Energetska bilanca primjene IPL uređaja

Pavičić, Ana

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:502432

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA

Stručni studij

ENERGETSKA BILANCA PRIMJENE IPL UREĐAJA

Završni rad

Ana Pavičić

Osijek, 2017.

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. IPL TEHNOLOGIJA 2
2.1. Selektivna fototermoliza 3
2.2. Ključni parametri IPL uređaja 4
2.2.1. Valna duljina 4
2.2.2. Gustoća energije (eng. Fluence) 5
2.2.3. Termorelaksacijsko vrijeme 6
2.2.4. Otisak uređaja (eng. Footprint, Spot size) 6
2.2.5. Trajanje impulsa 7
2.2.6. Oblik impulsa 7
2.2.7. Vrijeme između impulsa (eng. Pulse delay) 8
2.3. Princip rada 9
3. POVIJESNI RAZVOJ 13
3.1. IPL uređaji prve generacije 14
3.2. IPL uređaji druge generacije 15
3.3. IPL uređaji treće generacije 16
3.4. IPL uređaji četvrte generacije 17
4. PRIMJENA IPL UREĐAJA 19
4.1. Akne 20
4.2. Pigmentne lezije 22
4.3. Fotopomlađivanje 22
4.4. Vaskularne lezije 23
4.4.1. Plameni madež 24
4.4.2. Teleangiektazije 24
4.4.3. Hemangiom 25
4.5. Fotoepilacija 25

4.6. Sigurnost 28
4.6.1. Prostor i oprema 29
4.6.2. Potencijalna opasnost od prijenosa infekcija 30
4.6.3. Zaštita očiju 30
4.6.4. Pacijent 31
4.7. Nuspojave 32
4.8. Uređaji za kućnu uporabu 34
5. ZAKLJUČAK 39
LITERATURA 40
SAŽETAK 43
ŽIVOTOPIS 44

1. UVOD

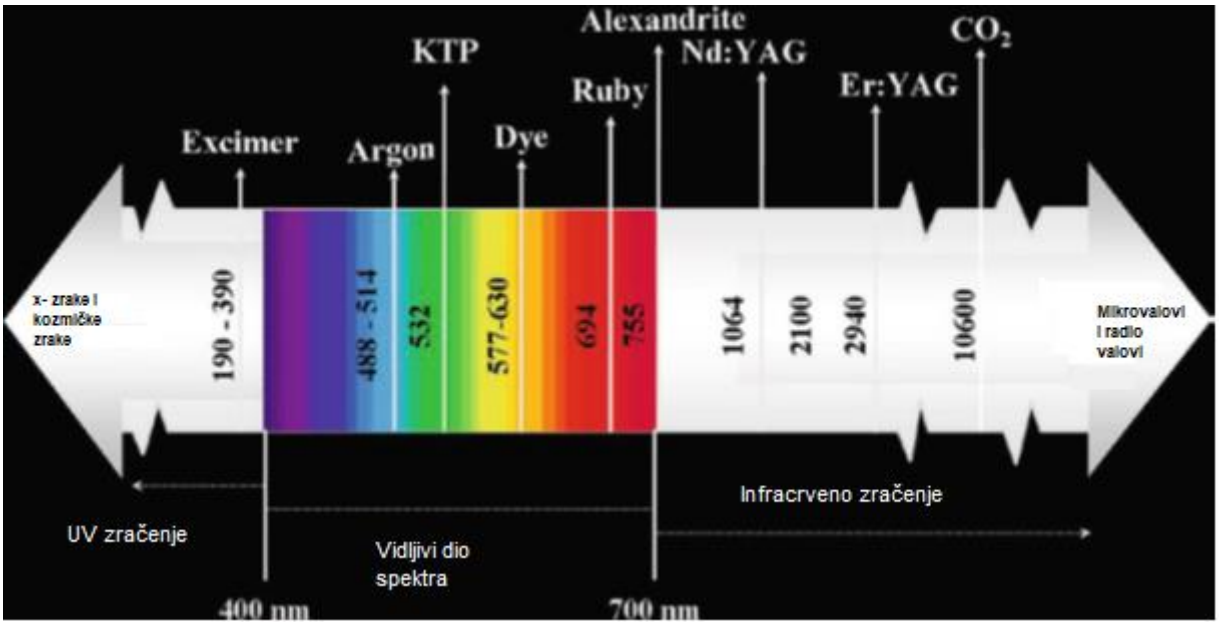
Sadržaj ovog rada odnosi se na obradu naslova „Energetska bilanca primjene IPL uređaja“ gdje je na sažet i jednostavan način kritički i objektivno pistupljeno zadanoj temi.

U ovom radu detaljnije su objašnjeni svi pojmovi vezani za IPL tehnologiju i primjenu IPL uređaja. U prvom dijelu rada istaknuti su ključni parametri i značajke IPL uređaja, te opisan princip rada, zatim je u kratkim crtama prikazan povijesni razvoj, te značajke pojedinih generacija. Prikazane su energetske karakteristike pojedinih tehničkih realizacija, te njihov utjecaj na pojedine strukture tkiva. Navedene su potencijalne opasnosti i mjere opreza u radu sa IPL uređajima. Glavni dio rada odnosi se na određivanje minimalnog iznosa energije koja je potrebna kako bi se postigao trajni efekt selektivne fototermolize bez oštećenja okolnog tkiva, uz poseban osvrt na IPL uređaje za kućnu uporabu.

Kao literaturu za izradu rada korišteni su razni znanstveni radovi i istraživanja, od različitih autora iz oblasti dermatologije i tehnologija koje su bazirane na uporabi svjetla.

2. IPL TEHNOLOGIJA

IPL je skraćenica engleskog izraza “Intense Pulsed Light” što u prijevodu znači “intenzivna pulsirajuća svjetlost”. IPL uređaji koriste intenzivne impulse nekoherentnog optičkog zračenja u području od oko 400 nm do 1200 nm. Primarno se IPL tehnologija koristi pri kozmetičkim i dermatološkim zahvatima, jer omogućuje preciznu fototerapiju neželjenih pigmentnih i vaskularnih promjena u koži, te tretmane fotoepilacije i fotopomlađivanja. Za razliku od lasera koji emitiraju monokromatičnu svjetlost, to jest svjetlost određene valne duljine, IPL uređaji emitiraju polikromatičnu svjetlost u širokom spektru valnih duljina od krajnjega ultraljubičastog do infracrvenog, što uključuje i spektar bijele vidljive svjetlosti (Slika 2.1.).



Slika 2.1. Spektar elektromagnetnog zračenja i emitirane valne duljine pojedinih lasera, izvor [1]

Kako su za različite tretmane potrebne različite gustoće energije i različite valne duljine, potrebno poznavanje relacija između energije i valne duljine.

Elektromagnetski spektar je prikaz jakosti elektromagnetskoga zračenja kao funkcije njegove frekvencije, odnosno valne duljine. Foton je elementarna čestica elektromagnetskog zračenja, koji se u vakumu giba brzinom svjetlosti *c*. Sadrži energiju, jednadžba 2-1:

$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda} \tag{2-1}$$

gdje je *h* Planckova konstanta koja iznosi $6{,}626 \cdot 10^{-34}$ Js , *f* je frekvencija fotona ili zračenja, *c* brzina svjetlosti koja u vakuumu iznosi: 299.792.458 m/s, a λ je valna duljina. Kao analitičke funkcije energije u spektru elektromagnetskog zračenja koriste se:

valna duljina, što je udaljenost između najbliže dvije točke iste elongacije i iste faze na valu, jednadžba 2-2:

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E} \tag{2-2}$$

i frekvencija, što je broj titraja koje val izvede u jedinici vremena, jednadžba 2-3:

$$f = \frac{E}{h} \tag{2-3}$$

Postoji niz različitih uređaja od velikih samostalnih uređaja do kompaktnih mobilnih uređaja. Standardne značajke IPL uređaja pružaju širok spektar optimalnih valnih duljina, snage i trajanja impulsa. Rad IPL uređaja temelji se na principu selektivne fototermolize [2].

2.1. Selektivna fototermoliza

Zahvaljujući istraživanjima Rox Andersona i John Parrisha koji su koristili lasersku energiju kako bi selektivno oštetili krvne sudove u koži, početkom 1980-ih počela je era laserskih tretmana i tretmana sa svjetlošću u kozmetičke svrhe.

Razmatrali su fizička svojstva malih krvnih sudova, uključujući njihovu dubinu, promjer, apsorpciju laserske energije njihove kromofore (hemoglobin) te termorelaksacijsko vrijeme, (pokazatelj koliko brzo se određena struktura ohladi nakon zagrijavanja do određene temperature). Smatrali su da bi se u tu svrhu mogli koristiti laseri i izvori svjetlosti sa velikom gustoćom energije, kratkim trajanjem impulsa i valnom duljinom koja odgovara maksimumu apsorpcije hemoglobina.

Trajanje impulsa mora biti kraće od termorelaksacijskog vremena, kako u krvnim sudovima ne bi došlo da prekomjernog akumuliranja topline te prijenosa na okolno tkivo, izazivajući pri tome opekline [3].

Teorija selektivne fototermolize predstavljena je prvi puta 1983. godine. Ova teorija se zasniva na spoznaji da kromofore kože (hemoglobin, oksihemoglobin, melanin), apsorbiraju specifičnu valnu duljinu svjetla, pa se primjenom određene valne duljine koja odgovara maksimumu apsorpcije kromofore koju sadržava određena lezija postiže selektivna destrukcija ciljnog tkiva bez značajnog toplinskog oštećenja okolnog tkiva. Prema opisu Andersona i Parrisha potrebna su tri učinka kako bi se postigla selektivna fototermoliza:

- Apsorpcija određene valne duljine od strane ciljane strukture
- Vrijeme izlaganja treba biti manje ili jednako vremenu koje je potrebno za hlađenje ciljane strukture. Optimalno trajanje impulsa je kraće od vremena koje je potrebno da tretirano tkivo izgubi polovicu početne topline koju je dosegnulo neposredno nakon djelovanja optičkog zračenja.
- Potrebna je dovoljna gustoća energije kako bi se unutar ciljane strukture postigla temperatura destrukcije.

2.2. Ključni parametri IPL uređaja

Većina IPL sustava ima nekoliko parametara koje liječnik ili kozmetičar može podešavati kako bi tretman prilagodio fototipu kože pacijenta. Ti parametri uključuju trajanje impulsa ili niza impulsa, gustoću energije i filtere kako bi se ograničile neželjene valne duljine. Svaki od ovih parametara je važan kako bi se postigla željena temperatura melanina u folikuli dlake ili epidermi ili hemoglobina u krvnim sudovima.

2.2.1. Valna duljina

Odabir optimalne valne duljine (λ), kako bi se osigurao najveći mogući učinak, a minimalna epidermalna oštećenja, zahtijeva poznavanje procesa apsorpcije i difrakcije svjetlosti na različitom tkivu. Prvenstveno je važna dubina prodiranja svjetlosti u tkivo. Valna duljina utječe na selektivnu apsorpciju svjetlosti određene mete, također utječe na dubinu prodiranja u tkivo.

Sve tri glavne kromofore u ljudskoj koži imaju široke maksimume apsorpcije svjetlosne energije, što omogućava da ih se cilja sa specifičnom valnom duljinom ili sa širokim rasponom valnih duljina. Široki raspon valnih duljina koji se oslobađa kod IPL uređaja dovodi do istovremenog zračenja zelene, žute, crvene i infracrvene valne duljine. Izbor valne duljine ovisi o

ciljanoj strukturi i pigmentaciji kože. U slučaju odabira neprikladne valne duljine, ne postiže se željeni učinak, a nuspojave mogu biti manje ili veće. U najgorem slučaju se neće postići nikakav rezultat a prouzročiti će maksimalne nuspojave, kao na primjer kod tamnih tipova kože gdje se ciljana struktura nalazi dublje.

Većina trenutno dostupnih IPL uređaja može ograničiti kraće valne duljine sa filterima, kako bi odabrano ciljao stanične ili strukturne elemente. Većina uređaja ima jedan ili dva filtera. Filteri koji su dostupni su 515, 550, 560, 570, 590, 615, 645, 690 i 755 nm koji blokiraju zračenje kraćih valnih duljina. Ovisno o korištenom filteru, IPL uređaj emitira određen raspon valnih duljina, kako bi dospio željenu dubinu ciljane strukture. Zbog sposobnosti da emitira spektar valnih duljina, jedno izlaganje svjetlosti može nadražiti više kromofora u koži odjednom.

Osim valne duljine, na većini uređaja se može prilagoditi i dosta drugih parametara kao što su trajanje impulsa, gustoća energija i vrijeme između impulsa. Ta fleksibilnost omogućuje korištenje jednog IPL uređaja za tretiranje različitih indikacija, što nije slučaj kod laser jer oni emitiraju svjetlost određene valne duljine, stoga mogu tretirati samo određenu vrstu indikacija.

2.2.2. Gustoća energije (*eng. Fluence*)

Gustoća energije ($F = J/cm^2$), predstavlja količinu energije (izraženu u Joulima) po jedinici površine (izražene u centimetrima kvadratnim). Veće gustoće energije se povezuju sa boljim rezultatom kod trajnog uklanjanja dlaka, ali postoji i veća opasnost od nuspojava.

