати у којима се индукује претежно магнетно поље раде с врло ниским фреквенцијама, од 1 до 50 Hz, највише 100 Hz. То

је подручје које припада радиоталасима екстремно ниске фреквенције. Само у тим границама се може сматрати да вектор магнетне индукције превалира над интензитетом придруженог електричног поља.<sup>72</sup> Постоје апарати који раде само с фреквенцијом 50 Hz, затим само с две фреквенције, 50 Hz и 100 Hz, или са целом скалом од 1 до 100 Hz.<sup>43</sup> Није доказано да ли је примена разних фреквенција (које препоручују многи произвођачи) заиста ефикасна или није.

На подручју телекомуникација бира се фреквенција при којој пријемна антена апсорбује највећу количину енергије, и та карактеристика се означава као „карактеристична импеданца“. Том параметру у човечијем телу одговара фреквенција од 50 Hz. При тој фреквенцији, највећи је прелаз електричне или електромагнетне енергије у ткива. Стога је, ради безбедности, у САД промењена фреквенција мрежне струје од 50 Hz на 60 Hz.<sup>43</sup>

За живе ћелије још нису са сигурношћу дефинисане вредности прага толеранције магнетног поља упркос многим експериментима *in vitro* и *in vivo*. У медицинској су употреби импулсна магнетна поља ниског и врло ниског интензитета, с максималним вектором магнетне индукције од 10 mT када је у питању цилиндрични соленоид, а када су посреди равни соленоиди 20 па и више милитесла по једном соленоиду. Земљино магнетно поље у коме живимо износи 0,05 до 0,1 mT.

У деловању магнетног поља од значаја је тзв. парамагнетни интензитет, који је бројно једнак производу интензитета и градијента магнетног поља:

$$I_p = H \cdot \frac{dH}{dX},$$

где је  $I_p$  – парамагнетни интензитет,  $H$  – интензитет магнетног поља,  $\frac{dH}{dX}$  – градијент магнетног поља.<sup>43</sup>

Парамагнетни интензитет је својствен само оним апаратима који производе хомогено магнетно поље с једном нехомогеном компонентом. Реч је о дисхомогеном магнетном пољу. Парамагнетни интензитет изазива акцелерацију парамагнетних и дијамагнетних честица.<sup>43</sup>

У терапији се обично користе правоугли и полусинусоидни импулси. Ретко се користе синусоидни, троугласти, трапезоидни и други облици импулса.

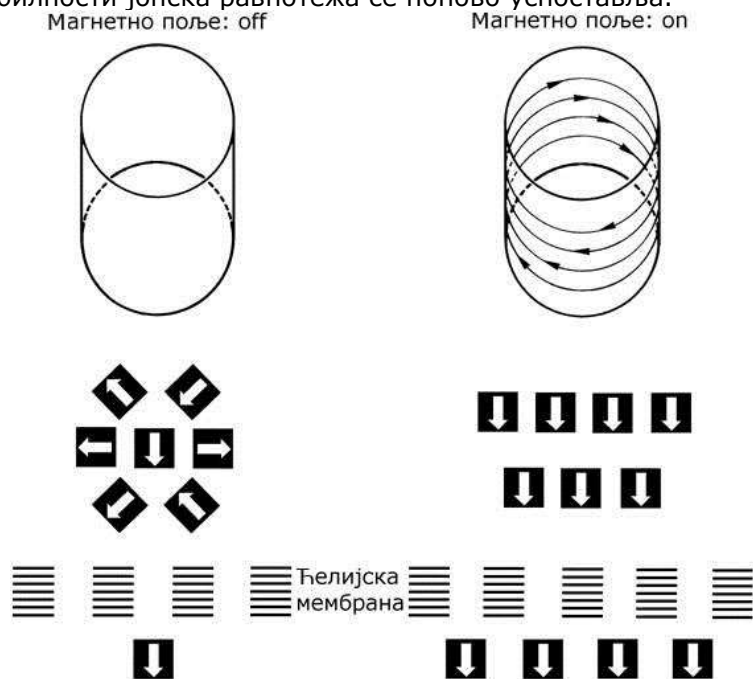
Клиничка и експериментална проучавања су показала да се најбољи резултати постижу с апаратима са соленоидом, који

производе дисхомогено магнетно поље фреквенције до 50 Hz и с вектором магнетне индукције од 0,5 до 10 mT.<sup>43</sup> Када је реч о апаратима с парним солениодом, вектор магнетне индукције је већи: 20 па и више милитесла.

