

Nove tehnologije u fizikalnoj i rehabilitacijskoj medicini

The new technologies in physical and rehabilitation medicine

Tea Schnurrer-Luke-Vrbanić^{1*}, Božidar Ćurković²

¹Centar za fizikalnu i rehabilitacijsku medicinu, KBC Rijeka, Rijeka

²Klinika za reumatske bolesti i rehabilitaciju, KBC Zagreb, Zagreb

Prispjelo: 26. 8. 2012.

Prihvaćeno: 28. 9. 2012.

Adresa za dopisivanje:

***Doc. dr. sc. Tea Schnurrer-Luke-Vrbanić, dr. med.**

Centar za fizikalnu i rehabilitacijsku medicinu, KBC Rijeka

Tome Strižića 3, 51 000 Rijeka

e-mail: fizikalna@kbc-rijeka.hr

<http://hrcak.srce.hr/medicina>

Sažetak. Fizikalna medicina primjenjuje fizikalne agense u prevenciji, liječenju i rehabilitaciji bolesnika, dok je rehabilitacija proces kojim se pomaže osobi da postigne maksimum fizičke, psihičke, društvene, profesionalne, rekreativne i edukacijske osposobljenosti u odnosu na fiziološko ili anatomsko oštećenje, ograničenja okoline, te želje i životne planove. U fizikalnoj medicini propisuje se fizikalna terapija, koja koristi razne oblike energije, u svrhu prevencije, liječenja i rehabilitacije bolesnika. Prema vrsti fizikalnog agensa fizikalna terapija može se podijeliti na pet velikih cjelina. Tu spadaju mehanoterapija, uključujući i kineziterapiju, termoterapija, elektroterapija, fototerapija, te prirodni čimbenici. Zbog dokazane učinkovitosti, apsolutnu prednost u izboru fizikalnih procedura ima kineziterapija, a "klasične" metode elektroterapije gube svoju važnost, većinom zbog činjenice da se njihova primjena koristi na iskustvenoj bazi, a vrlo je malo dobro dizajniranih istraživanja sa znanstveno potvrđenim rezultatima temeljenim na dokazima. Ipak razvojem tehnologije dolaze novi, tehnološki napredni uređaji, kao što su ekstrakorporalni udarni val i laseri velike snage. Indikacije za ekstrakorporalni udarni val su tendinopatije s i bez kalcifikata, pseudoartroze, avaskularne nekroze kostiju i kalcificirajući miozitis, te miofascijalni sindromi s *trigger* točkama. Indikacije za primjenu lasera velike snage su vertebralni i vertebrogeni sindromi, radikulopatije, tendinopatije, lezije mišića, kontrakture, artritis i artropatije, lezije hrskavice, analgetsko djelovanje po bolnim točkama te aplikacija na tkiva s oslabljenom aktivnosti metabolizma (dekubitusi). Kod navedenih procedura insistira se na potvrdi učinkovitosti kvantitativnim mjerama radi podizanja kakvoće rada i poboljšanja ishoda liječenja i rehabilitacije.

Ključne riječi: fizikalna terapija, laser velike snage, rehabilitacija, udarni val

Abstract. Physical medicine applies physical agents in the prevention, treatment and the rehabilitation of patients, whereas rehabilitation is a process which enables a person to achieve the maximum in physical, psychological, social, professional, recreational and educational ability with regard to the physiological or the anatomical damage, environment limitations, personal desires and life plans. In physical medicine, physical therapy is prescribed, which applies various forms of energy, for the purpose of patient prevention, healing and rehabilitation. With reference to the type of the physical agent, physical therapy can be divided into five large groups. These include mechanotherapy (including kinesitherapy), thermotherapy, electrotherapy, phototherapy, and natural factors. Because of its proved effectiveness, kinesitherapy has absolute priority in the choice of physical procedures, while classical methods of electrotherapy tend to lose their importance mainly because of the fact that their application is used on the empirical basis. Furthermore, there is a relatively low incidence of well designed research studies showing scientifically significant proofs in evidence based medicine. Nevertheless, with the development of technology, new, technologically advanced devices have appeared, such as extracorporeal shock wave therapy (ESWT) and high intensity laser therapy (HILT). Indications for the ESWT are the tendinitis with and without calcifications, pseudarthrosis, bone avascular necrosis and calcifying myositis, as well as myofascial syndromes with trigger points. Indications for the application of HILT are vertebral and vertebrogen syndromes, radiculopathies, tendinopathies, lesions of the muscles, contractures, arthritis and arthropathies, cartilage lesions, analgesic impact on painful trigger points and the application on the tissue with weakened metabolism activity (pressure and trophic ulcers). With the procedures mentioned above, one should insist upon the proof of their respective effectiveness by applying quantitative measures, for the purpose of increasing the quality of work and improving the outcome of treatment and rehabilitation.