Kako se energije apsorbira, temperatura ciljane kromofore raste i prolazi kroz biološke promjene. Optimalno ozračenje će povećati temperaturu ciljane kromofore na razinu koja može prouzročiti oštećenje na njima a da pri tome ne ošteti okolno tkivo. Suvišna gustoća energije može prouzročiti nuspojave dok premale gustoće energije ne mogu postići željeni rezultat [4]. Promjene gustoće energije tijekom trajanja impulsa, imaju veću vjerojatnost izazivanja nuspojava, dok se konstantni dotok energije tijekom cijelog trajanja impulsa pokazao kao učinkovitiji. Izbor odgovarajuće gustoće energije ovisi o više faktora, valnoj duljini, indikaciji koja se tretira, pigmentacijama na koži, trajanju impulsa, obliku impulsa, sustava hlađenje.

2.2.3. Termorelaksacijsko vrijeme

Termorelaksacijsko vrijeme (*Thermal relaxation time* -TRT) je vrijeme koje je potrebno da se ciljana struktura ohladi na 50 % od prvobitne temperature, što daje dovoljno vremena da bi se epiderma i druge strukture kože ohladile. Trajanje impulsa bi trebalo biti kraće od vremena hlađenja mete, ali duže od vremena hlađenja kože. To ima kliničke posljedice, posebno za uklanjanje dlačica.

2.2.4. Otisak uređaja (eng. *Footprint, Spot size*)

Otisak uređaja ima važnu ulogu jer se odražava na dubinu prodiranja svjetlosti u tkivo. Veći otisak omogućuje sa istim parametrima veću dubinu prodiranja. Ali veličina otiska također treba biti prilagođena ciljanoj strukturi, kako se ne bi oštetilo okolno tkivo. Kod tretmana na velikim površinama je veliki otisak koristan, jer se time tretman može obavljati brže. Manji jeftiniji uređaji većinom imaju manji otisak, tako da je kod takvih uređaja i dubina prodiranja ograničena, ali se to može kompenzirati povećanjem gustoće energije.

Postoje više različitih otisaka uređaja koji se mogu mijenjati ovisno o tretiranom području. Teoretski bi te značajke trebale omogućiti dublje prodiranje zračenja sa jednolikim snopom, što olakšava ciljanje dubljih folikula, isto kao i nježnijih ili tanjih dlaka a sprječava epidermalno oštećenje. IPL vodiči svjetlosti su dodirne točke IPL uređaja sa kožom. Koriste se za prijenos svjetlosti kroz aplikator na tretiranu površinu. U ovisnosti o nastavku mijenja se i veličina otvora odnosno otisak uređaja (Slika 2.2.).



Slika 2.2. IPL vodiči svjetlosti, izvor [5]

2.2.5. Trajanje impulsa

Svjetlost se prenosi impulsnim ili kontinuiranim valom. IPL uređaji su temeljeni na impulsnom prijenosu koji omogućava selektivno oštećenje tkiva. Trajanje impulsa se definira kao vrijeme izloženosti optičkom zračenju, a izražava se u sekundama. Laseri i IPL uređaji omogućuju odabir odgovarajućeg trajanja impulsa, ovisno o termorelaksacijskom vremenu.

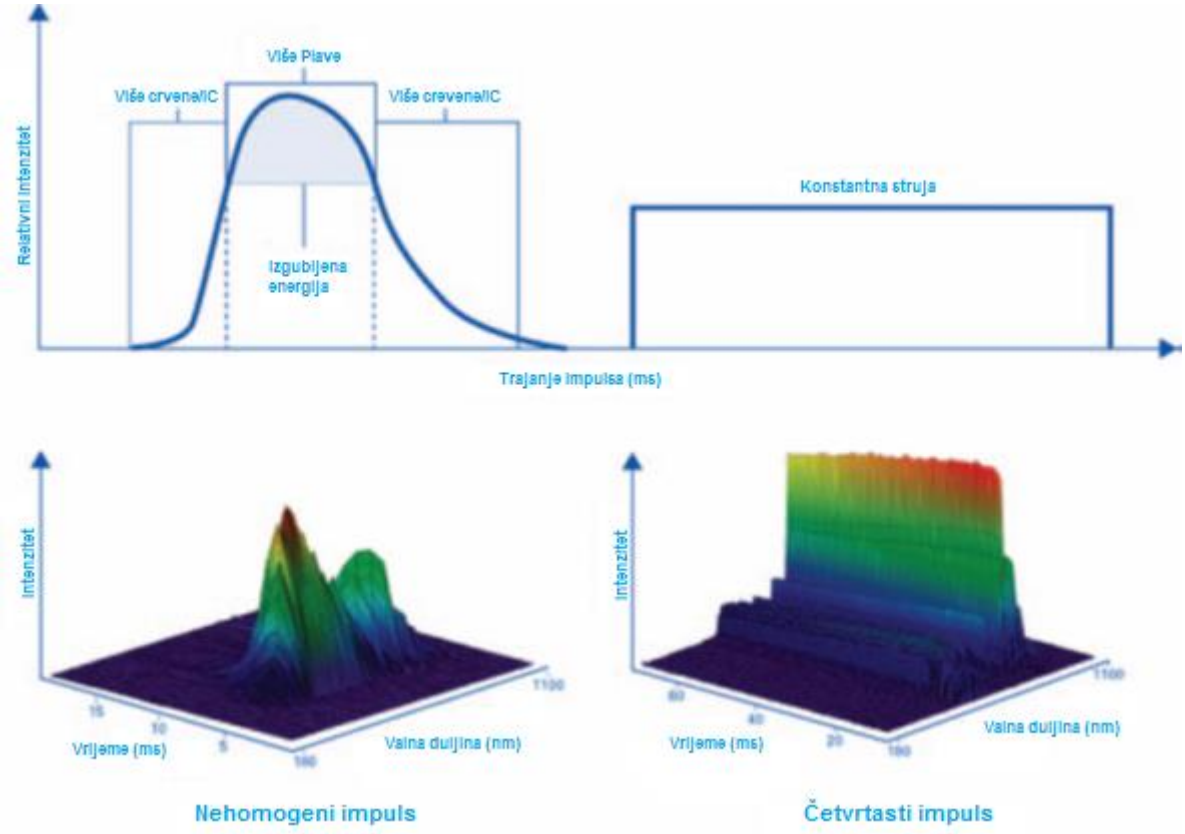
Dlake imaju prosječan promjer od 300 μm, stoga je termorelaksacijsko vrijeme folikule dlake otprilike 100 ms, na osnovu toga se određuje trajanje impulsa. Odabir odgovarajućeg trajanja impulsa je važan kako bi se izbjeglo pregrijavanje epiderme. Kako bi se epiderma zaštitila trajanje impulsa treba biti kraće od termorelaksacijskog vremena epiderme. Dulji impulsi zahtijevaju veće gustoće energije, koje kod velikih otvora zahtijevaju veliki ukupni output energije.

Prema Andersonu i Parrishu mjerenje trajanja impulsa je važno jer optimalno trajanje impulsa treba biti što sličnije termorelaksacijskom vremenu ciljane kromofore. Trajanje impulsa se treba odrediti na osnovu veličine i fizičkih osobina ciljane strukture. Velike ciljne strukture na osnovu duljeg termorelaksacijskog vremena trebaju dulje trajanje impulsa od manjih ciljanih struktura. Mnoštvo istraživanja je potvrdilo ovu tezu, pokazujući da se postiže bolji učinak smanjenja dlaka ukoliko je trajanje impulsa blizu ili čak dulje od termoralaksacijskog vremena folikule dlake. No ukoliko je trajanje impulsa predugo, toplina se prenosi na okolno tkivo povećavajući time vjerojatnost od nuspojava, no opasnost od nuspojava se također javlja ukoliko je trajanje impulsa prekratko a gustoća energije prevelika. Trajanje impulsa se razlikuje među IPL uređajima ovisno o proizvođaču. Neki IPL uređaji koriste trokutaste impulse, dvostruke ili višestruke impulse. Trajanje impulsa treba biti prilagodljivo, jer razne kromofore imaju različito termorelaksacijsko vrijeme [6].

2.2.6. Oblik impulsa

Pored trajanja impulsa važan je i oblik impulsa jer se energija mjeri kroz cijelo trajanje impulsa. Važno je da impuls bude što više četvrtast, jer tako ima isti intenzitet kroz cijelo trajanje impulsa. Kako bi se postigao jednolik učinak spektralna distribucija treba biti jednolika. Većina starijih sustava stvara nehomogene impulse, čija je gustoća energije u sredini veoma visoka a pri kraju znatno manja. Tako dolazi do oscilacija u intenzitetu, što za posljedicu može imati nuspojave kao što su kraste, krvarenje i opekline.

Četvrtasti oblik impulsa proizvodi najmanji mogući intenzitet za danu gustoću energije, smanjujući nelagodu i druge nuspojave kao što su opekline. Četvrtast oblik impulsa (intenzitet svjetlosti za cijelo vrijeme trajanja impulsa je jednak) odlika je novijih IPL sustava (Slika 2.3.).



Slika 2.3. Prikaz razlike između četvrtastog i nehomogenog impulsa, izvor [6]

2.2.7. Vrijeme između impulsa (eng. *Pulse delay*)

Vrijeme između impulsa je vrijeme koje omogućava koži i krvnim sudovima da se hlade između dva impulsa, dok je toplina sačuvana unutar ciljane strukture. Kad je impuls kraći od termorelaksacijskog vremena, toplina će djelovati pretežno na ciljane strukture. Ako je impuls dulji od termorelaksacijskog vremena, toplina će biti provedena u okolne strukture. Preporučuje se da vrijeme impulsa bude dulje od vremena potrebnog za hlađenje, kako bi se izbjegla oštećenja na okolnim strukturama.

Tip kože i trenutno stanje kože određuju izbor odgovarajućeg filtera a time i spektra emitiranih valnih duljina. Kombinacija određene valne duljine, trajanja impulsa i gustoće energije olakšavaju liječenje širokog spektra kožnih bolesti kao što su akne, pigmentne lezije, vaskularne lezije, neželjeni rast dlačica i ožiljci.

Za fotoepilaciju svjetlije kože koriste se 500 nm filteri, dok se za tamnije tipove kože koriste 650 nm filteri. Optimalna širina impulsa za učinak trajne fotoepilacije je između 20 ms i 100 ms. Pokazalo se kako je gustoća energije od 12 J/cm^2 i širina impulsa od 20 ms u kombinaciji 525 nm filtera sigurna i bezbolna za fotoepilaciju fototipova kože od tipa I do IV. A gustoća energije od 12 J/cm^2 i širina impulsa od 60 ms, je sigurna i umjereno bolna za fototip V. Količina energije je bitna, kako bi se osiguralo da ciljna kromofora dobije potrebnu energiju da bi se postigao željeni rezultat a da se pri tome ne ošteti okolno tkivo.

2.3. Princip rada

IPL uređaji koriste bljeskalice i kondenzatorske baterije kako bi generirali pulsirajuće polikromatsko svjetlo visokog intenziteta [7]. Spektar valnih duljina koje emitira IPL uređaj se može razlikovati ovisno o proizvođaču i bljeskalici.

Središte IPL uređaja čini ksenonska bljeskalica. Ksenonske bljeskalice su sijalice sa gasnim pražnjenjem, visokog intenziteta, punjene gasom ksenonom, koje proizvode jako svijetlo kada struja prođe kroz gas. Ove lampe pretvaraju električnu energiju spremljenu u kondenzatorskim baterijama u optičku energiju. Ksenon pobuđen strujom proizvodi širokopojasno svijetlo koje pokriva spektar od ultraljubičastog do infracrvenog.

Različitim tehnikama se filtriraju UV i IR zračenja. U spektru kratkih valnih duljina proizvođači koriste optičke filtere koje filtriraju UV zračenje a ovisno o indikaciji i dio vidljivog spektra. U spektru dugih valnih duljina, uređaji su opremljeni vodenim filterom, koji valne duljine u apsorpcijskom spektru vode, koje su iznad 950 nm apsorbiraju kako bi se izbjegla toplinska oštećenja epiderme [8].

UVC (200 – 290 nm) zračenje mogu apsorbirati sve stanice, dok se za UVB (290 – 320 nm) i UVA (320 – 400 nm) valne duljine smatralo da su odgovorni za štetne učinke solarne radijacije. Intenzivne kraće valne duljine lako mogu povisiti epidermalnu temperaturu; valne duljine od 400 nm do 1000 nm mogu apsorbirati samo neke biomolekule (hemoglobin, melanin).

Stoga, većina IPL uređaja sadrži razne filtere, sa kojima se mogu eliminirati kraće valne duljine. Ti filteri u pravilu omogućuju prijenos svjetla od 515, 560, 590, 615, 640, 695, ili 755 nm sve do 1200 nm kako bi se izbjeglo epidermalno oštećenje (Slika 2.4.).



Slika 2.4. Prikaz filtera, izvor [5]

Odgovarajući filteri se biraju na osnovu tipa kože i trenutnog stanja kože. Fitzpatrickova klasifikacija fototipa kože je najčešće korištena kako bi se odredila reakcija kože na ultraljubičaste zrake i sposobnost tamnjenja kože. Odabir filtera, osim o tipu kože ovisi i o poziciji kromofora u koži, koji tretmanom trebaju biti uništeni. Osobine kože se razlikuju ovisno o dijelu tijela, stoga je potrebno izabrati odgovarajući filter i druge parametre u skladu sa ciljanom strukturom.