### МЕХАНИЗАМ ДЕЛОВАЊА

Механизам деловања магнетног поља још је у фази проучавања. Постоје бројне хипотезе. Већина од њих полази од тога да је ћелијска мембрана кључно место на које магнетно поље делује.

Делујући на структурну организацију липопротеина, магнетно поље мења пермеабилност ћелијске мембране и утиче на равнотежу јона између њене спољне и унутрашње стране.<sup>49</sup> У многим патолошким стањима равнотежа је поремећена због већег броја негативних јона с унутрашње стране или позитивних јона са спољне стране, тако да је мембрана мање ексцитабилна у односу на физиолошки концепт поларизације. Променом пермеабилности јонска равнотежа се поново успоставља.



**Слика 12.3.** Промена просторне оријентације елементарних магнетних дипола под утицајем магнетног поља с повећаном могућношћу проласка кроз ћелијску мембрану. (Адаптирано из Riva Sanseverino E: Interazioni ipotizzabili tra campi magnetici pulsanti e membrane

biologiche. In Bistolfi F [ed]: *Campi magnetici in Medicina*. Torino: Minerva Medica 1983)

Магнетно поље мења оријентацију елементарних магнетних дипола и распоред јона на ћелијској мембрани и делује на интеракцију рецептора на мембрани и активних супстанција.<sup>49</sup>

Елементарни магнетни диполи су јони и молекули, који су услед термичког кретања оријентисани у простору у свим правцима. Њихов облик није потпуно сферичан, тако да имају најмање два дијаметра различитих димензија. Јони и молекули ће моћи да прођу кроз мембрану ако се на улазу у канал поставе с мањим дијаметром, што значи да пролаз зависи од њихове просторне оријентације. – Под утицајем магнетног поља мења се оријентација елементарних магнетних дипола – јона и молекула – тако да се повећава могућност њиховог слободнијег пролаза кроз мембрану. Отуда магнетно поље делује на оне процесе који зависе од просторне оријентације јона и молекула, првенствено на процесе дифузије и активног транспорта кроз мембрану, као и на процесе који помоћу специфичне везе доводе до формирања комплекса рецептор-трансмитаер, рецептор-хормон, или, чак, антиген-антитело.<sup>49</sup>

Магнетно поље мења дистрибуцију јона на обема странама ћелијске мембране и стога најбоље делује на запаљењски процес, који се иначе одликује променом јонске равнотеже. Запаљењски стимулус изазива у почетку велику потрошњу кисеоника, која траје кратко, до појаве леукоцита. Моноцити, фибробласти и епителне ћелије у активној пролиферацији користе анаеробни пут разградње гликозе. На месту запаљењског процеса повећава се садржај млечне, хијалуронске и хондроитин-сулфуричне киселине, настаје водонична хипертонија и ацидоза. Јони водоника изазивају у току запаљења први поремећај јонске равнотеже. Мења се затим локални осмотски притисак и пермеабилност ћелијске мембране, повећава се акумулација јона натријума у интерстицијуму, такође и јона калијума који дифундују из ћелије. Акумулација јона у интерстицијуму осмотски привлачи воду и изазива оток.<sup>49</sup>

На мембрани се налазе бројни протеински рецептори, који ступају у реакцију с неуротрансмитерима, хормонима и другим активним супстанцијама градећи комплексе рецептор–неуротрансмитаер, рецептор–хормон итд., који стимулишу или инхибишу одређене ћелијске функције. Та реакција се одиграва с високим степеном комплементарности на принципу „кључа и браве“. Два врло слична кључа с мало тешкоће могу да отворе



исту браву; на пример, адиуретин и окситоцин су два октапептида која се разликују само у саставу две аминокиселине. Због сличности у саставу рецептор за адиуретин може прихватити окситоцин и показивати благо окситоцинско дејство, као што и рецептор за окситоцин може прихватити део молекула адиуретина и показивати адиуретично деловање.<sup>49</sup> Интеракцијом рецептора на мембрани и активних супстанци могло би се (хипотетички) објаснити дејство магнетног поља на бронхоспазам, које би се састојало у везивању циркулишућег адреналина за рецепторе у ћелијама бронхија.