Key words: high intensity laser therapy, physical therapy, rehabilitation, shock wave therapy

UVOD

Fizikalna medicina je grana medicine u kojoj se primjenjuju fizikalni agensi i lijekovi u prevenciji, liječenju i rehabilitaciji bolesnika. Njezini začeci sežu u daleku prošlost. Masaža kao jedan od oblika fizikalne terapije datira iz razdoblja od nekoliko tisuća godina prije Krista. Hipokrat (460 – 377 g. prije Krista) smatra vježbe korisnima za jačanje oslabljenih mišića i za mentalno zdravlje, a Galen (129 – 199 g.) u eseju "Vježbanje s malom loptom" opisuje pozitivno djelovanje vježbi na tijelo, um i dušu. Rimljani su više cijenili helioterapiju, balneoterapiju i masažu. U srednjem vijeku interes za fizikalnu medicinu nije bio posebno izražen. U 19. stoljeću postavljene su znanstvene osnove kineziterapije i započinje zamah primjene elektroterapijskih postupaka. U istom stoljeću afirmira se klimatoterapija, te se osnivaju klimatska lječilišta. Razvojem tehnologije u 20. stoljeću nastaju novi elektroterapijski postupci (ultrazvuk, transkutana električna nervna stimulacija – TENS, laseri niske snage, elektromagnetska terapija, funkcijska elektrostimulacija – FES)¹. Posljednjih godina afirmiraju se nove tehnologije, kao što je ekstrakorporalni udarni val i laseri velike snage. Nadalje, razvijaju se dijagnostičke metode poput elektromioneurografije i ultrazvuka mišićno-koštanog sustava.

Godine 1941. publiciran je prvi udžbenik iz fizikalne medicine (*Krusen's Textbook of Physical Medicine*), a dr. Frank Hammond Krusen zaslužan je za razvoj specijalizacije iz fizikalne i rehabilitacijske medicine i za podizanje osjetljivosti društva za ovu medicinsku granu. On je također začetnik naziva fizijatar^{1,2}. U svijetu i u nas, fizikalna i rehabilitacijska medicina je prepoznata specijalizacija, a posljednjih dvadesetak godina širi se područje njenog djelovanja od primjene fizikalnih postupaka, k rješavanju problema bolesnika, od dijagnostike i liječenja, do rehabilitacije. Pristup svakom bolesniku je individualan, po holističkom principu, a po potrebi postaje multidisciplinarni¹.

Rehabilitacija je proces kojim se pomaže osobi da postigne maksimum fizičke, psihičke, društvene, profesionalne (vokacijske), rekreativne (avokacijske) i edukacijske osposobljenosti u odnosu na fiziološko ili anatomske oštećenje, ograničenja

okoline, te želje i životne planove. Cilj rehabilitacije je ponovno osposobljavanje za aktivnosti svakodnevnog i profesionalnog života, emocionalnu i socijalnu stabilnost osoba koje su tu sposobnost izgubile zbog bolesti ili ozljede. Interes za rehabilitacijsku medicinu pojavio se početkom 20. stoljeća, pogotovo nakon I. i II. svjetskog rata. Snažan razvoj rehabilitacijske medicine vidljiv je nakon II. svjetskog rata, posebno u SAD-u. Temelji rehabilitacije u Hrvatskoj postavljeni su daleke 1916. godine, kada je ortoped Božidar Špišić

Postoje dvije vrste ekstrakorporalnog udarnog vala (EUV); fokusirani EUV (fEUV) i radijalni EUV (rEUV). Biološka djelovanja fEUV-a su razbijanje i razgradnja kalcifikata, osteoinduktivno djelovanje na pseudoartroze i odgođeno koštano cijeljenje, hiperemija tkiva, kapilarna neoangiogeneza, antiedematozna i analgetsko djelovanje. Biološka djelovanja rEUV-a su analgezija, pojačana vaskularizacija i hiperemija tkiva, te *wash-out* tkiva.

osnovao prvu medicinsko-profesionalnu rehabilitacijsku ustanovu u bolnici Crvenog križa u Zagrebu. Od 1916. godine do danas rehabilitacijska medicina je u stalnom razvoju, a novi zamah dobiva nakon Domovinskog rata¹.

Rehabilitaciju provodi multidisciplinarni rehabilitacijski tim čije su središte bolesnik i njegova obitelj. Članovi multidisciplinarnog tima su fizijatar, fizioterapeut, medicinska sestra, radni terapeut, protetsko-ortotički terapeut, psiholog, logoped, socijalni radnik, vokacijski i avokacijski terapeut te ostali zdravstveni i nezdravstveni djelatnici koji se uključuju ako za to postoji potreba.

Fizijatar vrši procjenu oštećenja mišićno-koštanog i neurološkog sustava, uz evidentiranje komorbiditeta, s posebnim osvrtom na utjecaj bolesti ili oštećenja na onesposobljenost bolesnika, odnosno utjecaj bolesti na aktivnosti svakodnevnog života, na vokacijske i avokacijske aktivnosti te na participaciju u društvu.

Nakon procjene provodi se specijalizirani rehabilitacijski program (npr. rehabilitacija nakon ozljede leđne moždine i ozljede glave, rehabilitacija bolesnika nakon amputacije uda, rehabilitacija bolesnika s upalnim reumatizmom, rehabilitacija bolesnika s neurološkim oštećenjem i dr.), u koji

se koordinirano uključuju ostali članovi multidisciplinarnog tima.