Kako bi se pacijenti zaštitili noviji uređaji koriste različite sustave za hlađenje, prisilno zračno hlađenje, kontaktno hlađenje i vodeno hlađenje, kako bi zaštitili epidermu u kontaktu sa aplikatorom. Prisutnost epidermalnog melanina, posebno kod tamnijih fototipova kože predstavlja konkurentnu kromoforu folikuli dlake, koji može biti oštećen tijekom fotoepilacije. Hlađenje površine kože se prakticira kako bi se smanjila epidermalna oštećenja, kao i bol, dok se provodi tretman sa većim gustoćama energije. Svi sustavi hlađenja rade na istom principu, tako što uklanjaju toplinu sa površine kože. Najmanje učinkovit se pokazao sustav koji primjenjuje vodeni gel za hlađenje, koji pasivno izvlači toplinu iz kože i nije u mogućnosti hladiti kožu.

Bljeskalica, optički filter i sustav hlađenja su integrirani u aplikator (Slika 2.5.), Svjetlost se pretežito putem safirnog ili kvarcnog stakla prenosi direktno na kožu, a kao kontaktni medij služi sloj kontaktnog gela.



Slika 2.5. Aplikator sa safirnim staklom, izvor [8]

Velike kondenzatorske baterije, omogućuju stalan dotok struje u bljeskalicu, time omogućavaju i širenje impulsa približno četvrtastog oblika [9].

Intenzitet te trajanje impulsa i valne duljine se mogu razlikovati ovisno o fototipu kože i tretirane indikacije. Filteri koji se nalaze u aplikatoru mijenjaju valne duljine, prilagođavajući ga za razne primjene i fototipove kože. Svjetlost koja prodire u tkivo, apsorbiraju ciljane kromofore, pulsirajuće svjetlo se pretvara u toplinu, što izaziva koagulaciju ciljane strukture, kao što su folikula dlake i kapilari u dermi kože i time ih oštećuje međutim ne prodire dovoljno duboko kako bi nanijelo toplinsko oštećenje epidermi. Trajanje impulsa kod IPL sustava može biti podešeno u rasponu od 0,5-88,5 ms i treba biti kraće od termorelaksacijskog vremena ciljane strukture, kako ne bi došlo do oštećenja okolnog tkiva. Osim jednostrukih impulsa, veća gustoća energije može biti postignuta generiranjem niza kraćih impulsa. Intervali između impulsa se mogu podesiti na vrijednosti između 1 ms i 300 ms, što epidermi omogućuje hlađenje između impulsa, dok se toplina zadržava u većim krvnim sudovima ili folikuli. Trajanje svjetlosnog impulsa i njegov intenzitet određuju razinu energije, a time i oslobođenu toplinu koju prima ciljano tkivo. Što je svjetlosni impuls dulji, to je veće zagrijavanje tkiva. Zato je za svaki svjetlosni impuls dulji od 2 ms važno znati da je intenzitet impulsa proporcionalan trenutačnoj zagrijanosti tkiva. Što je impuls ujednačeniji, manja je mogućnost pojave opeklina. Da bi učinak bio optimalan, intenzitet emitiranog fotonskog snopa treba postići maksimum odmah na početku i kao takav traje sve do prestanka impulsa.

Pored tradicionalnih primjena kao što su smanjenje neželjenih dlaka i tretiranje vaskularnih lezija, IPL uređaji se koriste i za mnoštvo drugih tretmana, kao što su fotopomlađivanje, tretmani akni, celulita, keloida i slično. Raznolikost koju IPL tehnologija nudi zahtjeva više znanja i iskustva u odnosu na laserske sustave.

3. POVIJESNI RAZVOJ

Optičko zračenje na kožu djeluje na četiri moguća načina: refleksija, apsorpcija, difrakcija i transmisija. Učinak na tkivo se postiže samo ako je svjetlo apsorbirano, a to rezultira oslobađanjem fotona. Ovisno o valnoj duljini, ciljane su egzogene ili endogene kromofore unutar kože i apsorbirat će te fotone, oslobađajući toplinsku energiju koja zagrijava ciljane kromofore, koje vodi do uništenja ciljanog tkiva putem termokoagulacije. Ta teorija, zvana selektivna fototermoliza, predstavljena je prvi puta 1983. godine od strane John A. Parrish i R. Rox Anderson. IPL tehnologija se zasniva na ovom principu.

Goldman i Eckhouse su 1990. godine počeli sa razvojem bljeskalice visokog intenziteta za tretmane vaskularnih lezija. U prosincu iste godine predstavljen je prvi uređaj temeljen na IPL tehnologiji. Prvobitni spektar svjetlosti nastao je od jednostavne filtrirane bljeskalice. Nakon eksperimenata provedenih na životinjama, 1994. godine predstavljena je nešto naprednija IPL oprema, za tretiranje pacijenata. Taj sustav je bio PhotoDerm VL (Lumenis Ltd., Yorkneam, Israel). IPL je kao uređaj u medicinske svrhe, pušten u prodaju 1994. godine. Narednih godina, nekoliko tehničkih izmjena omogućile su lakše rukovanje, povećanu sigurnost, i širi spektar mogućih primjena [10].

Prvo odobrenje od FDA (US Food and Drug Administration) 1995. godine IPL uređaji su dobili za tretman teleangiektazija. Od tada, je zbog nižih troškova i raznolikosti u odnosu na lasere, došlo do naglog širenja i primjena u raznim indikacijama. Prva studija o uporabi IPL uređaja u dermatologiji bila je 1996., kada je na osamdeset pacijenata proveden tretman plamenog madeža. Iako su IPL uređaji prvobitno razvijeni za tretmane vaskularnih lezija, uključujući teleangiektazije, ubrzo je objavljeno istraživanje o učinkovitom uklanjanju dlaka. IPL uređaji se trenutno koriste pretežito u kozmetičke svrhe.

IPL tehnologija za tretiranje raznih medicinskih problema koristi tek 20 godina. U tom razdoblju od prvih uređaja do sadašnjih modernih uređaja postojale su razne izvedbe sa različitim karakteristikama, te je vremenom došlo do znatnog unapređenja tehnologije.

3.1. IPL uređaji prve generacije

Pod vodstvom Goldmana, 1994. godine EMC Company proizveo je IPL uređaj prve generacije, pod nazivom PhotoDerm VL (Slika 3.1.).

Izlazni spektar ovog uređaja uključivao je apsorpcijski maksimum hemoglobina. Razna istraživanja su pokazala njegovu učinkovitost pri tretiranju vaskularnih lezija. 1996. godine Goldman i Eckhouse su koristili IPL uređaj da bi tretirali 159 pacijenata sa 369 različitih vaskularnih lezija, i zaključili su da je uređaj siguran i učinkovit za tretmane krvnih sudova na nogama sa promjerima od 0,1 do 0,3 mm. Potom je Raulin koristio IPL uređaj sa velikim otiskom za tretman teleangiektazije, također sa pozitivnim rezultatima. Isticali su kako je IPL jednako učinkovit kao laser, ali da je sigurniji.

1997. godine Raulin i Goldman su istaknuli novu primjenu za IPL uređaje, tretiranje plamenog madeža. Dvije godine kasnije Raulin je proveo istraživanje vezano za tretiranje plamenog madeža IPL uređajima, kojim je pokazao da je prosječno potrebno 4,2 tretmana kako bi se postigla učinkovitost od 70-100 %. U tim tretmanima obično su se koristili slijedeći parametri: 515 nm ili 550 nm filter, trajanje impulsa od 2,5 - 5,0 ms i gustoća energije od 24 do 30 J/cm^2.

Iako su se pojavljivale nuspojave kao što su purpura (76 %), plikovi (8 %), kraste (20 %), pigmentne promjene (10,8 %), hipopigmentacija (8,1 %) i hiperpigmentacija (2,7 %), nisu zabilježene pojave ožiljaka. Raulin navodi da je IPL siguran i učinkovit za tretmane plamenog madeža. Godine 1997. Gold je potvrdio sigurnost i učinak dugotrajne fotoepilacija za Epilight IPL sustav za uklanjanje dlaka.

Ranije izvedbe IPL uređaja koristile su skoro nefiltrirano svjetlo, izlazni spektar je bio nekontroliran. Iako je spektar mogao ciljano pogoditi hemoglobin i melanin, nije bilo moguće filtrirati kraće valne duljine, nije bilo učinkovitih mjera kojima bi se zaštitilo okolno tkivo ili tamniji fototipovi kože, stoga su ti uređaji uzrokovali mnoštvo nuspojava. Pacijenti su tretmane opisivali kao jako neugodne, pa čak i bolne te su često zahtijevali lokalne anestezije.

U početnoj fazi nije bilo puno istraživanja, te je dalji razvoj uređaja bio upitan. Međutim pozitivni rezultati provedenih istraživanja su potakli daljnje istraživanje.

Karakteristično za IPL uređaje prve generacije (PhotoDerm VL) je da su u odnosu na lasere bili neinvazivni, imali su širok spektar, sa svjetlom kratkih valnih duljina, te jednostruke impulse. Kod ovih uređaja nije bio ugrađen sustav za hlađenje. Ciljne kromofore su bile hemoglobin (za

tretiranje vaskularnih lezija), te melanin (za uklanjanje dlaka). Nuspojave koje su bile karakteristične za ove sustave uključuju jaku bol, opekline i hiperpigmentacije. Korišteni su filteri od 515 nm do 695 nm.



Slika 3.1. PhotoDerm VL, izvor [29]

3.2. IPL uređaji druge generacije

Godine 1998. na tržište je izašao Vascu-Light VL (Slika 3.2.), IPL uređaj druge generacije. Uređaj je bio snažniji sa kratkim impulsima i filterima, što je povećalo broj mogućih primjena. Uređaj je sadržavao Nd:YAG laserski nastavak, što je značilo da je izlazni spektar bio djelomično kontroliran. Uređaji druge generacije su koristili bolje filtere, kako bi ograničili štetne valne duljine svjetlosti, te su u odnosu na uređaje prve generacije postizali znatno bolje rezultate. Neki uređaji su također ugradili i sustav prethodnog hlađenja, koji je ublažavao neke od nuspojava. Tretmani su opisivani kao relativno neugodni, iako je hlađenje kože ublažilo jaču bol.

Godine 1998. Bitter je koristio novi IPL uređaj za odstranjivanje dlaka na licu, te je ustanovio kako je lice pacijenta poslije tretmana izgledalo mlađe, time je uveden novi tretman fotopomlađivanja IPL uređajima [10].

Karakteristično za IPL uređaje druge generacije (VascuLight VL) je veća snaga i kompliciraniji sustav filtera u odnosu na IPL uređaje prve generacije. Kao i prethodna generacija i ovi uređaji nisu imali ugrađeni sustav hlađenja. Ciljne kromofore bile su hemoglobin za tretiranje vaskularnih lezija te melanin za uklanjanje dlaka. Najčešće nuspojave su uključivale jaku bol, epidermalne opekline, pigmentne lezije te lakše oblike hiperpigmentacije.



Slika 3.2. VascuLight VL, izvor [30]

3.3. IPL uređaji treće generacije

Quantum SR bio je prvi IPL uređaj treće generacije koji je 2000. godine predstavljen na tržištu. Ovaj uređaj bio je dizajniran, da bude jednostavniji za uporabu te je uključivao i sustav hlađenja, koji je utjecao na smanjenje nuspojava. U ovom razdoblju javlja se veći interes za ovu tehnologiju te su se istraživale nove moguće primjene. Bjerring je za tretman uklanjanja dlaka usporedio IPL sa ruby laserom. Istraživanje je pokazalo da je IPL uređaj imao 3,94 puta bolju učinkovitost u usporedbi sa ruby laserom. Bjerring i Christiansen su pokušali tretirati pigmentne lezije sa IPL uređajem. Nakon jednog tretmana kod 96 % pacijenata je došlo do smanjenja pigmenta. IPL je aktivno istraživan, posebno zbog njegovih osobina kao što je kratko vrijeme oporavka i minimalne nuspojave.

Karakteristično za IPL uređaje treće generacije (Quantum SR) je jednostavnija izvedba i rukovanje uređajem, te brzo vrijeme oporavka nakon tretmana. Uređaji iz treće generacije su prvi imali ugrađen sustav hlađenja. Ciljna kromofora ovih uređaja je voda, za tretmane fotopomlađivanja.

U odnosu na uređaje prethodne generacije, nova generacija uređaje izazivala je znatno manju bol, manje hiperpigmentacija te manja oštećenja kože. Proširena je i primjena uređaja na tretiranje lica, vrata i ruku. Veći otisak uređaja omogućuje brže tretmane u odnosu na starije uređaja.

Neke od specifikacija Quantum SR IPL sustava (Slika 3.3.):

- Valne duljine (*Wavelength*): 560 - 1200 nm
- Gustoća energije (*Fluence*): 15 - 45 J/cm^2
- Impulsni niz: 2 - 3 impulsa
- Trajanje impulsa: 6 - 26 ms
- Vrijeme između impulsa: 5 - 60 ms
- Otisak: 8 x 34 mm
- Frekvencija: 0,5 Hz
- Ugrađeno hlađenje kože: otprilike 0℃



Slika 3.3. Quantum SR, izvor [31]

3.4. IPL uređaji četvrte generacije

Prvobitno, IPL uređaji su bili glomazni, teški za rukovanje i upravljanje, te su bili prihvaćeni samo od strane nekoliko stručnjaka. Nakon desetljeća razvoja, 2004. godine predstavljena je četvrta generacija IPL sustava, sa dosta boljim karakteristikama. Ovaj sustav nudi ‘‘četvrtasti oblik impulsa”, što podrazumijeva jednaku spektralnu distribuciju kroz čitavo trajanje impulsa. Ova tehnologija se zove *optimal pulse technology* (OPT), smatra se najvećim izumom u razvoju IPL tehnologije. Prijašnji šiljasti oblik impulsa lako je mogao prouzročiti puknuće krvnih sudova ili trombozu, dok novi četvrtasti oblik otklonio oscilacije energije unutar impulsa.