Магнетно поље може да промени интеракцију неког протеина с липидним матриksom или неким другим функционалним агрегатом. Та промена може бити локализована или може заузимаати широка подручја мембране или се селити с њене једне стране на другу. Када се један хемијски трансмитер или један хормон вежу с неким протеином, они могу да индукују неку промену у просторној оријентацији тог протеина. На тај начин се активирају механизми регулације, транспорта и ослобађања енергије. Тај транзит може да омогући везивање или ослобађање других молекула, који ће деловати стимулативно или инхибиторно на поједине ћелијске функције.<sup>49</sup>

Магнетно поље изазива вибрације ћелијске мембране и отвара канале у мембрани, што повећава процесе дифузије.<sup>9</sup> Такође делује на јонске пумпе: повећава њихову активност и снабдевање енергијом. Изазива хиперполаризацију ћелијске мембране, што се повољно одражава на ћелијски метаболизам.

Магнетно поље повећава парцијални притисак кисеоника, олакшава његову дифузију и утилизацију у ћелији.<sup>41</sup> Побољшава енергетски биланс ћелије, повећава ресинтезу аденозинтрифосфата из аденозин-дифосфата.<sup>41</sup> Активира ензимске системе и синтезу ензима. Мења угао хемијских веза у молекулима и делује на биохемијске процесе. Директно делује на физичко-хемијска својства воде: површински напон, вискозност, електричну проводљивост, диелектричну пропустљивост.<sup>9</sup>

Магнетно поље делује регулаторно на мембрански потенцијал и на тај начин побољшава енергијски биланс ћелије, будући да се 50% ћелијске енергије троши на одржавање мембранског потенцијала.<sup>41</sup>

Јапанци Fukada и Yasuda<sup>23,24</sup> и Американац Bassett<sup>11,12,13</sup> поставили су својим истраживањима основе за примену магнетног поља у стимулацији остеогенезе. Они су најпре утврдили да под утицајем механичког стреса долази до појаве електричног потенцијала у костима. На страни компресије настаје позитивни

потенцијал, а на страни растерећења негативни. Затим су *in vivo* утврдили да је ендостална површина костију негативно наелектрисана, а периостална позитивно, тако да кроз кортекс тече једносмерна струја. На местима репарације кост је електронегативна, а остала места су електропозитивна. Под утицајем магнетног поља у кристалоидним макромолекулима протеина настаје позитивни пијезоелектрични ефекат, који активира остеобласте, хондробласте и фибробласте, тако да настаје пролиферација коштаног, хрскавичног и везивног ткива.

Магнетно поље изазива дилатацију артериола, смањује вискозност и коагулабилност крви, побољшава проток артеријске и венске крви, побољшава оксигенацију и метаболизам ткива.

На симптом бола делује аналгетички. Аналгетички ефекат објашњава се хиперполаризацијом ћелијских мембрана, повећаном продукцијом ендорфина и нормализацијом циркулације крви и лимфе и рН крви.

Магнетно поље примењено на лумбални предео стимулише продукцију минералокортикоида у надбубрежним жлездама, нарочито алдостерона, такође и гликокортикоида.

### **КЛИНИЧКА И ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСТРАЖИВАЊА**

Клиничка и експериментална истраживања вршена последње четири деценије скинула су с магнетотерапије ореол мистичности.<sup>43</sup> Утврђено је да магнетно поље ниске фреквенције и ниског интензитета делује, пре свега, антиинфламаторно и антиедематозно и стимулише регенерацију ткива, такође делује вазодилататорно и хиперемизирајуће, ублажава бол и повишени тонус мишића.<sup>43</sup> У бројним патолошким стањима представља терапијску методу првог реда и често даје резултате боље од било ког другог модалитета физикалне терапије.

Мускулоскелетна патологија најчешћи је домен примене. Најбољи резултати постижу се у лечењу посттрауматских стања: почевши од лаке дисторзије па до тешке фрактуре с успореном консолидацијом и псеудоартрозом. Бројне студије указују на то да магнетно поље поспешује стварање калуса код прелома костију и корективних остеотомија.<sup>13,14,16,17,19,22,26,30,39,46,51,56,</sup> Посебно је у том погледу илустративна компаративна студија коју је урадио Нaimović.<sup>30</sup> Студија обухвата 32 болесника с билатералном остеотомијом и унилатералном применом магнетног поља ниске фреквенције. Знатно убрзање стварања калуса постигнуто је код 62,3%, а осредње код 15,6% болесника у односу на оперисану страну на којој није примењено магнетно поље.

Цикатризација меких ткива такође је била боља, а постоперативни едеми мање изражени.