FIZIKALNA TERAPIJA

U fizikalnoj i rehabilitacijskoj medicini propisuje se fizikalna terapija koja koristi razne oblike fizikalne energije u svrhu prevencije, liječenja i rehabilitacije bolesnika. Donedavno se primjena fizikalnih sredstava temeljila na iskustvu zdravstvenih profesionalaca, a bez razumijevanja mehanizama djelovanja. Napretkom medicine i znanosti upoznaje se način njihova djelovanja, što omogućuje selektivnu primjenu³.

Smisao je fizikalne terapije svrhovito potaknuti organizam na racionalno korištenje vlastite energije ili unijeti neki oblik energije u organizam čovjeka, gdje se želi postići neki učinak³.

Prema vrsti fizikalnog čimbenika fizikalna terapija ima pet velikih cjelina: mehanoterapija, termoterapija, elektroterapija, fototerapija te prirodni čimbenici³.

Mehanoterapija je primjena mehaničke energije u terapijske svrhe. Tu spadaju kineziterapija, hidroterapija, trakcija i masaža³.

Termoterapija je aplikacija svih vrsta topline iz različitih izvora. Krioterapija je također dio termoterapije, iako je naš organizam prepoznaje kao hladni podražaj³.

Elektroterapija koristi istosmjernu galvansku struju, niskofrekventnu izmjeničnu struju (≤ 140 Hz); pojedine serijske ili kombinirane impulse elektrostimulacije; srednjofrekventne struje (oko 4 000 Hz) i visokofrekventne struje (od 0,5 do više od 4 000 MHz)³.

Fototerapija je primjena neionizirajućeg elektromagnetskog zračenja niske energije (laser, ultraljubičaste, infracrvene zrake)³.

Prirodni čimbenici (balneoterapija, klimatoterapija, talasoterapija) imali su svoje istaknuto mjesto u kurativnoj medicini krajem 19. i početkom 20. stoljeća. Danas se u pojedinim rehabilitacijskim ustanovama, uz balneoterapiju i talasoterapiju, provodi i zdravstveni turizam³.

Navedene "klasične" metode fizikalne terapije ponekad su u znanstvenim krugovima zanemarene zbog nepostojanja čvrstih dokaza o znanstveno potvrđenoj učinkovitosti. Nepostojanje navedenih dokaza nije potvrda njihove neučinko-

vitosti, nego manjak dobro kontroliranih znanstvenih studija, a njih je, k tomu, u fizikalnoj medicini teško provesti⁴.

Posljednjih godina brz razvoj tehnologije omogućio je primjenu novih tehnologija u fizikalnoj medicini, kao što su, primjerice, ekstrakorporalni udarni val, te laseri velike snage koji su se donekad koristili samo u kirurgiji. Njihova učinkovitost potkrijepljena je znanstvenim dokazima⁴.

NOVE TEHNOLOGIJE U FIZIKALNOJ I REHABILITACIJSKOJ MEDICINI

Ekstrakorporalni udarni val

Danas se u fizikalnoj terapiji koriste dvije vrste ekstrakorporalnog udarnog vala (EUV), fokusirani EUV (fEUV) i radijalni EUV (rEUV).

70-ih godina dvadesetog stoljeća počeo se uspješno upotrebljavati fEUV sa svrhom litotripsije, u neoperativnom razbijanju urinarnih kamenaca. Tijekom kasnih 80-ih godina fEUV se počeo primjenjivati u liječenju raznih kroničnih stanja mekih tkiva mišićno-koštanog sustava, kao što su sindromi prenaprezanja, upale tetiva i tetivnih ovojnica, sa ili bez kalcificirajućih depozita. Najčešće je primjenjivan kod bolnog ramena (sindrom rotatorne manžete, kalcificirajući tendinitis), epikondilitisa lakta, plantarnog fascitisa, petnog trna i upale Ahilove tetive. Za razliku od jasnog mehanizma destrukcije urolitijaza, do danas nije potpuno jasan točan mehanizam djelovanja fEUV-a na koštano cijeljenje i meka tkiva mišićno-koštanog sustava i još je u fazi eksperimentalnih istraživanja s često kontradiktornim rezultatima. Najčešće spominjani biološki učinci jesu mehanizam mehanodestrukcije, reaktivna hiperemija, angiogeneza, te stimulacija fibroblasta, tenocita, osteoblasta i hondrocita. Istraživanja su se provodila većinom s fEUV-om, izborom raznolikih fizikalnih parametara vala⁵. Djelovanje rEUV-a istraživano je sporadično⁶.

Fokusirani ekstrakorporalni udarni val (fEUV)

fEUV je u osnovi akustični impuls generiran izvan tijela, visoke energije, koji proizvode specifični generatori koji se putem posebnog prijenosnog sustava prenose u tijelo i precizno fokusiraju na područje koje se želi tretirati. Od klasičnog ultra-

