

LASER PARTNER



Oficiální orgán
Společnosti pro využití
laseru v medicíně CLS JEP



Official paper
of the Czech Society for
the Use of Laser in Medicine



Vydáváno s oficiální odbornou podporou EMLA



Edited under official scientific support of EMLA

www.laserpartner.cz
On-line česká verze: ISSN 1213-1156

www.laserpartner.org
On-line English version: ISSN 1213-3027

Clinixperience - všechny ročníky
2001

26. Srovnávací zkouška Monte Carlo na zjišťování průniku energie u různých epilačních laserů (2.4.2001)

Srovnávací zkouška Monte Carlo na zjišťování průniku energie u různých epilačních laserů

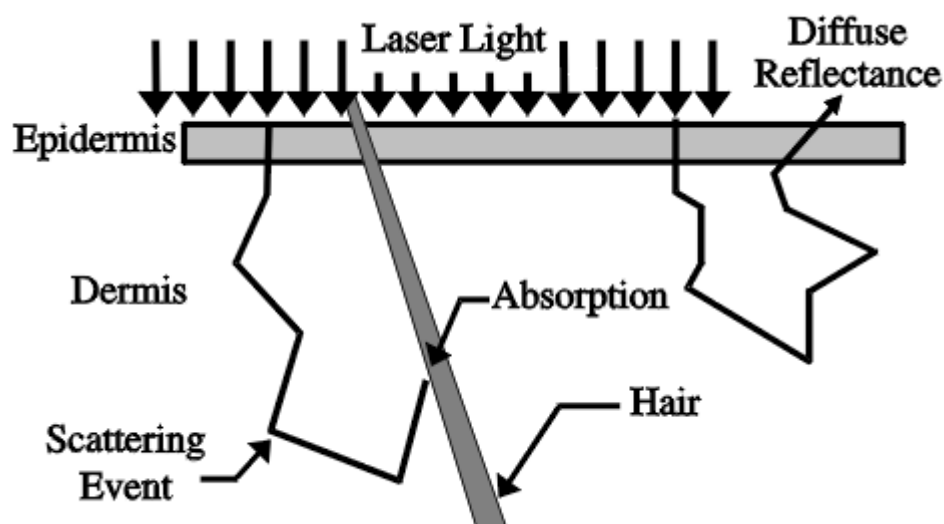
Karl Pope, Candela Corporation, USA

ABSTRAKT

Šíření světla ve tkáni během laserového pulsu je důležité, chceme-li určit, které parametry mají největší vliv na konečný výsledek prováděného výkonu. Existuje mnoho článků a přednášek, které se zabývají tím, jak rozdílné vlnové délky pronikají do různých hloubek a jaký je vliv velikosti ozářené plochy na hloubku průniku. Tato práce se zabývá šířením světla o vlnové délce 755 nm, blízké infračervené, která se používá k epilaci a ke sklerotizaci cév na dolních končetinách. Zároveň předkládáme praktickou aplikaci této informace, která ukazuje, že lze s použitím menší energie dosáhnout stejných výsledků, zvětšíme-li velikost najednou ozářené plochy (spotu).

MODEL MONTE CARLO

Model typu Monte Carlo je počítačová simulace, které se využívá k předpovězení toho, jak se bude světlo šířit ve tkáni. Tento model simuluje miliardy jednotlivých fotonů, které jsou v interakci s optickými a termálními vlastnostmi tkáně, jak ukazuje Obrázek 1. Optické a termální vlastnosti pokožky přesně vystihují epidermis, dermis a vlasový folikul. Podrobné údaje k modelu jsou uvedeny v závěru tohoto sdělení (*).



Obrázek 1: Monte Carlo "náhodný průchod" - simulace šíření světla v kůži. Tento graf ukazuje možné cesty, kterými může procházet foton během svého šíření se pokožkou předtím, než je buď absorbován chlupem anebo než vyjde z kůže ven jako rozptýlený odraz. Pro zjednodušení je zobrazen pouze jeden chlup a dva fotony.

SOFTWARE A VÝCHOZÍ PODMÍNKY

U laserového pulsu 755 nm, aplikovaného na osobu se světlou kůží typu II, byly uskutečněny třírozměrné simulace typu Monte Carlo. Tabulka 1 udává optické vlastnosti, použité v simulovaných podmínkách pro různé vrstvy.