Магнетно поље поспешује дистракциону остеогенезу по Илизарову,<sup>46,51</sup> такође поспешује остеогенезу код конгениталних псеудоартроза,<sup>10,26</sup> и симптоматске псеудоартрозе након фузије лумбалне кичме,<sup>57</sup> као и остеогенезу након разлабављених цементних ендопротеза кука и одлаже хируршку ревизију.<sup>36</sup> Код некрозе главе фемура смањује симптоме и знаке болести и одгађа артропластику.<sup>15</sup>

Магнетно поље стимулише остеогенезу на тај начин што у пределу коштаног дисконтинуитета индукује пијезоелектрични ефекат,<sup>13,19,24,28</sup> изазива хиперваскуларизацију, бољу утилизацију кисеоника и веће таложење калцијумових соли.<sup>19,28,29</sup> Не изазива хипертермички ефекат и може се применити и код остеоарткуларних афекција с имплантантама од разних материјала (метал, керамика, силикон), као и код остеопатских афекција с високим ризиком консолидације (остеопороза, сенијум, постполиомијелитичне хипотрофије и др.).<sup>16,29,30</sup> Иако евидентно поспешује остеогенезу, магнетно поље не може да реши све проблеме формирања коштаног калуса.<sup>30</sup>

Магнетно поље стимулише остеогенезу код остеопорозе код жена,<sup>61</sup> као и код остеопорозе изазване оваријектомијом код експерименталних животиња.<sup>18,71</sup>

У клиничким студијама је установљено да делује повољно на субјективну и објективну симптоматику остеоартритиса колена,<sup>33,45,64,65</sup> цервикалне кичме<sup>48,60,65</sup> и периартритиса рамена,<sup>48</sup> док у другим студијама није регистрован користан симптоматски ефекат у третману остеоартритиса колена<sup>6</sup> и синдрома субакромијалног укљештења.<sup>2</sup> У систематском прегледу *Cochrane* базе података у коме су укључене три студије приказан је користан ефекат магнетног поља у третману остеоартритиса колена, али не и остеоартритиса цервикалне кичме.<sup>31</sup> У екпериментима на животињама магнетно поље показује хондропротективан ефекат на развој остеоартритиса.<sup>21</sup>

Riva Sanseverino и сар.<sup>50</sup> у отвореној студији пратили су у току 11 година ефекат магнетног поља код 3014 болесника са зглобним обољењима и у 78,8% случајева регистровани су добре резултате у односу на бол и побољшање зглобне функције, а да при томе нису уочили нежељене штетне ефекте.

Магнетно поље ублажава неуропатски бол,<sup>43,70</sup> као и бол услед лумбалне радикулопатије и *wiplash* синдрома.<sup>62</sup>

Добри резултати постижу се код свих облика флебитиса и постфлебитичних едема, варикозни улкуси добро зарашћују, рецидивни се ретко јављају.<sup>63</sup> Третманом оклузивних артериопатија доњих удова постижу се позитивни резултати, који дуго трају, а односе се не само на субјективно већ и на објективно побољшање.<sup>37,43, 59,67</sup>

Задовољавајући резултати постижу се дуготрајним третманом и с високим интензитетом у лечењу рана и улкуса који споро зарашћују,<sup>3,4</sup> као и у лечењу гнојних рана и остеомијелитиса,<sup>5</sup> такође и у лечењу атрофичних дерматитиса и псоријазе (није јасан механизам дејства).<sup>43</sup>

У хирургији је магнетно поље индиковано ради цикатризирајућег дејства код било којег типа сутуре.<sup>9</sup>

Многе студије на животињама показале су да магнетно поље убрзава регенерацију периферних живаца,<sup>7,32,35,38,40,47,68,58,</sup> док у неким студијама тај ефекат није утврђен.<sup>27</sup>

Магнетотерапија се може прихватити као интегрална метода у рехабилитацији после мастектомије,<sup>43,44</sup> заједно с активном и пасивном мобилизацијом и мануелном лимфном дренажом. Третман започет већ другог постоперативног дана смањује стварање серома и доприноси бољем зарашћивању рана. Магнетно поље решава одређене компликације после мастектомије, као што су акутни хумероскапуларни периартритис, постлимфангитична везивна склероза, која настаје после лимфаденектомије, и перцикатрицијални едем и едем меких ткива зида грудног коша.<sup>43, 44</sup>

Магнетно поље нормализује латенцију визуелноевоцираних потенцијала код мултипле склерозе фацитирајући аксонску кондукцију у демијелинизирајућим плаковима.<sup>53,54</sup> Побољшава визуелну меморију и визуелно перцептивне функције код Паркинсонове<sup>55</sup> и Алцхајмерове болести.<sup>52</sup>

Магнетно поље се користи за стимулацију централног и периферног нервног система. Стимулацију изазива електрична струја коју индукује споља примењено магнетно поље.<sup>42,43</sup> Метода није болна за разлику од директне електричне стимулације и користи се за испитивање брзине проводљивости централног моторног неурона код мултипле склерозе, као и за рано откривање церебралне парализе.