zvuka razlikuju se po impulsnoj transmisiji i po tome što mogu doseći puno veće gradijente tlaka. Karakterizirani su velikim pozitivnim i malim negativnim tlakom. Pozitivna amplituda fEUV-a općenito je puno veća od negativne. Specifični su po brzom usponu vala i kratkom trajanju. Dakle, puls tlaka velike amplitude generira se izvan tijela, a njegova se energija koncentrira na ciljano područje u tijelu. Što je uži fokus, preciznija je isporuka energije točno na mjesto oštećenja uz minimalni rasap na okolno tkivo. fEUV bez većih gubitaka prolazi kroz vodeni kontaktni medij i prodire u tkivo. Generatori fokusiranog udarnog vala mogu biti: elektrohidraulični, elektromagnetski i piezoelektrični. Dakle, fEUV, koji stvara generator, konvergira u centralnu točku zvanu *spot* (točka) u kojoj se očituje maksimalna tlačna energija. *Spot* predstavlja terapijsku zonu. *Spot* može biti različitih veličina i oblika, ovisno o upotrijebljenoj tehnologiji (generatoru) raznih aparata udarnih valova. *Spot* je trodimenzionalni volumen, npr. ovoidan ili cilindričan, koji ima jednu veću os i dvije manje osi sličnih dimenzija. To ne znači da se fizički utjecaji udarnog vala očituju samo u području spota, već i izvan njega, ali su manjeg intenziteta⁵.

fEUV apliciraju se putem aplikatora. Između aplikatora i terapijskog područja postavi se transmitter, tj. vrećica ispunjena vodom ili gelom, koja ima ulogu prijenosa fokusiranih udarnih valova, ali i regulacije dubine prodiranja.

Dubina prodiranja je različita, ovisno o generatoru aparata. Kod elektrohidrauličnog generatora dubina prodiranja iznosi od 7 do 60 mm, kod elektromagnetskog od 2,5 do 30 mm, a kod piezoelektričnog od 2,5 do 17 mm. Dubina prodiranja može se precizno odrediti u zoni ispod površine kože s raznim veličinama transmitera koji se postave na glavu aplikatora i aplikator udaljuju od površine kože⁵.

Osnovni terapijski parametri fEUV-a su gustoća energije, broj udara tijekom jedne aplikacije i frekvencija.

Gustoća energije je energija udarnog vala po jediničnoj površini, a s obzirom na veličinu može se podijeliti na malu (0,005 – 0,12 mJ/mm²), srednju (0,12 – 0,28 mJ/mm²) i veliku (0,28 – 1,5 mJ/mm²).

Broj udara tijekom jedne aplikacije ovisi o tkivu koje se tretira (od 1 000 do 5 000).

Frekvencija varira od 1 do 8 (10) Hz, a generatori mogu proizvesti impulse različitih frekvencija, što je važno zbog bolje bolesnikove podnošljivosti terapije, pogotovo kad se radi s velikom gustoćom energije⁵.

Dakle, kod fEUV-a najveća energija postiže se u žarištu, na željenoj dubini, dok su sama koža i potkožje pošteđeni iritacije visokih energija. Najvažniji terapijski parametar predstavlja gustoća energije koja se aplicira po bolnim točkama i prenosi u tijelo⁵. Broj udara po točki iznosi od 400 do 500, ovisno o patologiji, a tretira se ukupno 3 – 4 točke. Ukupan broj udara po jednom tretmanu iznosi između 1 200 do 2 000. fEUV se aplicira jedanput tjedno, tijekom 3 do maksimalno 5 tjedana.

fEUV ima direktno i indirektno djelovanje na tkivo. Direktno djelovanje bazira se na pozitivnom valu koji će biti to veći što je veća razlika u akustičnim impedancijama između dvaju tkiva, npr. na prijelazu iz tetive i mišića na kost. Indirektno djelovanje bazira se na fenomenu kavitacije. Naime, u smjeru prodora udarnog vala dolazi do naglog porasta tlaka, te zbog toga može doći do formiranja zračnih mjehurića koji implodiraju i izazivaju tekuće mikromlazove (engl. *jet streams*) velike brzine (400 – 800 m/s) jake mehaničke energije. Navedeni mikromlazovi odgovorni su za razbijanje kalcifikacija u tkivima. Neke studije opisuju i biokemijsku učinkovitost udarnog vala koja se bazira na proizvodnji slobodnih radikala (NO) s citolitičkom aktivnosti, vazodilatacijom i neoangiogeneom⁵.

Biološko djelovanje fEUV-a

Biološka djelovanja fEUV-a su brojna. Tu spada razbijanje i razgradnja kalcifikacija, te osteoinduktivno djelovanje na pseudoartroze i odgođeno koštano cijeljenje. Nadalje, udarni val izaziva hiperemiju tkiva, kapilarnu neoangiogenezu, te ima antiedematozno i analgetsko djelovanje⁷.

fEUV razbija kalcifikate, koji su fragilniji od kosti jer nemaju organiziranu strukturu kao ona, a tako razbijeni zbog hiperemije i neoangiogeneze brže se razgrade⁷.

fEUV ima i osteoinduktivno djelovanje koje se koristi kod liječenja pseudoartroza i odgođenog srašćavanja kosti⁵. U više studija proučavano je djelova-

rije fEUV-a na pseudoartroze^{8,9}. U početku udarni val ima destruktivnu funkciju, odiže periost, izaziva mikrofrakture kortikalne kosti, razbija trabekule spongiozne kosti, stvara subperiostalna krvarenja i hematome u koštanoj srži. Nakon navedenih procesa nastaje regeneracija kosti, koja se manifestira povećanim brojem stanica, povećanom agregacijom kalcija, a dokazana je i povećana koncentracija koštanog morfologenetskog proteina^{8,9}.