Također, trajanje impulsa, te dvostruki ili višestruki impulsi, širina impulsa, pridonose preciznijim postavkama, što omogućava simultane tretmane različitih ciljnih kromofora na različitim mjestima u koži.

Karakteristično za IPL uređaje četvrte generacije (Lumenis One) je veliki broj filtera, te nastavci za veliki ili mali otisak uređaja. Uređaji nove generacije uvode višestruke impulse, sustav hlađenja i OPT tehnologiju. Uvođenjem OPT tehnologije se u potpunosti i precizno da kontrolirati izlazni spektar. Zbog bolje kontrole izlaznog spektra smanjuju se i moguće nuspojave, bol je podnošljiva, a ne pojavljuju se oštećenja epiderme.

Prvi sustav sa OPT tehnologijom je LumenisOne (Slika 3.4.), jedna od najrazvijenijih tehnologija u estetskoj medicini. Prilagodljiv je uz bilo koju kombinaciju Lumenis IPL, LightSheer ili Nd:YAG sustava.



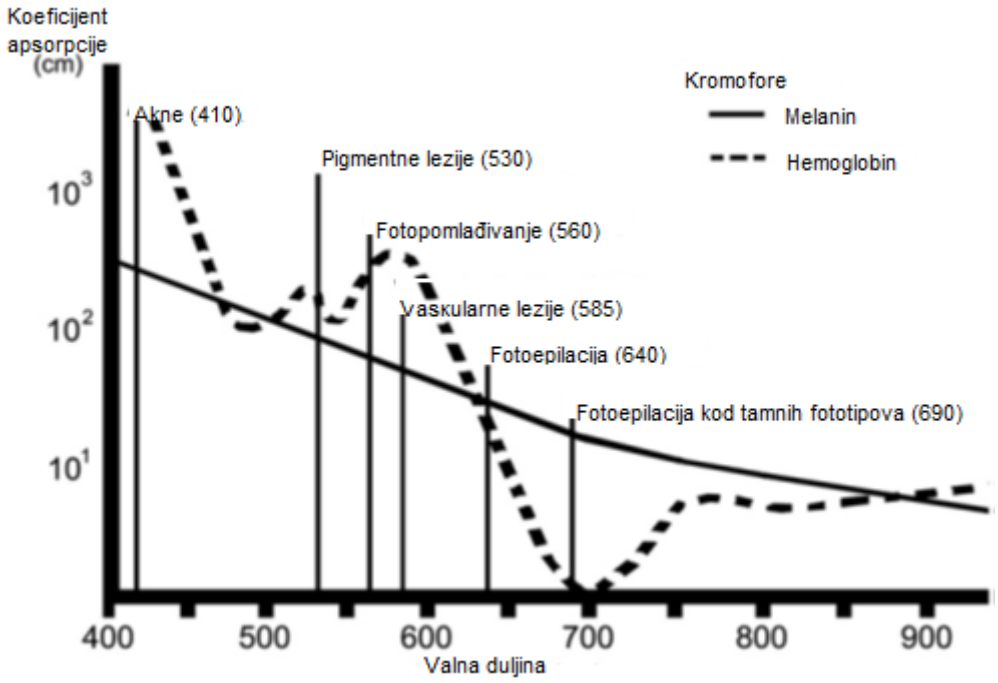
Slika 3.4. Lumenis One, izvor [32]

4. PRIMJENA IPL UREĐAJA

FDA (US Food and Drug Administration) je 1995. godine dao prvo dopuštenje za IPL tretman teleangiektazija. Uporaba IPL tehnologije ubrzo se proširila i na druge medicinske i kozmetičke tretmane.

Svaka valna duljina nosi određenu energiju i prodire do točno određene dubine u koži. Emitirana zraka u doticaju s tkivom može biti reflektirana (oko 70 % fotonskog snopa odmah se reflektira u kontaktu s kožom), transmitirana (prolazak kroz kožu bez djelovanja na nju), raspršena (skretanje fotona s putanje zbog sudaranja s kolagenim vlaknima, krvnim žilama itd., tako da oni ne dopiru do ciljnog tkiva i ne deponiraju energiju u koži) i apsorbirana (u ciljnim komponentama tkiva - kromofore, a to su pigment melanin, krvni pigment hemoglobin i voda). Udio svakog od tih načina ovisi o valnoj duljini zrake i apsorpcijskom svojstvu obasjanog tkiva. Različite valne duljine imaju različite koeficijente apsorpcije, ovisno o tkivu na koje djeluje fotonski snop. Apsorpcijom u kromoforama, svjetlosna energija pretvara se u toplinsku energiju.

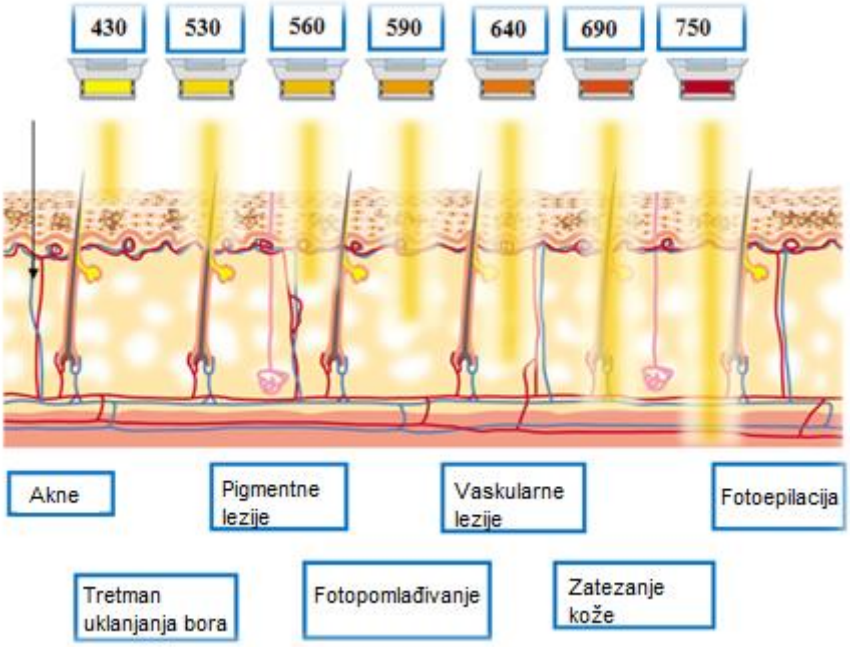
IPL uređaji se mogu konfigurirati za različite spektre zračenja ovisno o filteru, vrsti bljeskalice ili gustoći energije. Valna duljina koju emitira IPL uređaj se bira kako bi imala točnu dubinu prodiranja i optimalnu apsorpciju ciljne kromofore (Slika 4.1.) [11].



Slika 4.1. Apsorpcijski koeficijenti pojedinih kromofora, izvor [2]

IPL tehnologiju koriste kozmetičari i liječnici za obavljanje raznih tretmana kože, što u estetske što i u terapeutske svrhe. Ti tretmani uključuju fotopomlađivanje, uklanjanje neželjenih dlaka, tretiranje raznih vaskularnih i pigmentnih lezija [12]. Slično kao i kod lasera, IPL uređaji koriste svjetlost pomoću koje zagrijavaju i uništavaju ciljane strukture. Međutim, za razliku od lasera koji koriste jednu određenu valnu duljinu i time djeluje na jednu kromoforu, prema tome i na jednu indikaciju, IPL koristi široki spektar valnih duljina. Promjenjivost valnih duljina koja se postiže jednostavnom izmjenom filtera, omogućuje obavljanje različitih tretmana (Slika 4.2.).

IPL uređaji koriste polikromatske ksenonske širokopojasne bljeskalice, sa optičkim filterima, kako bi generirali nekoherentne svjetlosne zrake u bljeskove od 400 - 1200 nm. Ovisno o korištenom filteru, IPL uređaj emitira određeni raspon valnih duljina, kako bi dostigao željenu dubinu ciljane strukture. Slično kao i kod Lasera, IPL tehnologija se temelji na principu selektivne fototermolize. Zbog njegove sposobnosti da emitira spektar valnih duljina, jednokratna izloženost svjetlosti može nadražiti više kromofora u koži (hemoglobin, voda i melanin) istodobno [13].



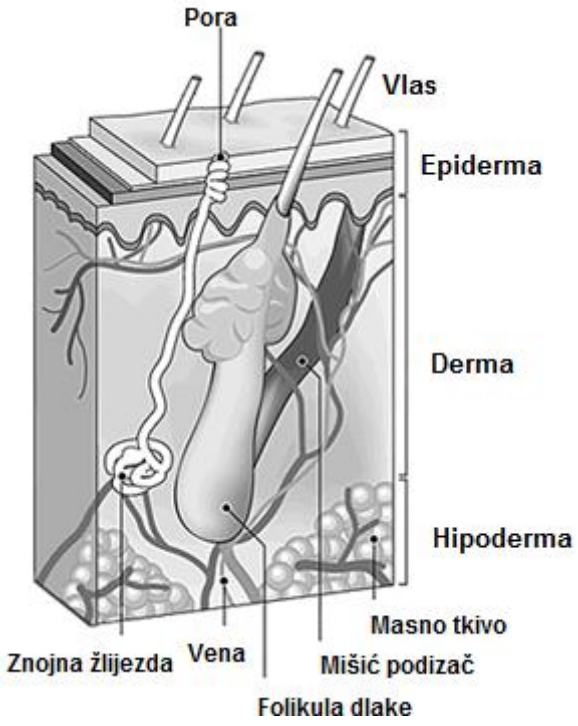
Slika 4.2. Primjena filtera za tretiranje različitih indikacija, izvor [14]

4.1. Akne

Koža se sastoji od tri sloja, to su epiderma, derma i potkožno tkivo. Vanjski dio epiderme prekriven je slojem keratina, koji služi kao zaštita od ozljeda i infekcija, unutarnji dio epiderme

sadrži pore, a unutar pora nalazi se lojna žlijezda, koja je smještena između folikule dlake i epiderme. Žlijezde proizvode sebum koji je zaslužan za teksturu i hidrataciju kože. Folikula dlake smještena je u gornja dva sloja kože (Slika 4.3.). Dubina folikule ovisi o dijelu tijela na kojem se nalazi. Zbog hormonalnih promjena može doći do zadebljanja epiderme (hiperkeratoza) što kao posljedicu ima pojačano lučenje sebuma. Hiperkeratoza može prouzročiti začepljenje pora i folikule dlake, stvarajući time zatvoreno anaerobno okruženje [2]. U takvom okruženju nastaju i razmnožavaju se bakterije *Propionibacterium acnes*. Ove bakterije izazivaju upalnu reakciju te nastanak akni.

U metaboličkom procesu bakterije *Propionibacterium acnes*, nastaju porfirini. Porfirin apsorbira svjetlost u UV spektru. Kada porfirini postanu kemijski aktivni, oni izazivaju fotodinamičku reakciju i naknadno oslobađaju slobodne radikale. Slobodni radikali uništavaju bakterije *Propionibacterium acnes* u lojnim žlijezdama.



Slika 4.3. Struktura kože i dlake, izvor [15]

Cilj tretmana akni je sprječavanje nastanka atrofičnih i hipertrofičnih ožiljaka. Mehanizam djelovanja fototerapije akni ovisi o korištenoj energiji i valnoj duljini. Ciljne strukture su krvni sudovi derme koje hrane žlijezdu lojnicu, jer se njihovim oštećenjem smanjuje rad lojnice. Za

tretmane akni potrebne su valne duljine od 410 nm, gustoća energije od 26 do 40 J/cm^2 te promjenjivo trajanje impulsa od 5 do 30 ms, ove postavke su se pokazale kao najsigurnije i najučinkovitije. Većina istraživanja pokazuje poboljšanje od 80 % nakon samo tri tretmana IPL uređajem.

4.2. Pigmentne lezije

Među mnoštvom metoda koje se koriste za liječenje prijevremenog starenja kože, IPL uređaji su stekli značajan interes zbog brzog oporavka nakon tretmana. Diskromija, posebice na licu je jedna od češćih indikacija kod koje se provode tretmani IPL uređajima. Kod uporabe svjetlosnih izvora za tretmane pigmentnih lezija, lokalizacija pigmenta je ključna, za odabir odgovarajuće valne duljine.

Valne duljine u rasponu od 630 nm do 1100 nm obuhvaćaju preferencijalnu apsorpciju melanina u odnosu na hemoglobin te učinkovitu dubinu prodiranja. Efelidi, starosne i sunčane pjege su neki od primjera pigmentnih lezija koje su uspješno tretirane IPL uređajima. Uporabom raznih filtera, IPL uređaji mogu emitirati spektar valnih duljina u rasponu od 500 nm do 670 nm i 870 nm do 1400 nm, što omogućava tretiranje pigmentnih i vaskularnih lezija.

Manji filteri se mogu koristiti za tretiranje površinskih vaskularnih pigmentacija, a veći filteri za tretiranje dubljih lezija. IPL uređaj emitira svjetlosne impulse u trajanju od nekoliko milisekundi, time omogućava tretiranje pigmentnih lezija. Međutim tu se mogu očekivati nuspojave ko što je zatamnjenje ili ljuštene tretirane kože, što nije slučaj kod Q-switched lasera. Dokumentirano je da je IPL uređaj (Harmony system, Alma Lasers Ltd, Caesarea, Israel; filter: 570 nm, trajanje impulsa: 15 ms, gustoća energije: 10 – 12 J/cm^2*)* korišten za uspješno otklanjanje dermatitisa. Vraćena je normalna boja kože, nije primijećena pigmentacija unutar šest mjeseci, nisu dokumentirane nikakve nuspojave [7].