### **Токсичност**

Позната је чињеница да је за биолошка ткива опасност од електромагнетних таласа обрнуто пропорционална њиховој таласној

дужини. Таласна дужина за магнетно поље фреквенције 1 до 100 Hz износи 300 000 до 3 000 km и енормно је велика у односу на ултраљубичасте и инфрацрвене зраке, микроталасе и кратке таласе који се користе у физикалној терапији. Експерименталне студије *in vivo* на токсичност за фетус, на канцерогеност и на токсичност уопште за органе и системе потврдиле су да магнетно поље ниске фреквенције које се примењује у физикалној терапији није токсично.<sup>43</sup>

### **КОЛАТЕРАЛНИ ЕФЕКТИ**

Позитивни колатерални ефекти често се јављају и састоје се у анксиолитичком деловању и у регулацији ритма сан-будност.<sup>9</sup> Негативни ефекти су ретки и реверзибилни. Јављају се углавном код старијих особа и при примени већег интензитета. Састоје се у психичкој узнемирености и несаници.<sup>43</sup>

### **ДОЗИРАЊЕ**

Критеријуми за дозирање су неуједначени, јер су и апарати неуједначени у погледу конструкције. Обично се користи појединачна доза до 10 mT када је у питању цилиндрични соленоид, а када је посреди равни парни соленоид појединачна доза је већа: износи до 20 па и више милитесла по једном соленоиду. Једна терапијска серија се састоји од 15 до 20 сеанси, које обично трају 30 min. За акутна стања препоручују се ниже, а за хронична више фреквенције.

### **ИНДИКАЦИЈЕ**

Индикације за примену магнетног поља ниске фреквенције су: преломи костију који споро зарашћују, псеудоартрозе, коштани графтови, повреде зглобова, лигамената, тетива и мишића, симпатичка рефлексна дистрофија; остеопороза; трофичке лезије артеријског и венског порекла као што су периферна васкуларна обољења и варикозни улкуси, декубитуси; запаљењска, дегенеративна и ванзглобна реуматична обољења; неуритис, полинеуритис, радикулопатије; акутна и хронична запаљења женских полних органа; стања после мастектомије.

### **КОНТРАИНДИКАЦИЈЕ**

Контраиндикације за примену магнетног поља су: имплантирани срчани пејсмејкер, трудноћа, крварење и склоност ка крварењу.

њу, тромбоза, деца у периоду раста и развоја, метални имплантанти од нерђајућег челика који се могу за стално намагнетисати.