Treba posebno istaknuti da se navedeni procesi javljaju kod pseudoartroza, te kod inaktivne kosti, u slučajevima kada organizam manje vrijedno tkivo ne može razgraditi i eliminirati. fEUV ne djeluje na zdravo koštano tkivo, niti na metaboličke bolesti kostiju, kao npr. na osteoporozu⁵.

Hiperemija tkiva nastaje zbog promjene tlaka u tkivima pod djelovanjem fEUV-a i zbog inaktivacije simpatikusa (zbog tzv. simpatikoplegije). Hiperemija je slična hiperemiji nastaloj zbog terapijskog ultrazvuka, no fokusiranija je i puno je većeg intenziteta. Ovaj učinak posebno je vidljiv na tkivima koja su slabo vaskularizirana, kao što su tetive, hvatišta tetiva i ligamenata, te na mjestima sa stvorenim kalcifikatima⁵.

fEUV također izaziva kapilarnu neoangiogenezu, što znači da nastaju nove krvne žile u tkivima koja su metabolički inaktivna. Na mjestima kapilarne neoangiogeneze pronađena je značajno povećana koncentracija endotelnog stimulirajućeg angiogenetskog faktora – ESAF, koji proizvode oštećene endotelne stanice i fibroblasti⁵.

Antiedematozni učinak nastaje kod aplikacije male doze srednje doze fEUV-a i izaziva tzv. ispiranje tkiva (engl. *wash-out*)⁵.

Analgetsko djelovanje udarnog vala objašnjava se stimuliranjem aferentnih osjetnih živčanih vlakana koja po teoriji zatvaranja ulaza bolnom podražaju (engl. *gate control theory*) u stražnjem rogu leđne moždine i djeluju na smanjenje bola, te na stimulaciju descendnog antinociceptivnog puta i produkciju endorfina⁵.

Indikacije za fEUV su tendinopatije sa i bez kalcifikata, pseudoartroze, avaskularne nekroze kostiju i kalcificirajući miozitis. U novije vrijeme opisuje se i učinak na spazam u bolesnika s hemiplegijom¹⁰.

Kontraindikacije za primjenu udarnog vala su ugrađen srčani stimulator; blizina osjetljivih struktura kao što su mozak, leđna moždina, gonade i epifizne hrskavice; trudnoća; infekcije; tumo-

ri; koagulopatije; tromboflebitisi; kortikosteroidna i antikoagulantna terapija.

Nuspojave koje mogu nastati su hematomi, petehije, pojačanje bola te analgezija područja tretirane kože, no važno je reći da su one reverzibilne⁵.

Radijalni EUV (rEUV)

U novije vrijeme počinju se koristiti aplikatori koji proizvode nefokusirani ili radijalni EUV (rEUV). Naime, kod ove vrste aparata kompresor proizvodi balistički zračni udar koji potiskuje zrno u aplikatoru na njegovu površinu. Energija se radijalno raspršuje iz površine aplikatora u dodirno tkivo. Najveća energija nastaje na površini aplikatora, pa je snažan atak na samu kožu i potkožje, a proporcionalno opada s udaljenošću od aplikatora. Radijalnom primjenom ne iskorištavaju se toliko destruktivne sposobnosti udarnog vala, koliko trofičke sposobnosti i izazivanje hiperemije. Ciljevi tretmana su analgezija, pojačana vaskularizacija i izazivanje hiperemije tkiva, te pospješiti prirodni *wash-out* organizma⁶.

Osnovni terapijski parametri koji se određuju kod radijalnog udarnog vala su: gustoća energije (0,01 – 0,23 mJ/mm²), tlak koji aplikator generira na tkivo (1 – 4 bara), broj udara po tretmanu 10 – 2 000, te frekvencija 5 – 10 Hz, s dubinom prodiranja od 0 – 35 mm. Bolesnik dolazi na terapiju jednom tjedno, tijekom 3 do 5 tjedana.

Indikacije su insercijske tendinopatije, miofascijalni sindromi po *trigger* točkama ili akupunkturnim točkama.

Kontraindikacije su iste kao kod fEUV-a⁶.

Laseri velike snage (*High Intensity Laser Therapy* – HILT)

Izvor laserskog svjetla je stimulirana emisija fotona. Stimulira se električnom strujom. Temeljena je na nestabilnosti elektrona dovedenog na višu energetska razinu, s koje se vraća u brzoj lančanoj reakciji na matičnu putanju i pri tome odašilje kvant svjetlosne energije – foton. Lančana reakcija pojačava se između dvaju reflektirajućih zrcala od kojih je jedno polupropusno za laserski snop i propušta samo određenu valnu duljinu laserskog snopa. Sve navedeno zbiva se u rezonantnoj komori u kojoj se nalazi medij koji proizvodi laserski snop određene valne duljine. Ovisno o mediju,

snaga laserskog snopa je različita. Uobičajeno se u fizikalnoj medicini koriste tipovi lasera koji proizvode laserski snop male snage (helij – neon; diodni laseri Ga – AS ili Ga – Al/As)¹¹.