K údajům pro epidermis a dermis, uvedeným v Tabulce 1, jsme dospěli empiricky v našich laboratořích. Hodnoty pro stratum corneum a tuk byly odvozeny z údajů u jiných vlnových délek. V celém předpokládaném sloupci byla sledována střední plocha "tkáň" umístěná pod laserem.

Typ tkáň	Index lomu	m_a (absorpce) [/cm]	m_b (rozptyl) [/cm]	g (anizotropie)	Hloubka [mm]
Vzduch	1,00	0,00	0	0	±
Stratum corneum	1,50	0,30	250	0,900	0,01
Epidermis	1,37	0,40	100	0,873	0,07
Dermis	1,37	0,04	150	0,869	5,00
Tuk	1,37	0,05	4,1	0,800	7,00

Tabulka 1: Optické vlastnosti použité při simulaci typu Monte Carlo. Tyto optické vlastnosti mají představovat světlou kůží typu II dle Fitzpatricka. Hodnoty m_a a m_b představují koeficienty absorpce a rozptylu, g je faktor anizotropie, který určuje úhel rozptylu.

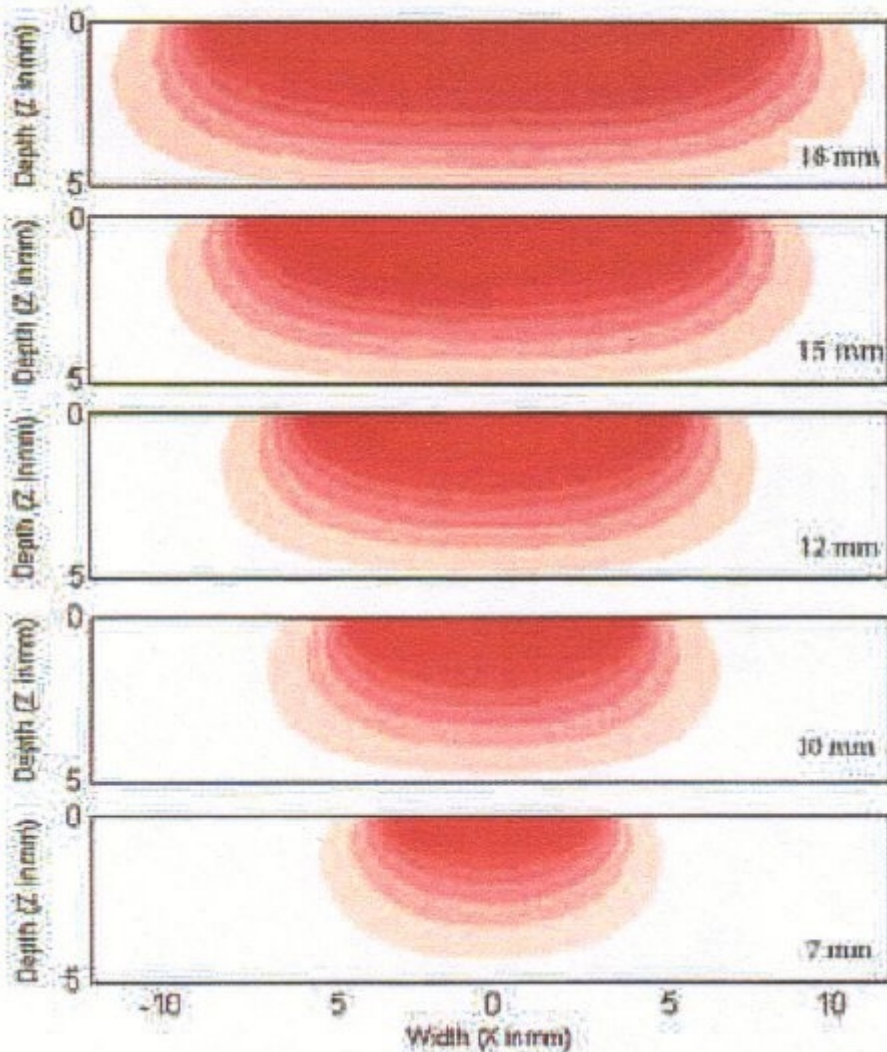
VÝSLEDKY

Graf 1 udává šíření energie v závislosti na hloubce pro pět různých velikostí spotu: 18, 15, 12, 10 a 7 mm. Jednotlivé červené obrysy udávají zvýšení intenzity od 0 do 100% saturace v krocích po 10%. Z důvodu nízkých hodnot rozptylu a absorpce v tukové vrstvě, kde je absorbován pouze malý počet

fotonů, jsou v grafu znázorněny pouze vrstvy epidermis a dermis.