### РЕФЕРЕНЦЕ

1. Adey WR. Tissue interactions with nonionizing electromagnetic fields. *Physiol Rev* 1981; 61: 435.
2. Aktas L, Akgun K, Cakmak B. Therapeutic effect of pulsed electromagnetic field in conservative treatment of subacromial impingement syndrome. *Clin Rheumatol* 2007; 26: 1234–1239.
3. Aleksenko AV, Gusak VV, Stoliar VF. The treatment of trophic ulcers of the lower extremities by using magnetotherapy and interstitial electrophoresis. *Westn Khir Im I Grek* 1993; 150: 115.
4. Aleksenko AV, Gusak VV, Stoliar VF. The use of magnetic therapy combined with the galvanization and tissue electrophoresis in the treatment of trophic ulcers. *Klin Khir* 1993; (7-8): 31.
5. Альшев ВА, Вязников АЛ, Герцен ИГ. Магнитотерапия в комплексном лечении больных с гнойными ранами и остеомиелитом. *Вестн Хир* 1988; 4: 141.
6. Ay S, Evcik D. The effect of pulsed electromagnetic fields in the treatment of knee osteoarthritis: a randomized, placebo-controlled trial. *Rheumatol Int* 2009; 29: 663–666.
7. Banaga A, Guo T, Ouyang X, et al. A comparative study of the effects of magnetic stimulation and electric stimulation on peripheral nerve injury in rat. *J Tongji Med Univ* 2001; 21: 159–162.
8. Barker AT, Freeston IL, Jalinous R, et al. Magnetic stimulation of the human brain and peripheral nervous system: an introduction and the results of an initial clinical evaluation. *Neurosurgery* 1989; 2: 100.
9. Barnothy MF. Biological effects of magnetic fields. New York: Plenum Press 1969.
10. Bassett CAL, Chink-Ascani M. Long term pulsed electromagnetic field (PEMF) results in congenital pseudoarthrosis. *Calcif Tissue Int* 1991; 49: 216.
11. Bassett CAL. Currents concepts of bone formation. *J Bone Joint Surg* 1962; 44A: 1217–1244.
12. Bassett CAL. Fundamental and practical aspects of therapeutic uses of pulsed electromagnetic fields (PEMFs). *Crit Rev Biomed Eng* 1989; 17: 451.
13. Bassett CAL, Pawlik RJ. Acceleration of fracture repair by electromagnetic fields. A surgically noninvasive method. *Ann. New York Acad Sci* 1974; 238: 242.
14. Bassett CAL, Pilla AA, Pawlik RJ. A nonoperative salvage of surgical resistant pseudoarthrosis and non-unions by pulsing electromagnetic fields. *Clin Orth Rel Res* 1977; 124: 128.
15. Bassett CAL, Schink-Ascan M, Lewis SM. Effects of pulsed electromagnetic fields on Steinberg ratings of femoral head osteonecrosis. *Clin Orthop* 1989; 246:172.
16. Bistolfi F. Verso un inquadramento generale dell'interazione fra campi magnetici (statici e variabili a frequenze ELF) e materia vivente. In Bistolfi F (ed): *Campi Magnetici in Medicina*. Torino: Minerva Medica 1983; 221–235.
17. Borsalino, G., Bagnacani, M. Bettati, E. et al. Electrical stimulation of human femoral intertrochanteric osteotomies. *Clin Orthop Rel Res* 1988; 237: 256.

18. Chang K, Chang WH. Pulsed electromagnetic fields prevent osteoporosis in an ovariectomized female rat model: a prostglandin E<sub>2</sub>-associated process. *Bioelectromagnetics* 2003; 24: 189–198.
19. Chiabrera A, Grattarola M, Parodi G. Stimolazione elettromagnetica dell'osteogenesi. In Bistolfi F (ed): *Campi Magnetici in Medicina*. Torino: Minerva Medica 1983.
20. Fabbri F, Lucchese V. Effetti non termici dei campi magnetici pulsanti. *Minerva Ortopedica* 1980; 31: 251–256.
21. Fini M, Torricelli P, Giavaresi G, et al. Effect of pulsed electromagnetic field stimulation on knee cartilage, subchondral and epiphyseal trabecular bone of aged Dunkin Hartley quinea pigs. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 2008; 62: 709–715.
22. Freeman N. Biological and clinical effects of low frequency electrical and magnetic fields. *Austral Phys & Engl Sci Med* 1980; 3: 182.
23. Fukada E, Yasuda I. On the piezoelectric effect in bone. *J Phys Soc Jap* 1957; 12: 1158–1162.
24. Fukuda E, Yasuda J. *Piezoelectric effects*. New York: Plenum Press 1974.
25. Geacintov NE. Orientation of biological membrane and cell in magnetic field. In Tenforde T (ed): *Magnetic Field Effects on Biological System*. New York: Plenum Press 1979.
26. Gupta TD, Jain VK, Tandon, PN. Comparative study of bone growth by pulsed electromagnetic fields. *Med Biol Eng Comput* 1991; 29:113.
27. Güven M, Günay I, Özgünen K, et al. Effect of pulsed electromagnetic fields on regenerating rat sciatic nerve: an in vitro-vitro electrophysiologic study. *Int J Neurosci* 2005; 115: 881–892.
28. Haimovici, N., Battista Languasto, E. Campi magnetici pulsati e tessuto osseo. Considerazioni sperimentali. In Bistolfi F (ed): *Campi Magnetici in Medicina*. Torino: Minerva Medica 1983.
29. Haimovici, N.: Considerazioni teoriche sull'applicazione di campi magnetici pulsanti a bassa frequenza nella terapia ortopedica. *Atti II Cong Int Magnetomedicina*, Roma 1980.
30. Haimovici N. Utilizzazione clinica dei campi magnetici pulsati a bassa frequenza e debole intensità nell'ambito dell'ortopedia e traumatologia Esperienze di sei anni. In Bistolfi F (ed): *Campi Magnetici in Medicina*. Torino: Minerva Medica 1983.
31. Hulme J, Robinson V, DeBie R, et al. Electromagnetic fields for treatment of osteoarthritis. *Cochrane Database Syst Rrev* 2002; 1: CD003523.
32. Ito H, Bassett CA. Effect of weak, pulsing electromagnetic fields on neural regeneration rat. *Clin Orthop Relat Res* 1983; 181: 283–290.
33. Jacobson JJ, Gorman R, Yamanashi WS, et al. Low frequency magnetic fields for the treatment of osteoarthritis knees: a double-blind clinical study. *Altern Ther Health Med* 2001; 7: 54–64, 66–69.
34. Kaczmarek LK. Cation binding models for the interaction of membranes with EM fields. *Neurosci Res Program Bull* 1977; 15: 54.
35. Kanje M, Rusovan A, Siskin B, et al. Pretreatment of rats with pulsed electromagnetic fields enhances regeneration of the sciatic nerve. *Bioelectromagnetics* 1993; 14: 353.
36. Kennedy WF, Roberts CG, Zuege RC, et al. Use of pulsed electromagnetic fields in treatment loosened cemented hip prostheses. A double blind trial. *Clin Orthoped* 1993; 286: 198.
37. Krilov IV, Svalb PG, Lastuskin A V. The use of magnetic and laser therapy in treating obliterating vascular disease of the extremities. *Vopr Kurort* 1993; 5: 22.