Laseri velike snage, medija Neodimij-Ytrij/aluminij/garnet (Nd:YAG), (u engleskoj literaturi poznati kao *High Intensity Laser Therapy* – HILT), koriste se od 90-ih godina dvadesetog stoljeća u kirurgiji. Laserski snop kontinuirano je fokusiran na točku promjera od 400 μ , te izaziva razaranje tkiva. Prve studije koje opisuju aplikaciju navedenog lasera velike snage u fizikalnoj medicini datiraju iz 1997. godine. Da bi se poništilo štetno termičko djelovanje, fokus laserskog snopa širi se na 5 – 60 mm, te se aplicira impulsno, poluimpulsno (kombinacija kontinuirane i impulsne zrake) te kontinuirano. Osnovni parametri koji određuju laserski snop su gustoća energije (mJ/cm^2), frekvencija (Hz) i ukupno aplicirana snaga (W)¹².

Valna duljina Nd:YAG lasera je 1064 nm, frekvencija 1 – 50 Hz, maksimalna snaga laserskog snopa je u rasponu od 100 do 300 W, srednje snage 0,5 – 10 W. Trajanje impulsa je od 70 μ s do 350 μ s¹².

Biološko djelovanje Nd:YAG lasera velike snage

Biološko djelovanje Nd:YAG lasera velike snage je djelovanje na kromofore, a tkiva, ovisno o sastavu, lasersku zraku različito apsorbiraju. Osnovni učinci su fotokemijski, fotomehanički i fototermički.

Najmanja apsorpcija laserskog snopa od strane prirodnih kromofora (melanina, hemoglobina), te od vode, ona je u terapijskom prozoru valnih duljina od 600 do 1 200 nm, stoga valna duljina od 1 064 nm lasera velike snage omogućuje dublje prodiranje u tkiva koja onda tu energiju apsorbiraju. No, pri aplikaciji navedenog laserskog snopa ipak treba izbjegavati madeže i tamno pigmentirana područja jer se snaga snopa tada smanjuje. Pri tretmanu se laserska sonda stalno pomiče. Pomicanjem sonde omogućuje se prošireno djelovanje, te refleksija laserskog snopa u svim smjerovima, a poništava se štetni fokusirani termički učinak¹².

Fotokemijski učinak. Apsorpcija energije laserske zrake od kromofora (melanina, hemoglobina i vode) i djelovanje na stanične membrane i enzime aktivira oksidativni lanac u mitohondriju koji povećava proizvodnju ATP-a, RNA i DNA. Ovu

teoriju potvrdile su brojne studije od Smolyaninova, 1991.¹³, do Haasa 1994.¹⁴, Karua 2001.¹⁵ te Manteifela 2004.¹⁶ Tkiva na koja Nd:YAG laser djeluje nalaze se od površine kože u dubinu u rasponu od 0,5 do 60 mm.

Fotomehanički učinak. U kirurgiji se fotomehanički učinci Nd:YAG lasera koriste zbog velike snage impulsa laserskog snopa (10^6 W), a trajanje impulsa mjeri se u nanosekundama. U fizikalnoj terapiji snaga impulsa iznosi približno 3 000 W, a trajanje impulsa 100 – 200 μ s. Ovaj način primjene

Laseri velike snage, medija Neodimij-Ytrij/aluminij/garnet (Nd:YAG), koriste se od 1990-ih godina u kirurgiji, a od 1997. godine počinju se eksperimentalno koristiti u fizikalnoj medicini. Da bi se anuliralo štetno termičko djelovanje, laserska zraka aplicira se impulsno, a njen fokus se širi, te proizvodi fotokemijski, fotomehanički i fototermički biološki učinak na tkiva.

laserske zrake ne izaziva oštećenja stanica, nego izaziva stimulacijske valove različitog mehaničkog pritiska. Primjena lasera prvo se eksperimentalno istraživala na životinjama¹⁷, a potom na ljudima¹⁸. Zabilježilo se pozitivno djelovanje, pogotovo na hrskavična tkiva. Isti učinak nije bio zamijećen s manjom snagom laserskog snopa.

Fototermički učinak. Fototermički učinak Nd:YAG lasera bazira se na apsorpciji topline u tkivima koja se prostrujavaju, te opada s udaljenošću tkiva od površine. Cilj je zagrijati dublje strukture, a najveća apsorpcija i zagrijavanje je u području kože i potkožja. Da bi se postigli dubinski termički učinci, a bez oštećenja površnih struktura, primjenjuju se niže energije kroz dulje vrijeme ili više energije kraće vrijeme. Druga opcija daje bolji učinak.

Koriste se impulsi vrlo kratkog trajanja od 50 do 200 μ s, niske frekvencije ponavljanja, s ciljem davanja vremena tkivu da se ohladi u pauzi, te da se izbjegn timerička oštećenja. S obzirom na to da vrijeme otpuštanja topline za kožu iznosi 10^{-3} s, a za krvne žile iznosi $10^{-3} - 2 \times 10^{-3}$ s (ovisno o dimenziji krvne žile), trajanje impulsa lasera od 10^{-6} s daleko je ispod štetnog termičkog učinka.

Dakle, laseri velike snage, kratkog trajanja impulsa, male frekvencije, s dugim pauzama učinkoviti

su u propuštanju velike energije duboko u tkivo bez izazivanja oštećenja u površnijim tkivima¹².