4.3. Fotopomlađivanje

Pojam „Fotopomlađivanje“ opisuje simultano poboljšanje raznih epidermalnih promjena koje su povezane sa starenjem. Klinički opis starenja kože nije povezan samo sa borama, također

se povezuje sa stanjivanjem kože, pigmentnim promjenama i teleangiektazijom. Izlaganje suncu i pušenje su među glavnim uzrocima prijevremenog starenja.

Kvaliteta stareće kože se može poboljšati ablativnim i neablativnim metodama. Razlika je u tome što pri neablativnim tretmanima ne dolazi do uništenja epiderme, a vrijeme oporavka je znatno kraće kod ablativnih tretmana. Hemoglobin i melanin su ciljne kromofore kod fotopomlađivanja. Maksimum apsorpcije hemoglobina je oko 580 nm, dok je kod melanina od 400 nm do 750 nm. Fotopomlađivanje se može podijeliti na dva tipa: tip I se odnosi na vaskularne nepravilnosti ili pigmentne promjene, dok se tip II odnosi na kožno i potkožno starenje [16].

Podaci iz većine istraživanja o učinkovitosti IPL uređaja kod tretmana fotopomlađivanja su nejednaki. IPL se pokazao kao dobra alternativa za lasere kod vaskularnih nepravilnosti, dok za smanjenje bora nisu postignuti dobri rezultati [7]. Glavne prednosti IPL-a kod tretmana fotopomlađivanja su kratko vrijeme oporavka, brz i jednostavan zahvat, te minimalne komplikacije.

4.4. Vaskularne lezije

Ciljane kromofore u tretmanima vaskularnih lezija su oksihemoglobin i deoksihemoglobin. Površinske crvene vaskularne lezije imaju veliku koncentraciju oksihemoglobina. Apsorpcijski maksimum oksihemoglobina je na 418 nm, 542 nm i 577 nm. Deoksihemoglobin se pretežno nalazi u dubljim vaskularnim lezijama na donjim ekstremitetima, apsorpcijski spektar deoksihemoglobina između 600 nm i 750 nm. Međutim, oksihemoglobin i deoksihemoglobin nisu jedine kromofore u koži, kako i melanin apsorbira svjetlost to ograničava dubinu prodiranja.

Ross je na temelju matematičkog modela zaključio da su laseri i IPL uređaji sa optimalnim parametrima u pogledu na sigurnost i učinkovitosti usporedivi u tretiranju vaskularni lezija. No, za razliku od lasera, IPL uređaji imaju široki spektar valnih duljina sa različitim dubinama prodiranja, različitom apsorpcijom kože i kompleksnijom reakcijom tkiva. Trajanje impulsa treba biti kraće od termorelaksacijskog vremena kromofore, kako bi se zaštitilo okolno tkivo od toplinskog oštećenja. Dugi razmak između impulsa i dugo trajanje impulsa omogućuju hlađenje epiderme i malih krvnih sudova bez smanjenja temperature većih krvnih sudova. Kao rezultat toga, mogu se primjenjivati veće gustoće energije za zagrijavanje većih krvnih sudova, bez oštećenja epiderme.

Jedna od prednosti IPL tehnologije u usporedbi sa laserima je izostajanje postoperativne purpure, što znatno smanjuje vrijeme oporavka. Umjesto izazivanja purpure, cilj tretiranja vaskularnih lezija IPL uređajima je povišenje temperature krvnih sudova, kako bi se izazvala koagulacija, što dovodi do njihovog uništenja. Toplina koja se oslobađa nakon apsorpcije koagulira krv, kondukcijom prenosi na stjenke krvnih sudova, zagrijava ih, sljepljuje i smanjuje njihovu protočnost. Broj tretmana potrebnih za uklanjanje vaskularnih lezija ovisi o njezinoj veličini i dubini, smještaju i općem zdravstvenom stanju pacijenta.

Kod odabira postavki za IPL tretman, važno je uzeti u obzir i promjer krvnih sudova, kako bi se odredilo odgovarajuće termorelaksacijsko vrijeme. Za krvni sud promjera od 0,1 mm termorelaksacijsko vrijeme iznosi oko 10 ms, dok sa krvni sud promjera 0,3 mm termorelaksacijsko vrijeme iznosi 100 ms. Pretpostavljajući da je termorelaksacijsko vrijeme epiderme 10 ms, tretman malih krvnih sudova bi se trebao izvoditi višestrukim impulsima sa razmacima od 10 ms između impulsa, kako bi omogućili potrebno hlađenje epiderme. IPL sustavi su se pokazali kao učinkoviti za tretmane, hemangioma, oštećenja krvnih sudova i teleangiektazije.

4.4.1. Plameni madež

Tretiranje plamenog madeža sa pulsed dye laserom (585 nm) pokazalo je da se većina energije zadržava u površinskim krvnim sudovima, što smanjuje raspoloživu svjetlost za dublje krvne sudove. Dok kod IPL promjenjivo trajanje impulsa i višestruki kratki impulsi izazivaju dodatno zagrijavanje, što vodi do koagulacije krvnih sudova raznih promjera i teoretski do boljeg istovremenog zagrijavanja površinskih i dubljih krvnih sudova. Razmak od 5 do 100 ms između impulsa omogućuje hlađenje epiderme i sprječavanje oštećenja. Kod većine istraživanja provedenih za plameni madež, IPL uređaji su pokazali dobru podnošljivost. Nuspojave su bile rijetke, a uključivale su eritem, plikove, hiperpigmentaciju i hipopigmentaciju.

4.4.2. Teleangiektazije

U vaskularne lezije za čije se tretiranje često koristi IPL tehnologija također spada i tretman teleangiektazija. Najčešće se tretmani obavljaju u intervalima od tri do osam tjedana. Istraživanje provedeno na 1,000 pacijenata sa teleangiektazijama lica u periodu od 1998. do 2005. godine sa uređajem Photoderm VL (LumenisAesthetic, Santa Clara, California) pokazalo je da je IPL

tehnologija brza, sigurna i učinkovita. Tretirani su veliki krvni sudovi lica, sa trostrukim impulsom, koristeći 590 nm filter i trajanje impulsa od 2,4 ms, 3,0 ms i 3,5 ms i razmacima od 30 i 25 ms, gustoća energije od 50 do 56 J/cm^2. Dobra učinkovitost i rijetke nuspojave su potvrđene u više istraživanja. Prema nekim kalkulacijama idealno trajanje impulsa za tretman teleangijektazija krvnog suda sa promjerom od 30 μm do 300 μm iznosi između 0,5 i 40 ms.

4.4.3. Hemangiom

Hemangiom se često javlja u prvim mjesecima života. Premda, veliki broj takvih lezija se pogorša, mogu nastaviti rasti, dok kod 20 % pacijenata ostanu nepromijenjeni. Iz tog razloga bi se trebao tretirati što prije. Postoje razne terapije kao što si krioterapija, terapija pulsed dye laserom, Nd:YAG laserom, long pulsed laserom i razni IPL tretmani.

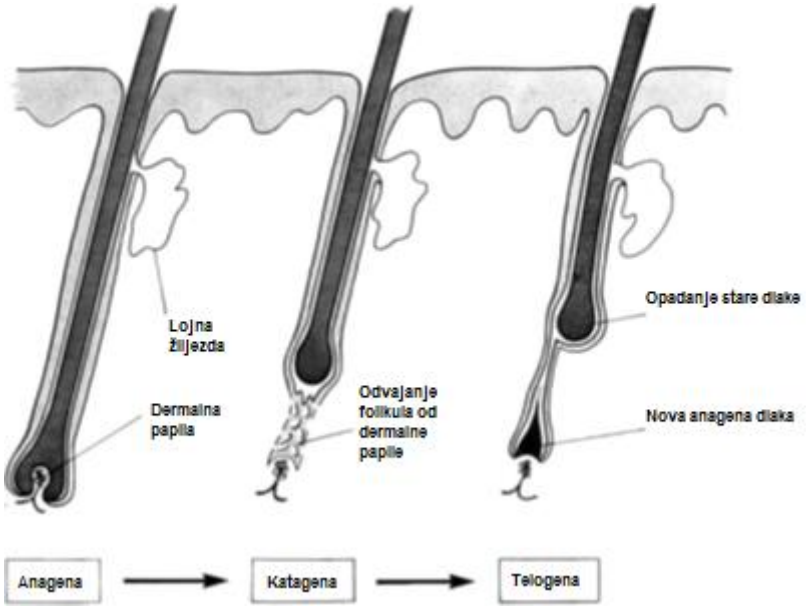
U istraživanju koje je proveo Angermeier, IPL tretman je imao učinkovitost od 75 % do 100 %, međutim zbog velikog broja komplikacija i razine boli, za tretiranje ove indikacije se i dalje preporučuje metoda sa pulsed dye laserom [11]. Vaskularne lezije kao što su teleangiektazije, hemangioma, rosacea se mogu tretirati IPL uređajima. Dok teleangiektazije često nestanu sa jednim tretmanom, rosacea zahtjeva više tretmana, a za liječenje plamenog madeža je često potrebno najviše tretmana.

4.5. Fotoepilacija

Dlake se u kozmetičke svrhe mogu trajno ukloniti raznim metodama, na primjer, zagrijavanjem dlake i folikule dlake na temperaturu koja je dovoljno visoka da bi rezultirala koagulacijom. Poznato je da krv koagulira kada se zagrijava na temperaturu oko 70° C. Tako će i zagrijavanje epiderme, dlake i folikule dlake na temperature iste visine rezultirati njihovom koagulacijom i trajnim uklanjanjem dlaka. Hipertrihoza i hirzutizam često su velik estetski problem, a do pojave fotoepilacije rabile su se brojne metode privremenog i kratkotrajnog smanjenja dlakavosti (brijanje, depilacija voskom i šećernom pastom, kreme za depilaciju). Jedina metoda kojom se postizao učinak duljeg trajanja bila je elektroliza, koja je povezana sa značajnim rizikom od ožiljaka i promjena pigmentacije. Neželjeni rast dlaka predstavlja značajan problem za dosta pacijenata. Zbog toga je fotoepilacija postala veoma popularan zahvat u estetskoj i kozmetičkoj praksi.

Otkako je FDA (Food and Drug Administration) 1996. god. odobrio primjenu lasera za fotoepilaciju, razvili su se brojni laserski i IPL sustavi kojima se, primjenom valne duljine od 600 nm do 1200 nm, postiže dugotrajno smanjenje dlaka. FDA je trajno smanjenje rasta dlaka definirao kao „dugoročno, stabilno smanjenje broja dlaka koji ponovo rastu nakon terapije koja je uključivala nekoliko tretmana. Broj dlaka koje ponovo rastu mora biti stabilan kroz period koji je dulji od ciklusa rasta dlake, što može varirati od četiri do dvanaest mjeseci, ovisno o dijelu tijela". Uklanjanje neželjenih dlaka sa IPL uređajima je uobičajeno na svim dijelovima tijela, uključujući lice, pazuha, prsa, leđa i noge.

Za proces uklanjanja dlaka neophodno je poznavanje osnova o folikuli dlake i o ciklusu rasta dlake (Slika 4.4.). Postoje tri faze u ciklusu rasta dlake: anagena (faza rasta), katagena (prijelazna faza) i telogena (faza mirovanja). Anagena faza je aktivna faza rasta folikula dlake. Folikularne matične stanice koje se nalaze u bulbi se dijele velikom brzinom te konačno formiraju dlaku, koja se probija kroz epidermu. Do ispadanja dlake može doći kada se zbog lijekova ili bolesti anagena faza prekine. Katagena faza je prijelazna faza, koja traje dva do tri tjedna. Tijekom ove faze prestaje rast dlake. Telogena faza je faza mirovanja, traje otprilike tri mjeseca kod vlasišta a duže kod dlaka na rukama i nogama. Nakon telogene faze završava ciklus rasta dlake, te ponovo počinje anagena faza [2].



Slika 4.4. Ciklus rasta dlake, izvor [2]

Dlaka se sastoji od dva glavna dijela. To su vlas i bulba. Vlas je vidljivi dio dlake, koji nema utjecaj na rast dlake, sadrži mišić podizač i matične stanice, koje su važne za regeneraciju

dlake. Bulba se nalazi na dnu folikule gdje je u kontaktu se dermalnom papilom. Bulba sadrži kromoforu melanin.

Primjena IPL uređaja za fotoepilaciju, temelji se na principu selektivne fototermolize, koristeći melanin kao ciljanu kromoforu. Budući da se melanin nalazi u folikuli dlake kao i u epidermi, važno je selektivno ciljati depozite pigmenta vlasi, ostavljajući melanin u epidermi netaknutim. Kada melanin apsorbira svjetlosnu energiju, ona se pretvara u toplinsku energiju uzrokujući nekrozu folikule dlake (Slika 4.5.). Folikula dlake je najosjetljivija na ovaj tretman u anagenoj fazi.

Boja dlake i duljina su bitne za predviđanje efikasnosti fotoepilacije IPL uređajem. Grublje i tamnije dlake apsorbiraju više energije i bolje reagiraju od svjetlijih i nježnih dlaka.



Slika 4.5. Uništenje dlake IPL uređajem, izvor [2]

Kako bi se epidermalni melanin zaštitio od toplinskog oštećenja, impulsi svjetla se mogu podijeliti u sinkronizirane male impulse međusobno odvojene kratkim termorelaksacijskim vremenima. Kako bi se izbjegle komplikacije, ključno je koristiti odgovarajuće postavke, kako bi se osigurao potpuni kontakt između kristala u aplikatoru i kože. Upravo zbog toga Moderni IPL sustavi imaju ugrađeno hlađenje što smanjuje komplikacije.