38. Крылов ОА, Антонов АБ, Елисева ЗВ и др. Действие импульсного магнитного поля на восстановление двигательной функции периферических нервных стволов. *Вопрос Курорт* 1991; 6: 40.
39. Lenzi M, Bistolfi F. Campi magnetici ed effetto ossigeno. In Bistolfi F (ed): *Campi Magnetici in Medicina*. Torino: Minerva Medica 1983.
40. Longo FM, Yang T, Hamilton S, et al. Electromagnetic field influence NGF activity and levels following sciatic nerve transection. *J Neurosci Res* 1999; 55: 230–237.
41. Mahlum DP. Mechanism of biomagnetic effects. In Tenforde T (ed): *Magnetic Field Effects on Biological System*. New York: Plenum Press 1979.
42. Mizushima Y, Akaoka J, Nishida Y. Effects of magnetic fields on inflammation. *Experimentia* 1975; 31: 1444.
43. Mustacchi G. Magnetoterapia. Apparecchi, tecniche di applicazione, risultati clinici. In Bistolfi F (ed): *Campi Magnetici in Medicina*. Torino: Minerva Medica 1983; 357–368.
44. Mustacchi G, Nemez L. Efficacia della magnetoterapia nel trattamento integrato di mastectomia. *Gorn Ital Oncol* 1984; 3: 201.
45. Nikolakis P, Kollmitzer J, Crevenna R, et al. Pulsed magnetic field therapy of osteoarthritis of the knee: a double-blind sham-controlled trial. *Wien Klin Wochenschr* 2002; 114; 953.
46. Rajewsky F, Mercintak W. Use of magnetotherapy for treatment of bone malation in limb lengthening. *Chir Narzadow Ruchu Ortop Pol* 1992; 57: 47.
47. Raji AR, Bowden RE. Effect of high-peak pulsed electromagnetic field on the degeneration and regeneration of the common peroneal nerve in rats. *J Bone Joint Surg Br* 1983; 478–492.
48. Rigato M, Battisti E, Fortunato M, et al. Comparison between the analgesic and therapeutic effects of muscially modulated electromagnetic field (TAMMEF) and those of a 100 Hz electromagnetic field: blind experiment on patients suffering from cervical spondylosis or shoulder peri-arthritis. *J Med Eng Technol* 2002; 26; 253–258.
49. Riva Sanseverino E. Interazioni ipotizzabili tra campi magnetici pulsanti e membrane biologiche. In Bistolfi F (ed): *Campi Magnetici in Medicina*. Torino: Minerva Medica 1983; 145–156.
50. Riva Sanseverino E, Vannini A, Castellacci. Therapeutic effect of pulsed magnetic fields on joint diseases. *Panminerva Med* 1992; 34: 187–196.
51. Rose REC, Bryan-Frankson BA. Is there still a role for pulsed electromagnetic field in the treatment of delayed unions and nonunions. *Internet J Orthop Surg* 2008; 10: p5–5.
52. Sandyk R. Alzheimer's disease – improvement of visual memory and visuo-constrictive performance by treatment with picoTesla range magnetic fields. *In J Neurosci* 1994; 76: 185.
53. Sandyk R. Further observation on the effects of external picoTesla range magnetic fields on visual memory and visuospatial functions in multiple sclerosis. *In J Neurosci* 1994; 77: 203.
54. Sandyk R. Rapid normalization of visual evoked potentials by picoTesla range magnetic fields in chronic progressive multiple sclerosis. *In J Neurosci* 1994; 77: 243.
55. Sandyk R. Reversal of visual neglect in Parkinson's disease by treatment with picoTesla range magnetic fields. *In J Neurosci* 1993; 73: 93.
56. Sharrard WJ. A double blind trial of pulsed electromagnetic fields for delayed union of tibial fractures. *J Bone Joint Surg Br* 1990; 78: 347.
57. Simmons JW Jr, Mooney V, Tracker I. Pseudoarthrosis after spine fusion: non-operative salvage with pulsed electromagnetic fields. *Am J Orthop* 2004; 33: 27–30.