Kontinuirani način aplikacije Nd:YAG laserskog snopa. Laserski Nd:YAG snop može se aplicirati kontinuirano, ali onda se koristi mala gustoća energije, niskog intenziteta, s posljedično manjim učinkom. Kontinuirani način aplikacije laserskog snopa Nd:YAG bio je prvi način korištenja lasera velike snage u fizikalnoj medicini. Dubina prodiranja kontinuiranog vala je do 30 mm, a gustoća upotrijebljene snage iznosi od 0,5 do 3,5 W/cm². Trajanje procedure je kratko zbog zagrijavanja površnih tkiva. Da ne bi došlo do oštećenja tkiva, mjerilo se vrijeme kada bolesnik registrira prvi osjećaj topline pri aplikaciji laserske zrake po točkama, a nakon toga se prekidalo s aplikacijom. Vrijeme se individualno mjerilo za svakog bolesnika i iznosilo je do maksimalno 10 s po točki. Osoba, zdrava, bijele rase osjeća toplinu unutar 10 s kod aplikacije gustoće snage kontinuirane laserske zrake od 2 W/cm².

Istraživanjima se dokazalo da bolesnici koji su registrirali osjećaj topline u manje od 6 s, kod kontinuirane aplikacije po točkama, nisu imali zadovoljavajući pozitivni učinak, stoga se započelo aplicirati kontinuirani val s pauzom. Frekvencija kontinuiranog vala s pauzom bila je 10 – 20 Hz, dubina prodiranja bila je veća, do 60 mm, a aplicirana gustoća snage bila je od 4 do 8 W/cm²¹².

Impulsni način aplikacije Nd:YAG laserskog snopa. Iz oblika kontinuiranog vala s pauzama razvio se potpuno impulsni oblik aplikacije lasera velike snage, jer se dokazala njegova bolja učinkovitost. Također treba naglasiti da se navedena tehnika stalno dalje unapređuje. Impulsni način aplikacije povećao je intenzitet laserskog snopa bez termičkog oštećenja tkiva. Tako apliciran laserski snop prodire dublje, homogena je distribucija, a mogućnost oštećenja je manja¹².

Dakle, snaga vala Nd:YAG laserskog snopa (HILT) iznosi 100 – 3 000 W, srednje snage od 10 W, frekvencije 10 – 30 Hz¹².

Analgetsko djelovanje postiže se kod snage vala srednjeg do slabijeg intenziteta i s niskim frekvencijama¹².

Za djelovanje na dublje strukture koristi se velika snaga laserskog snopa, koji prodire i do 60 mm dubine¹².

Laserski snop prodire u dubinu, ali se njegov intenzitet eksponencijalno smanjuje s dubinom. Općenito, mala gustoća energije od 360 – 810 mJ/cm² koristi se za analgeziju po bolnim ili akupunkturnim točkama. Ove strukture nalaze se površno u koži, potkožju, tetivama i površnim mišićima. Nalaze se na mjestima dostupnim za površinsku palpaciju.

Gustoća energije od 970 do 1 780 mJ/cm² koristi se za očitovanje biološkog djelovanja na duboke strukture.

U akutnoj fazi koristi se mala energija. Kako se znakovi akutne upale povlače, može se ići s većom energijom.

Frekvencija koja je najčešće u upotrebi varira od 10 do 30 Hz, a mijenja se ovisno o količini energije koju želimo poslati u tkiva, te ovisno o patologiji. Povećanjem gustoće energije smanjuje se frekvencija.

U akutnim stanjima koristi se niska frekvencija, s dugim pauzama da tkivo može otpustiti toplinu i ohladiti se¹².

Način aplikacije. Laserski snop pomoću aplikatora uvodi se u tkivo. Aplikator je optičkim kabelom spojen za aparat. Površina djelovanja aplikatora je 0,5 cm². Postoje dva različita aplikatora. Jedan djeluje sa stalne udaljenosti, a drugi je kontaktni. Tehnike koje se koriste su tehnika po bolnim točkama i linearna tehnika za velike zglobove. Također treba paziti na brzinu kojom se pomiče aplikator. Što je brzina veća, tkivo tretiramo kraće i zagrijavanje je manje. Vrijedi i obrnuto. Pri apliciranju laserskog snopa preporučuju se dvije brzine: mala i velika. Velikom brzinom područje tretiranja od 10 cm prolazi se u vremenu od 1,5 s. Navedena brzina ne dozvoljava nastanak hiperemije tkiva, te se obično koristi na početku tretmana.

Malom brzinom područje tretiranja od 10 cm prolazi se u vremenu od 3 s. Izaziva se hiperemija tkiva, hemoglobin apsorbira laserski snop, te se u dubini očituje slabijim učinkom. Obično se koristi na kraju tretmana za izazivanje fotokemijskog učinka.

Iz navedenog se vidi da djelovanje ovisi o osobi koja izvodi tretman. Da bi se uklonila pogreška u izvođenju, postoje skenerski aplikatori s ujednačenom brzinom.

Tretman se provodi u tri faze: početna faza, srednja faza i završna faza. Prva faza je početna, kojom se tkivo priprema za tretman. Izvodi se linearno velikom brzinom. Impuls je 100 – 200 mJ/cm², ukupne snage 100 – 200 J.

Srednja faza izvodi se po fiksnim točkama (bolne točke, akupunkturne točke).

Nakon odmora od 1 do 2 minute kreće završna faza koja se izvodi također linearno malom brzinom.