IPL uređaji se koriste kod pacijenata koji prema Fitzpatrickovoj klasifikaciji fototipova kože imaju tip 1, tip 2 ili tip 3. Ne koriste se kod tamnijih tipova kože ili pacijenata sa preplanulom kožom, koja sadrži melanin, zbog opasnosti od epidermalne ozljede. Kod tamnijih osoba, promjena boje kože puno je izglednija (diskromija), što se treba uzeti u obzir prilikom odabira gustoće energije i trajanja pulsa prije tretmana. U tim slučajevima se preporuča najveći dostupni filter (755 nm) sa kašnjenjem između impulsa od 50 do 100 ms, što epidermi omogućava da se hladi, kako bi se smanjilo toplinsko oštećenje. IPL se može koristiti za tretmane fotoepilacije na raznim dijelovima tijela. Veliki otisak uređaja (eng. *spot size*) olakšava primjenu na velikim površinama kao što su leđa, prsa ili noge, što bi bilo dosta zahtjevnije sa uređajem koji ima manji

otisak od IPL uređaja. Privremeno uklanjanje dlaka pomoću svjetla se postiže ukoliko folikularne matične stanice nisu u potpunosti uništene. Privremeno uklanjanje dlaka se postiže dosta jednostavnije nego trajno uklanjanje kada se koriste manje gustoće energije. Dugoročno uklanjanje dlaka ovisi o boji dlake, boji kože i gustoći energije.

Uklanjanje dlaka pomoću lasera i IPL uređaja se u pravilu smatra sigurnim, ukoliko tretman provodi za to obučena i kvalificirana osoba. Između tri i osam tretmana u razmacima od četiri do osam tjedana je potrebno kako bi se postiglo dugoročno smanjenje dlaka. Sa ovakvim postupkom liječenja IPL uređajima, postignuta je učinkovitost uklanjanja dlaka od 70 % do 90 %.

Razna istraživanja, su pokazala učinkovitost IPL uređaja kod fotoepilacije. Jedno od najranijih istraživanja objavio je Gold 1991. godine. Istraživanje je provedeno na 31 pacijentu. Tretmani fotoepilacije IPL uređajem su obavljani u period od tri mjeseca. Ukupno 24 pacijenta su jednu godinu nakon tretmana ponovo pregledana zbog procjene dugoročne učinkovitosti. Uočeno je dugoročno uklanjanje 75 % dlaka na tretiranim područjima.

U istraživanju koje je proveo Cameron, usporedio je diodni laser (Lightsheer EC, Lumenis, Inc., Santa Clara, CA; 20 – 45 J/cm^2), trajanje impulsa 30 ms) sa IPL uređajem (Luminette, Lynton Lasers, Cheshire, UK; 625 – 1,100 nm, 32 J/cm^2, niz impulsa: 8x4 ms). Napravljena su tri tretmana u razmacima od šest tjedana, i laserski i IPL tretman su znatno smanjili broj dlaka.

Bjerring i Christiansen su usporedili učinkovitost IPL uređaja (Ellipse Relax Light 1000, Danish Dermatologic Development, Hoersholm, Denmark; 600 – 950 nm; otvor veličine 10 mm x48 mm ; 18,5 J/cm^2) i ruby lasera (Epitouch, ESC Sharplan, Tel Aviv, Israel; 694 nm, veličina otvora 5 mm, trajanje impulsa 0,9 ms). Nakon tri tretmana zabilježili su prosječno smanjenje broje dlaka od 49,3 % (IPL) u odnosu na 21,3 % (ruby laser) i zaključili da je IPL tretman 3,9 puta učinkovitiji od tretmana ruby laserom [7].

4.6. Sigurnost

Iako su IPL i laserski uređaji relativno sigurni treba uzeti u obzir da ipak predstavljaju potencijalan rizik za liječnike i pacijente [16].

U Europi su medicinski laseri regulirani strogim sigurnosnim normama. Europska norma EN 60825-1: Sigurnost laserskih proizvoda. Norma je namijenjena zaštiti pojedinaca od laserskog

zračenja sa valnim duljinama u rasponu od 180 nm do 1 mm. Ova norma uvodi klasifikaciju lasera ovisno o njihovom stupnju opasnosti.

Svjetlosni izvori koji nisu laseri, a koji su namijenjeni za uporabu u terapeutske, dijagnostičke, promatračke i kozmetičke svrhe (uključujući IPL uređaje) moraju udovoljavati sigurnosnim preporukama i zahtjevima navedenim u normi EN 60601-2-57: Medicinska električna oprema - Dio 2-57: Posebni zahtjevi za temeljnu sigurnost i bitne značajke opreme sa svjetlosnim izvorima koji nisu laseri, a koja je namijenjena za uporabu u terapeutske, dijagnostičke, promatračke i kozmetičke svrhe [17].

4.6.1. Prostor i oprema

Tretmani se trebaju obavljati u za to posebno dizajniranoj prostoriji, koja poštuje pravila o zaštiti od optičkog zračenja. Ulaz treba biti označen znakom koji upozorava na svjetlosti visokog intenziteta (Slika 4.6.). Broj nazočnih osoba u prostoriji treba biti ograničen na osobe koje su povezane sa tretmanom. IPL uređaj se ne bih trebao koristiti u prisustvu zapaljivih tvari. Prostorije u kojima se provode tretmani sa IPL uređajima moraju biti posebno označene s vidljivim upozorenjem o zabrani ulaska tijekom tretmana.



Slika 4.6. Znakovi upozorenja od optičkog zračenja, izvor [18]

4.6.2. Potencijalna opasnost od prijenosa infekcija

Opasnost od prijenosa infekcija također predstavlja rizik. Kako bih se ovaj rizik smanjio, uz zaštitne rukavice potrebno je i čišćenje aplikatora klorheksidinskom otopinom između tretmana. Zaštitna oprema osim rukavica te raznih znakova za upozorenje, uključuje i zaštitu očiju.

4.6.3. Zaštita očiju

S obzirom na to da je pri radu s IPL uređajima vodeći rizik od oštećenja očiju, obvezno je nošenje zaštitnih naočala kako za pacijenta tako i za medicinsko osoblje. Za zaštitu očiju postoje posebne zaštitne naočale. Naočale dizajnirane za sprječavanje akutnog ili kroničnog oštećenja očiju od izvora optičkog zračenja moraju biti u stanju apsorbirati ili reflektirati većinu energije izračene na laserskim valnim duljinama, odnosno potencijalno štetnim dijelovima nekoherentnog spektra zračenja a da pritom znatnije ne narušavaju propusnost neopasnog dijela vidljivog spektra, percepciju kontrasta i sposobnost razlikovanja boja gdje je to potrebno sukladno predvidivim uvjetima uporabe.

Ukoliko se u istom prostoru koristi više različitih IPL uređaja ili lasera, važno je obratiti pozornost da ne bi došlo do zamjene zaštitnih naočala, jer je većina njih vezana uz određenu valnu duljinu, i trebaju biti korištene uz odgovarajući uređaj. Zaštitne naočale trebaju biti dostupne za pacijenta, liječnika, asistente i sve nazočne u prostoriji (Slika 4.7.). Zbog mogućnost refleksije svjetlosti bi se trebalo izbjegavati nošenje nakita, satova kao i zaštita za oči i instrumenti izrađeni od sjajnih metala. Slučajno izlaganje svjetlosti, koje najčešće nastaje zbog refleksije svjetlost od instrumenta ili nekog drugog metalnog predmeta, može izazvati bolnu opeklinu. Stoga je preporuka da svi instrumenti koji se rabe pri tretmanima sa IPL uređajima budu tamne boje.



Slika 4.7. Zaštitne naočale, izvor [18]

Zaštitne naočale zahtijevaju brigu i čišćenje. Veoma važno je da se naočale sa oštećenim ili ogrebanim lećama, te naočale sa filterima kod kojih je došlo do promjene boje ne koriste.

Neke od preporuka koje proizvođači zaštitnih naočala navode su: da se naočale ne smiju trajno izlagati sunčevoj svjetlost ili UV lampama, trebaju se zaštiti od ogrebotina i mehaničkog opterećenja, izbjegavati kontakt sa kemikalijama, kiselinama, alkalima i otrovnim plinovima, te se ne smiju odlagati na izvore topline ili opremu koja se može zagrijati, naočale treba čuvati u suhim i čvrstim kutijama.

4.6.4. Pacijent

Kod IPL uređaja, slično kao i kod lasera osnovno načelo je apsorpcija fotona od strane endogenih i egzogenih kromofora unutar kože, te prijenos energije do tih kromofora. Taj prijenos generira toplinu koja zatim uništava ciljanu strukturu. Na osnovu fototipa kože i indikacije koja se tretira, bira se odgovarajući filter a time i emitirana valna duljina.

Procjena kože je neophodna za bilo koju fototerapiju. Utvrđivanje fototipa kože vrši se na osnovu ankete koju ispitanici sami popunjavaju. Dodjeljuju se bodovi na osnovu genetike, reakcije na izlaganje sunčevoj svjetlosti i tamnjenja [19]. Krajnji rezultat je jedan od šest tipova kože prema Fitzpatrickovoj klasifikaciji tipova kože (Slika 4.8.). Ovaj sustav klasifikacije koristi se još od 1975. godine i pokazao se kao dijagnostičko i terapeutsko pomagalo za sve dermatološke probleme. Usvojen je od strane FDA (Food and Drug Administration) i za procjenu zaštitnog faktora preparata za zaštitu od sunca.



Slika 4.8. Fitzpatrickova klasifikacija fototipova kože, izvor [20]

Koža mora biti čista i suha neposredno prije tretmana. Pri tome se ne smije koristi alkohol ili aceton. Prije tretmana poželjno je napraviti uzorak, kako bi se odredile najprikladnije i najefikasnije postavke za određenu indikaciju i tip kože. Područje koje se tretira mora biti obrijano i bez kozmetike. Potrebno je nanošenje kontaktnog gela. Kod uklanjanja dlaka, područje hipertrihoze mora biti obilježeno. Zbog širokog područja primjene i velikog broja mogućih kombinacija valne duljine, trajanja impulsa, frekvencije i gustoće energije, rad sa IPL uređajima zahtjeva puno iskustva [21].

Uklanjanje tetovaža zahtjeva kratke impulse i svjetlost velikog intenziteta. Samo „Q-switched“ laserski sustavi ispunjavaju taj zahtjev. “Q-switched” laserski sustavi proizvode impulse iznimno kratkog trajanja (mjerljivog u nanosekundama). IPL uređaji nisu prikladni za uklanjanje tetovaža, jer „*Q-switching*“ nije moguć kod nekoherentnih izvora svjetlosti. Trajanje impulsa kod IPL uređaja se mjeri u milisekundama, što rezultira produljenim zagrijavanjem pigmentnih čestica a potom i zagrijavanju okolnog tkiva. Ovu činjenicu treba uzeti u obzir ukoliko se IPL uređaji koriste kod fotoepilacije tetovirane kože.

Dodatne metode za smanjenje opsega nuspojava uključuju izbjeljivanje kože i izbjegavanje izloženosti suncu prije tretmana. Uređaji za hlađenje pomažu u zaštiti epiderme. Ne preporuča se tretiranje područja u blizini očiju, ukoliko oči nisu zaštićene adekvatnim zaštitnim naočalama.

Novija istraživanja osvrnula su se na sigurnost korištenja IPL uređaja za fotoepilaciju. Feng je istražio kratkoročnu učinkovitost i nuspojave fotoepilacije sa IPL uređajem (Lumenis One, Lumenis, Inc., Santa Clara, CA; 550 – 1,200 nm) kod pacijenata sa crnom kosom i fototipom kože od III do V. Provedena su četiri tretmana u intervalima od četiri do šest tjedana, sa gustoćom energije od 14 do 22 J/cm^2. Zabilježeno je smanjenje dlaka od 49,9 % nakon prvog, 58,6 % nakon drugog, 79,3 % nakon trećeg te 83,8 % nakon četvrtog tretmana. Nisu zabilježene značajne komplikacije ili nuspojave [22]. Pri ispravno odabranim indikacijama, dobroj pripremi pacijenta i stručnom korištenju, IPL tehnologija je alternativa u odnosu na laserske tretmane i ima neospornu ulogu u dermatologiji i estetskoj medicini [21].

4.7. Nuspojave

Kao i kod drugih medicinskih tehnologija, i kod tretmana sa IPL uređajima se mogu pojaviti nuspojave i komplikacije. Komplikacije izazvane tretmanom sa IPL uređajem se mogu

podijeliti u dvije grupe: komplikacije koje su nastale kao rezultat nepravilnog rukovanja uređajem, te komplikacije koje ovise o pacijentu.

Neadekvatna obuka rukovatelja i nedovoljno iskustvo mogu dovesti do neželjenih rezultata. Neke komplikacije se mogu izbjeći poznavanjem principa terapije, strategije tretmana i iskustvom. Nerijetko, osobe sa minimalnom obukom i bez iskustva rukuju IPL uređajima.

Druga vrsta komplikacija povezana je sa reaktivnošću kože kod pacijenta. Ove komplikacije je teže predvidjeti. Fototip kože, dio tijela, prethodno izlaganje suncu određuju komplikacije izazvane IPL tretmanima. Pacijente sa tamnijim fototipom kože treba tretirati sa većim oprezom. Još jedna važna mjera je prilagođavanje postavki uređaja u ovisnosti o reakciji na prethodni tretman.