58. Siskin BF, Kanje M, Lundborg G, *et al.* Stimulation of rat sciatic nerve regeneration with pulsed electromagnetic fields. *Brain Res* 1989; 485: 309–316.
59. Spinella G, Rosato EG, Chianeza S, *et al.* High frequency low intensity electromagnetotherapy in peripheral chronic obliterans arteriopathies (AOCP). First results of polygraphic study (reography end photoplethyzmography). *IX electromagnetotherapy course, Acireale*, 1986.
60. Sutbeyaz ST, Sezer N, Koseoglu BF. The effect of pulsed electromagnetic fields in the treatment of cervical osteoarthritis : a randomized, double-blind, sham-controlled trial. *Rheumatol Int* 2005; 29.
61. Tabrah F, Hoffmeier M, Gilbert F. *et al.* Bone density changes in osteoporosis-prone women exposed to pulsed electromagnetic fields (PEMFs). *J Bone Miner Res* 1990; 5: 427.
62. Thuile Ch, Walzl M. Evaluation of electromagnetic fields in the treatment of pain in patients with lumbal radiculopathy or the wiplash syndrome. *NeuroRehabilitation* 2002; 17: 63–67.
63. Todd DJ, Heylings DJ, Allen GE, *et al.* Treatment of chronic varicose ulcers with pulsed electromagnetic fields: controlled pilot study. *Ir Med J* 1991; 84: 54.
64. Trock DH, Bollet AJ, Dyer RH, *et al.* A double blind trial of the clinical effects of pulsed electromagnetic fields in osteoarthritis. *J. Rheumatol* 1993; 20: 456.
65. Trock DH, Bollet AJ, Markoll R. The effect of pulsed electromagnetic fields in the treatment of osteoarthritis of the knee and cervical spine. Report of the randomized, double blind, placebo controlled trials. *J Rhumatol* 1994; 21: 1903–1911.
66. Tsuji S, Murai Y, Yarita M. Somatosensory potentials evoked by magnetic stimulation of lumbar roots, cauda equina, and leg nerves. *Ann Neurol*, 1988; 24: 568.
67. Весовић-Потић В. Примена импулсног магнетног поља у терапији дијабетичном полинеуропатијом и ангиопатијом. *Срп Арх Целок Лек* 1992.
68. Walker JL, Evans JM, Resig P, *et al.* Enhancement of functional recovery following a crush lesion to rat sciatic nerve by exposure to pulsed electromagnetic fields. *Exp Neurol* 1994; 125: 302–305.
69. Warnke UL, Warnke UT. Storia dell impiego terapeutico di campi magnetici in medicina. In Bistolfi F (ed): *Campi Magnetici in Medicina*. Torino: Minerva Medica 1983.
70. Weintraub MI, Cole SP. Pulsed magnetic field therapy in refractory neuropathic pain secondary to peripheral neuropathy: electrodiagnostic parameters–pilot study. *Neurorehabil Neural Repair* 2004; 18: 42–46.
71. Zati A, Gnudi S, Mongiorgi R, Giardino R. Effects of pulsed magnetic fields in therapy of osteoporosis induced by ovariectomy in the rats. *Bol Soc Biol Sper* 1993; 69: 469.
72. Zaniol P. Aspetti fisici dei campi magnetici usati in magnetoterapia. In Bistolfi F (ed): *Campi Magnetici in Medicina*. Torino: Minerva Medica 1983; 195–208.