Ukupna energija (J) je energija koja se apsorbirala tijekom svih triju faza.

Indikacije za primjenu Nd:YAG lasera velike snage su vertebralni i vertebrogeni sindromi, radikulopatije, tendinopatije, lezije mišića, kontrakture, artritis i artropatije, lezije hrskavice, analgetsko djelovanje po bolnim i akupunkturnim točkama, te aplikacija na tkiva s oslabljenom aktivnosti metabolizma (dekubitusi)¹².

Kontraindikacije su iste kao kod ostalih lasera. Ne smije se laserski snop usmjeriti u oko i oko oka, u uho i oko uha, na velike krvne žile i velike živce, na tumore, te se ne smije koristiti u trudnoći¹².

ZAKLJUČAK

Fizikalna i rehabilitacijska medicina grana je medicine koja se stalno mijenja, napreduje i širi svoje polje djelovanja, uvelike potpomognuta razvojem tehnologije i primjenom novih metoda u dijagnostici, liječenju i rehabilitaciji bolesnika. Apsolutni izbor postaje kineziterapija, a "klasične" metode elektroterapije gube svoju primarnu važnost većinom zbog činjenice da je prva temeljena na dokazima, a primjena elektroterapije bazira se na iskustvu i tradiciji. Razvojem tehnologije dolaze novi, tehnološki napredni aparati, kao što su ekstrakorporalni udarni val i laseri velike snage, za koje tražimo potvrdu učinkovitosti kako bi bili korišteni u liječenju i rehabilitaciji, kao dio dobre kliničke prakse.

LITERATURA

1. Ćurković B. Fizikalna i rehabilitacijska medicina. In: Ćurković B i sur. (ed.) *Fizikalna i rehabilitacijska medicina*. Medicinska naklada, 2004;1-3.
2. Weber DC, Kurtis MH. Physical agents modalities. In: Braddom RL (ed.) *Physical medicine and rehabilitation*. Saunders Elsevier, 2007;459-77.
3. Babić-Naglić Đ. Fizikalna terapija. In: Ćurković B i sur. (ed.) *Fizikalna i rehabilitacijska medicina*. Medicinska naklada, 2004;55-7.
4. Zati A, Valent A. Terapia fisica. Nuove tecnologie in Medicina Riabilitativa. Edizioni Minerva Medica, 2006.
5. Zati A, Valent A. Onde d'urto focalizzate. In: Zati A, Valent A (eds). *Terapia fisica. Nuove tecnologie in Medicina Riabilitativa*. Edizioni Minerva Medica, 2006;90-9.
6. Zati A, Valent A. Onde d'urto radiali. In: Zati A, Valent A (eds). *Terapia fisica. Nuove tecnologie in Medicina Riabilitativa*. Edizioni Minerva Medica, 2006;100-4.
7. Delius M. Medical applications and bioeffects of extracorporeal shock waves. *Shock waves* 1994;4:55-72.
8. Schaden W, Fischer A, Sailler A. Extracorporeal shock wave therapy of nonunion or delayed osseous union. *Clin Orthop* 2001;387:90-4.
9. Schoellner C, Rompe JD, Decking J, Heine J. High energy extracorporeal shock wave therapy in pseudoarthrosis. *Orthopade* 2002;31:658-62.
10. Manganotti P, Amelio E. Long-term effect of shock wave therapy on upper limb hypertonia in patients affected by stroke. *Stroke* 2005;36:1967-71.
11. Ćurković B. Laser. In: Ćurković B i sur. (ed.) *Fizikalna i rehabilitacijska medicina*. Medicinska naklada, 2004; 117-9.
12. Zati A, Valent A. Laser Neodimio YAG. In: Zati A, Valent A (eds). *Terapia fisica. Nuove tecnologie in Medicina Riabilitativa*. Edizioni Minerva Medica, 2006;162-88.
13. Smolyaninova NK, Karu TI, Zelenin AV, Fedoseva GE. Effects of He-Ne laser irradiation on chromatin properties and synthesis of nucleic acids in human peripheral blood lymphocytes. *Biomed Sci* 1991;2:121-6.
14. Haas AF, Isseroff RR, Weeland RG, Rood PA, Graves PJ. Low energy He-Ne laser irradiation increase the motility of cultured human keratocytes. *J Invest Dermatol* 1994;12:822-6.
15. Karu TI, Playtibrat LV, Kalendo GS. Cells attachment modulation by radiation from pulsed light diode and various chemical. *Laser Surg Med* 2001;28:227-36.
16. Maintelfel M, Karu TI. Increase of number of contacts of endoplasmic reticulum with mitochondria and plasma membrane in yeast cells stimulated to division with He-Ne laser light. *Tsitologia* 2004;46:498-505.
17. Fortuna D, Rossi G, Grigolo B, Buda R, Zati A, Bilotta TW et al. HILT in the treatment of deep osteochondral defect. Pilot study in animal model. 10th World Congress on Osteoarthritis. Boston Mass 2005;8-11.
18. Zati A, Buda R, Grigolo B, DeFranceschi L, Valent A, Benedetti E et al. Azione del laser Nd:YAG sulle lesioni cartilaginee: studio sperimentale sull'animale e studio clinico sull'uomo. Congresso SIMFER Catania 2005;8-12.