Komplikacije koje su vezane uz pacijenta se mogu podijeliti na veće i na manje komplikacije. Veće komplikacije se uglavnom pojavljuju unutar nekoliko tjedana od tretmana. U veće komplikacije spadaju trajne pigmentne promjene, paradoksalna stimulacija rasta dlaka, depigmentacija kose (leukotrichia), iritis, opekline te ožiljci. Opekline se pojavljuju ukoliko je korišten neodgovarajući filter, neodgovarajuće trajanje impulsa ili neodgovarajuće hlađenje. Drugi uzroci mogu biti loš odabir pacijenta, pacijenti sa preplanulom kožom, nedavno korištenje proizvoda za samotamnjenje ili neodstranjena kozmetika. Paradoksalna stimulacija rasta dlaka nakon IPL tretmana na licu je zabilježena kod približno 5 % žena mediteranskog i bliskoistočnog podrijetla [12].

U manje komplikacije spadaju eritema i purpura koje traju dulje od tri dana, plikovi, privremene pigmentne promjene i privremena depigmentacija kose. Većina manjih komplikacija pojavi se unutar nekoliko minuta nakon tretmana. U današnje vrijeme najčešća nuspojava nakon IPL tretmana je bol. Većina pacijenata ju može podnijeti, no nekad je potrebna uporaba analgetske kreme za lokalnu primjenu ili smanjenje gustoće energije.

Pacijenti sa tamnijim fototipovima kože su zbog većeg udjela melanina u epidermi, podložniji nuspojavama kao što su depigmentacija i ožiljci. Korištenjem većih valnih duljina, dužeg trajanja impulsa i efikasnijih sustava za hlađenje može ove komplikacije kod pacijenata sa tamnijim tipovima kože svesti na minimum. No većina potencijalnih opasnosti se može izbjeći ukoliko se IPL uređaj koristi oprezno. Provedena su razna istraživanja koja se odnose na nuspojave nakon tretmana IPL uređajima.

Radmanesh je proveo istraživanje na 1000 pacijentica sa hirzutizmom. Sa IPL uređajem (Lumina, Lynton Lasers, London, UK), obavljeno je osam ili više tretmana fotoepilacije u

razmacima od četiri do šest tjedana (korištena gustoća energije : 16 – 30 J/cm^2,ovisno o fototipu kože). Najčešće zabilježena nuspojave su opekline, zatim postupalna hiperpigmentacija, depigmentacija kose, folikulitis te nastajanje ožiljaka. Paradoksalna hipertrihoza pojavila se kod 10 % pacijentica. Stoga je Radmanesh ponovo proveo istraživanje fokusirano na paradoksalni rast dlaka nakon fotoepilacije IPL uređajem. Istraživanje je proveo na pacijenticama sa hirzutizmom koristeći IPL uređaj (Vasculight-SR, Lumenis, Inc., Santa Clara, CA) sa filterima 695 nm, 755 nm i 645 nm. Utvrđen je paradoksalni rast dlaka kod 5,1 % pacijentica.

4.8. Uređaji za kućnu uporabu

Fotoepilacija je jedan od kozmetičkih, nekirurških zahvata koji se u Sjedinjenim Američkim Državama i Europi najbrže razvija. Postoji mnoštvo svjetlosnih izvora uključujući lasere: alexandrite laser (755 nm), diodni laser (800 nm, 810 nm), Nd:YAG laser (1064 nm) i IPL uređaje (590 – 1200 nm) koji se u dermatološkim klinikama koriste za razne estetske zahvate. Kako bi se osigurala maksimalna učinkovitost i minimalne posljedice, odabir pacijenata i odgovarajuće gustoće energije u tim klinikama obavlja stručno osoblje [12].

U posljednjih nekoliko godina su uređaji koji su dizajnirani za kućnu uporabu stekli veliku popularnost. Uzrok tome su niži troškovi od profesionalne usluge, te udobnosti depilacije u vlastitom domu [23]. Tržište za uređaje za kućnu uporabu se širi velikom brzinom. Postoje mnogobrojni proizvodi koji su korisnicima dostupni u trgovinama ili putem interneta [24].

Trenutno je FDA (Food and Drug administration) IPL uređaje za kućnu uporabu kategorizirao kao kozmetički proizvod. U dermatološkoj ordinaciji, stručna osoba može pregledati pacijente i poduzeti potrebne mjere kako bi se povećala učinkovitost i smanjio rizik od nuspojava vezane za svjetlosnu terapiju. To nije slučaj kod uređaja za kućnu uporabu, jer uređaje u tom slučaju koriste pacijenti osobno. Iz tog razloga je veoma važno da takvi uređaji koji su namijenjeni za uporabu kod kuće moraju biti sigurni i učinkoviti, uređaj mora biti osmišljen kako bi nuspojave bile minimalne. Upravo zbog toga IPL uređaji za kućnu uporabu u pravilu imaju manju gustoću energije u odnosu na profesionalne uređaje. (<15 J/cm^2). Učinkovito uklanjanje dlaka povezano je i sa gustoćom energije, očekivano je da manje gustoće energije izazivaju manje nuspojava. Prosječna učinkovitost IPL uređaja za kućnu uporabu kod uklanjanja dlaka je između 40 % i 60 % i koje traje otprilike tri mjeseca. Profesionalni rezultat obično traju dulje. Međutim uređaji za

kućnu uporabu su privlačni jer su jeftiniji u usporedbi sa profesionalnim tretmanom i lako ih je koristiti. Relativno su bezbolni, ali i manje učinkovit rezultat.

Silk'n SensEpil (Home Skinovations, Inc., Richmond Hill, Canada) bio je prvi IPL uređaj za kućnu uporabu kojeg je FDA odobrila za fotoepilaciju, međutim uređaj nije bio predviđen za tretmane lica. Specifikacije koje navodi proizvođač su bile, valna duljina od 475 do 1200 nm, te gustoća energije do 5 J/cm^2. Međutim mjerenja koja su proveli Town i Ash su pokazala gustoću energije samo od 2,8 do 4,3 J/cm^2. Ranija istraživanja su pokazala da je za trajno uklanjanje dlaka potrebna gustoća energije od minimalno 5 J/cm^2. Gustoća energije koja je navedena od proizvođača predstavlja veliku razliku u odnosu na izmjerene vrijednosti. Glede sigurnosti, Silk'n uređaji imaju ugrađene kontaktne senzore, a noviji modeli imaju i senzore osjetljive na fototip kože koji sprječavaju uporabu uređaja na tamnijim tipovima kože [24].

Brojna istraživanja koja su provedena koristeći uređaj Silk'n, pokazala su umjereno smanjenje rasta dlaka na kontrolama nakon tri i šest mjeseci poslije tretmana. Mulholland navodi da je na 34 pacijenta izvršio po tri tretmana, te da je prosječno zabilježeno smanjenje rasta dlaka od 64 % tri mjeseca nakon zadnjeg tretmana [25].

Istraživanje koje je Rohrer objavio pokazalo je prosječno smanjenje rasta dlaka od 32,3 % 12 tjedana nakon dva tretmana IPL uređajem Spa Touch (Radiancy Inc., Orangeburg, NY).

Sa uređajem Silk'n (Home Skinovations, Yokneam, Israel) dobiveni su slični rezultati, nakon šest mjeseci smanjenje rasta dlaka poslije tri tretmana bilo je između 37,8 % i 53,6 % [24].

SpaTouch (Spatouch;RadiancyCorp.,Orangburg, NY), emitira valne duljine od 400 do 1200 nm, sa maksimalnom gustoćom energije od 10 J/cm^2. Postoje dva modela ovog uređaja SpaTouch I i II. SpaTouch I se više ne proizvodi , no postoji nastavak kojim se originalni aplikator može nadograditi. Uređaj ima kontaktni prekidač, kako bi se osiguralo da se uređaj neće aktivirati ukoliko nije u potpunom kontaktu sa kožom. Istraživanje koje je Rohrer proveo na 73 pacijenta sa fototipovima kože od I do IV, gdje su pacijenti imali u periodu od mjesec dana ukupno dva tretmana, pokazalo je smanjenje rasta dlaka od 33,6 %, 44,3 % i 32,3 %. Nuspojave koje su se pojavljivale uključivale su eritem, kraste i plikove, koji su bili privremeni [24].

Town i Ash su usporedili IPL uređaje za kućnu uporabu, iPulse Personal, Silk'n/SensEpil, sa IEC (International Electrotechnical Commission) standardom TR 60825–9. Izmjereno optičko zračenje se znatno razlikovalo među uređajima. Pokazalo se da u slučaju otkazivanja sigurnosnog mehanizma, uređaj Silk'nSensEpil na dvjema najjačim postavkama predstavlja opasanost za nezaštićeno oko [4].

Uređaj iPulse Personal (CyDen, Ltd., West Glamorgan, United Kingdom) bio je originalni IPL uređaj za kućnu uporabu kojeg je proizvodio CyDen. Međutim, zamijenjen je novim modelom iPulse SmoothSkin. Novi model se od starog razlikuje samo po dugotrajnosti, čiji je kapacitet 100,000 bljeskova i po mogućnosti tretiranja fototipa kože V, senzor za prepoznavanje tipa kože također je ugrađen. Proizvođač u specifikacijama navodi valne duljine od 530 nm do 1100 nm te gustoću energije od 7 do 10 J/cm^2. Iste specifikacije su potvrdili Emerson i Town koji su u istraživanju kojeg su proveli na 29 pacijenata sa fototipovima kože od I do III koristili uređaj iPulse personal, te zabilježili smanjenje rasta dlaka od 47 %. Pokazalo je se da je uređaj u skladu sa IEC i ICNIRP standardima te je procijenjen kao siguran, čak kod izlaganja nezaštićenog oka [24].

Sigurnost IPL uređaja za kućnu uporabu je od velike važnosti za korisnika ali i za sigurnosne agencije. Međutim ne postoji međunarodni standard za sigurnost IPL uređaja za kućnu uporabu. Proizvođači takvih uređaja bi trebali izvoditi testiranja u skladu sa IEC TR 60825-9 standardom kako bi odredili kolika je opasnost od toplinskih ozljeda u slučaju otkazivanja sigurnosnog kontaktnog senzora, ili prekidača namijenjenog za sprječavanje slučajnog isijavanja optičkog zračenja.

Sigurnost i prevencija ozljeda očiju je najveća briga. Iako neki proizvođači uz uređaj prodaju i zaštitne naočale, to ne jamči da će korisnik te zaštitne naočale koristiti tijekom tretmana. Upravo zbog sigurnosnih razloga većina sustava ima ugrađeno nekoliko fizičkih sigurnosnih postavki koje sprječavaju slučajno izlaganje ljudskog oka. No unatoč svim mjerama opreza, i dalje postoji mogućnost za najgori scenarij, gdje je nezaštićeno ljudsko oko izloženo optičkom zračenju IPL uređaja za kućnu uporabu [26]. Jedna sigurnosna postavka koji većina IPL uređaja za kućnu uporabu posjeduje je kontaktni senzor, koji sprječava "okidanje" ako nije naslonjen na kožu. Svjetlost je zadržana u uređaju, i zaštitne naočale nisu potrebne, no ako su mjere predostrožnosti prekršene može doći do nepovratnih ozljeda očiju. Stoga je posebna zaštita očiju potrebna za sve osobe koje se nalaze u blizini. Fotoepilacija područja oko očiju bi se trebala izbjegavati. Siva mrena, iritis, distorzija zjenice, uveitis, osjetljivost na svjetlo su samo od nekih nuspojava koje su zabilježene, unatoč korištenju zaštitnih naočala [23].

Osim oštećenja očiju, kod neadekvatne primjene kod osoba sa tamniji fototipom kože ili sa preplanulom kožom ili tretiranje područja sa tetovažama ili madežima može prouzročiti opekline.

Nuspojave su pretežito manje te prolazne. Najčešća reakcija kože uključuje bol, prolaznu eritemu, iako se mogu pojaviti veće komplikacije kao što su hiperpigmentacije, hipopigmentacija, opekline, plikovi i trajni ožiljci. Druge nuspojave se pojavljuju rijetko, a uključuju izazivanje akni, osip, preuranjeno sjedenje kose, urastanje dlaka, upalne i pigmentne promjene. Paradoksalni rast dlaka je rijetka posljedica, zabilježeno je tek kod 0,6 % do 10 % pacijenata koji su tretirani IPL uređajem za kućnu uporabu. Ova nuspojava nije uobičajena za ove uređaje, većinom se javlja kod tretmana sa alexandrite laserom. Točan mehanizam paradoksalnog rasta dlaka je relativno nepoznat, no pretpostavlja se da laser ili IPL uređaj stimulira rast dlake sinkronizirajući neaktivne folikule dlake u anageni rast dlake. Opća gustoća dlaka je veća nego prije. No ukoliko se tretman fotoepilacije nastavi na kraju će ipak smanjiti rast dlaka.

Moreno-Arias je 2002. godine prvi prijavio pojavu paradoksalnog rasta dlaka. Paradoksalni rast dlaka pojavio se kod 5 od 49 pacijentica, kojima je lice tretirano IPL uređajem za kućnu uporabu za tretmane fotoepilacije i fotopomlađivanja. Svi pacijenti bili su fototip kože III, i tretirani su šest do osam puta. Paradoksalni rast dlaka pojavio je se u periodu između trećeg tretmana i šest mjeseci nakon završetka tretmana. Korišteni su filteri od 695 nm i 755 nm [27].

Za optimalno smanjenje rasta dlaka, korisnik treba izabrati uređaj koji predaje dovoljno energije unutar svakog impulsa ili niza impulsa, koje je unutar termorelaksacijskog vremena prosječne folikule dlake (20 ms – 60 ms). Mogućnost podešavanja gustoće energije omogućuje korisnicima različitih fototipova kože kontroliran i fleksibilan tretman [4]. Sa tehničkog stajališta, maksimalna energija impulsa dostupna za IPL uređaje za kućnu uporabu je u rasponu od 7 do 30 J u trajanju impulsa od 2,5 ms do 60 ms u spektru od 450 nm do1200 nm i veličine otiska od 2 do 6 cm^2 [28].

Sigurna i učinkovita uporaba lasera i IPL uređaja za kućnu uporabu ovisi o nekoliko ključnih elemenata. Krajnji korisnik mora biti dobro upoznat sa mogućnostima koje nudi IPL za kućnu uporabu, kako bi mogao obavljati tretmane fotoepilacije i fotopomlađivanja kod kuće. Kako bi se povećala sigurnost pri tretmanima sa IPL uređaj za kućnu uporabu, proizvođači bi u uređaje trebali ugraditi kontaktni prekidač ili senzor koji sprječava aktivaciju ukoliko uređaj nije u punom kontaktu sa kožom. Također, za povećanje sigurnost proizvođači trebaju upozoriti kako se uređaj ne smije koristiti za tretiranje obrva ili lica kako bi se izbjeglo direktno izlaganje oka optičkom zračenju. Zaštitne naočale se trebaju koristiti rutinski.

Alster i Tanzi su ocijenili sigurnost i učinkovitost IPL uređaja Silk'n (Home Skinovations, Kfar Saba, Israel; valna duljina od 475 do 1200 nm, gustoća energije: $3 – 5\ J/cm^2$, trajanje impulsa:

<1 ms, veličina otiska: 20 mm x 30 mm). Proveli su tretman uklanjanja dlaka na 20 pacijenata sa fototipom kože I do IV, napravljena su tri tretmana u razmacima od dva tjedna. Autori navode da su zbog sigurnosnih mehanizama uređaja, zaštita za oči i hlađenje nepotrebni [7]. Broj dlaka smanjio se za od 37,8 % do 53,6 %. Nije zabilježeno smanjenje rasta dlaka na području uz tretirane dlake. Osim eritema se nisu javljale nuspojave, reakcije korisnika na tretman i rezultate su bili iznimno pozitivni.

Gold je proučavao 22 žene na kojima je obavljeno šest tretmana u razmacima od dva tjedna. Ukupno smanjenje rasta dlaka bilo je 78 % nakon jednog mjeseca a 73 % nakon tri mjeseca. Najnovije istraživanje, provedeno je na deset odraslih osoba sa fototipovima kože od tipa I do tipa IV, pacijenti su tretirani četiri puta u razmacima od dva tjedna. Smanjenje rasta dlaka koje je zabilježeno iznosilo je 36 % nakon četiri tjedna i 10 % nakon šest tjedana. Učinkovitost IPL uređaja za kućnu uporabu je dosta smanjena u odnosu na tretmane sa profesionalnim uređajem [23]

5. ZAKLJUČAK

IPL uređaji su izvori optičkog zračenja visokog intenziteta, koji emitiraju polikromatsko svjetlo u širokom spektru valnih duljina. Svjetlost u doticaju sa kožom može biti apsorbirana, reflektirana, raspršena ili transmitirana. Apsorpcija je ključna za postizanje željenog učinka na kožu. Apsorpcijom u kromoforama, svjetlosna energija pretvara se u toplinsku energiju koja zagrijava ciljane kromofore, što vodi do uništenja ciljanog tkiva putem termokoagulacije.

IPL terapija se temelji na selektivnoj fototermolizi. Kako bi se postigla selektivna fototermoliza potrebna je apsorpcija određene valne duljine od strane ciljane strukture, vrijeme izlaganja treba biti manje ili jednako vremenu koje je potrebno za hlađenje ciljane strukture i potrebna je dovoljna gustoća energije kako bi se unutar ciljane strukture postigla temperatura destrukcije. Različite valne duljine imaju različite koeficijente apsorpcije, ovisno o tkivu na koje djeluje fotonski snop.

Većina trenutno dostupnih IPL uređaja može ograničiti kraće valne duljine sa filterima. Filteri koji su dostupni su 515, 550, 560, 570, 590, 615, 645, 690 i 755 nm koji blokiraju zračenje kraćih valnih duljina. Osim valne duljine, na većini uređaja se može prilagoditi i dosta drugih parametara kao što su trajanje impulsa, gustoća energija i vrijeme između impulsa.

Zbog širokog spektra potencijalnih kombinacija valnih duljina, trajanja impulsa, gustoće energije, rad sa IPL uređajima omogućuje tretiranje akni, vaskularnih lezija, pigmentnih lezija, tretmane fotopomlađivanja te fotoepilaciju. Optimalna gustoća energije će povećati temperaturu ciljane kromofore na razinu koja može prouzročiti oštećenje na njima a da pri tome ne ošteti okolno tkivo. Suvišna gustoća energije može prouzročiti nuspojave dok premale gustoće energije ne mogu postići željeni rezultat. Istraživanja su pokazala da je za fotoepilaciju optimalni omjer gustoće energije i trajanja impulsa za fototipove od I do IV je gustoća energije od 12 J/cm^2i trajanje impulsa od 20 ms sa filterom od 525 nm, dok je za a fototip V prihvatljiva kombinacija gustoće energije od 12 J/cm^2 i trajanje impulsa od 60 ms. Sa ovim parametrima se postiže željeni učinak bez pojave komplikacija.

LITERATURA

[1] https://www.intechopen.com/books/photomedicine-advances-in-clinical-practice/intense-pulsed-light-therapy [pristupljeno 07.06.2017]

[2] Barbara Soltes: „Intense Pulsed Light Therapy“, Obstet Gynecol Clin N Am 37 (2010) 489–499, doi:10.1016/j.ogc.2010.09.005

[3] R. Rox Anderson and John A. Parrish: „Selective Photothermolysis: Precise Microsurgery by Selective Absorption of Pulsed Radiation“ Science, New Series, Vol. 220, No. 4596 (Apr. 29, 1983), pp. 524-527

[4] Godfrey Town, Caerwyn Ash: "Are home-use intense pulsed light (IPL) devices safe?", Lasers Med Sci (2010) 25:773–780, DOI 10.1007/s10103-010-0809-6

[5] http://www.lumenis.com/Solutions/Aesthetic/Products/M22/Universal-IPL

[pristupljeno 26.04.2017]

[6] Godfrey Town, Caerwyn Ash, Ewan Eadie, Harry Moseley: „Measuring key parameters of intense pulsed light (IPL) devices“, Journal of Cosmetic and Laser Therap. 2007, DOI: 10.1080/14764170701435297

[7] Philipp Babilas, Stephan Schreml, Rolf-Markus Szeimies, Michael Landthaler: „Intense Pulsed Light (IPL): A Review“, Lasers in Surgery and Medicine 42:93–104 (2010), DOI 10.1002/lsm.20877

[8] Christian Raulin, Syrus Karsai: „Lasertherapie der Haut“, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013, DOI 10.1007/978-3-642-29910-0

[9] David J. Goldberg: “Current Trends in Intense Pulsed Light ”, The Journal of Clinical and Aesthetic Dermatology June 2012

[10] Dan Li, Shi-Bin Lin, Biao Cheng: „Intense Pulsed Light: From the Past to the Future“, Photomedicine and Laser Surgery Volume 34, Number 10, 2016, DOI: 10.1089/pho.2016.4139

[11] Christian Raulin, Syrus Karsai: “ Laser and IPL Technology in Dermatology and Aesthetic Medicine “ , Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011, DOI 10.1007/978-3-642-03438-

[12] M. Haedersdal, F. Beerwerth, J.F. Nash: „Laser and intense pulsed light hair removal technologies: from professional to home use“, British Journal of Dermatology 2011, DOI 10.1111/j.1365-2133.2011.10736.x

[13] Bernd Kardorff: „Selbstzahlerleistungen in der Dermatologie und der ästhetischen Medizin“, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015, DOI 10.1007/978-3-662-43427-7

[14] http://blasononline.blogspot.ba/2014/08/what-is-intense-pulsed-light-or-ipl.html [pristupljeno 29.05.2017]

[15] http://www.keratin.com/aa/aa006.shtml [pristupljeno 27.05.2017]

[16] Lucian Fodor, Yehuda Ullmann, Monica Elman: “Aesthetic Applications of Intense Pulsed Light ”, Springer-Verlag London Limited 2011, DOI: 10.1007/978-1-84996-456-2

[17] Pravilnik o zaštiti od optičkog zračenja, »Narodne novine«, broj 91/10

[18] http://www.lasermet.com/ipl-safety.php [pristupljeno 06.06.2017]

[19] Susanne Astner, R. Rox Anderson: „Skin Phototypes 2003“, The Society for Investigative Dermatology Inc, DOI: 10.1046/j.1523-1747.2003.22251.x

[20] http://suttonryan.com/whats-your-type [pristupljeno 01.06.2017]

[21] Christian Raulin, Barbel Greve, Hortensia Grema: „IPL Technology: A Review“, Lasers in Surgery and Medicine 32:78–87 2003, DOI 10.1002/lsm.10145

[22] Philipp Babilas, Stephan Schreml, Rolf-Markus Szeimies, Michael Landthaler: „Intense Pulsed Light (IPL): A Review“, Lasers in Surgery and Medicine 42:93–104 (2010), DOI 10.1002/lsm.20877

[23] Stephanie D. Gan, Emmy M. Graber: „Laser Hair Removal: A Review“, Dermatol Surg 2013;39:823–838, DOI: 10.1111/dsu.12116

[24] Meghan T. Hession, Alina Markova, Emmy M. Graber: „A Review of Hand-Held, Home Use Cosmetic Laser and Light Devices“, Dermatol Surg 2015;41:307–320, DOI: 10.1097/DSS.0000000000000283

[25] R. Stephen Mulholland: „Silk’n—a novel device using home pulsed light for hair removal at home“, Journal of Cosmetic and Laser Therapy 2009, 11: 106–109

[26] Ewan Eadie, Paul Miller, Teresa Goodman, Harry Moseley: "Assessment of the optical radiation hazard from a home-use intense pulsed light source", Lasers in Surgery and Medicine 41:534–539 (2009)

[27] Godfrey Town, Peter Bjerring, „Is paradoxical hair growth caused by low-level radiant exposure by home-use laser and intense pulsed light devices?“, Journal of Cosmetic and Laser Therapy, DOI: 10.3109/14764172.2016.1157373

[28] G. Town, C. Ash, C. Dierickx, K. Fritz, P. Bjerring, M. Haedersdal: „Guidelines on the safety of light-based home-use hair removal devices from the European Society for Laser Dermatology“, Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology, DOI: 10.1111/j.1468-3083.2011.04406.x

[29] http://www.saveonkit.com/esc-photoderm-vlplhr-vasculight-dermatology-skin-ipl-laser-treatment-sa2101001-18361-p.asp [pristupljeno 01.04.2017]

[30] http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69912010000500007&script=sci_arttext&tlng=en [pristupljeno 26.04.2017]

[31] http://premierlaserpartners.com/quantum-ipl-sr [pristupljeno 26.05.2017]

[32] http://oubeauty.com/medical-cosmetic/photo-facials-ipl [pristupljeno 26.05.2017]

SAŽETAK

U ovom radu opisani su svi pojmovi vezani uz IPL tehnologiju i njezinu primjenu. Navedeni su i pojedinačno opisani najvažniji parametri, koji su ključni za rad i učinkovitost IPL uređaja. Također je objašnjen princip selektivne fototermolize, na kojem se temelji rad IPL uređaja. Prikazan je povijesni razvoj IPL tehnologije, od prvih uređaja do danas, te su istaknuta svojstva pojedinačnih generacija uređaja. Detaljno su opisana moguća područja primjene IPL uređaja, te ograničenja i komplikacije koje su vezane uz njihovu uporabu. Objašnjen je utjecaj svjetla i energije na pojedine strukture, i opisana međusobna ovisnost ključnih parametara u postizanju željenog učinka. Istaknute su mjere sigurnosti i navedena potrebna zaštitna oprema u radu sa IPL uređajima, kako bi se smanjila opasnost od nastanka komplikacija.

Ključne riječi: IPL, energija, svjetlost, fotoepilacija

ABSTRACT

This paper describes all the concepts related to IPL technology and its application. The most important parameters, which are crucial for the performance and effectiveness of IPLs, are listed and described individually. The principle of selective photothermolysis, which the work of the IPL device is based on, is also explained. The historical development of IPL technology, from the first devices to the present, is illustrated and features of individual generations are highlighted. The possible areas of use of IPL devices, as well as the limitations and complications related to their use are described in detail. The influence of light and energy on individual structures is explained, and the interdependence of key parameters in order to achieve the desired effect is described. Safety precautions and required protective equipment for IPL devices have been highlighted in order to reduce the risk of complications.

Keywords: IPL, energy, light, photoepilation

ŽIVOTOPIS

Ana Pavičić, rođena 1987. godine u Tuzli, Bosna i Hercegovina. Osnovnu školi završava 2001. godine. Iste godine upisuje srednji školu Katolički školski centar "Sv. Franjo", Opća gimnazija u Tuzli. Srednju školu završava 2005. godine. Upisuje se na stručni studij Elektrotehničkog fakulteta u Osijeku, smjer informatika.

_____

Ana Pavičić