Tabulka 2 ukazuje procentní hodnoty energie dopravené do hloubky tkáně (0,1 - 4,5 mm) se stejnými výchozími hodnotami.

Tyto hodnoty byly normalizovány na spot o velikosti 18 mm a byly odvozeny ze stejných údajů simulace typu Monte Carlo, které byly použity v Grafu 1.



Graf 1: Simulované šíření energie typu Monte Carlo - znázornění hloubky a šířky ve tkáni pro různé velikosti spotu, 18, 15, 12, 10 a 7 mm (shora dolů).

	Velikost spotu laseru				
Hloubka	18 mm	15 mm	12 mm	10 mm	7 mm
0,1 mm	100 %	98 %	95 %	92 %	84 %
0,5 mm	100 %	98 %	94 %	91 %	81 %
1,0 mm	100 %	98 %	93 %	88 %	74 %
1,5 mm	100 %	96 %	91 %	85 %	69 %
2,5 mm	100 %	96 %	88 %	79 %	59 %
3,5 mm	100 %	94 %	83 %	74 %	52 %
4,5 mm	100 %	92 %	78 %	67 %	46 %

Tabulka 2: Porovnání velikosti spotu u různých hloubek ukazuje procento energie dopravené do dané hloubky. Hodnoty byly porovnávány s velikostí spotu 18 mm.

DISKUSE

Jedním z přirozených důsledků používání většího spotu je pokrytí větší plochy. Momentem, který však dosud není plně oceňován, je to, do jaké míry může průměr paprsku ovlivnit hloubku průniku.

To je naznačeno ve dvourozměrné podobě na Grafu 1. Z tohoto grafu není jasně zřejmé, že tkáň pod laserovým paprskem, t.j. ošetřovaný objem tkáně ($p \times (\text{poloměr})^2 \times \text{hloubka}$) narůstá rychleji než plocha ($p \times (\text{poloměr})^2$), protože hloubka průniku rovněž roste.

Zvláštnímu zájmu klinických pracovníků se těší výsledky použití větších velikostí spotu. To ukazuje Tabulka 2, kde jsou uváděny faktory vlivu ve stejné hloubce. Nikdo dosud nestanovil přesný mechanismus nebo plochu pro epilaci, ale předpokládá se, že důležitými cíli jsou vlasové cibulky a jejich aparát. U terminálního vlasu se aparát nachází v hloubce asi 1,5 mm a cibulka mezi 3 - 5 mm. Při posuzování studií, uvádějících, že k odstranění vlasu je třeba jen minimální energie, je velmi důležité znát použitou velikost spotu. Jestliže se ve studii používá spot o velikosti 7 mm a minimální udávaná potřebná energie je 30 J/cm^2 , pak energie pouhých $15 - 20 \text{ J/cm}^2$ (hloubka 1,5 - 4,5 mm) při použití spotu 18 mm může přinést stejné výsledky. Jednou z největších výhod je to, že použitím nižších hodnot energie se minimalizuje nebezpečí epidermálního poškození.

POZNÁMKY

Tabulku 2 lze využít k určení stejných hodnot energie v různých hloubkách u rozdílných velikostí spotu. Jestliže například leží zájmová oblast v hloubce 4,5 mm a chceme srovnat spot 18 mm se spotem o velikosti 10 mm (téměř $9 \times 9 \text{ mm}$), předpokládejme u obou laserů na povrchu energii 20 J/cm^2 . V hloubce 4,5 mm dává spot o velikosti 10 mm pouze 67 % energie, kterou do cílové struktury dopravíme se spotem 18 mm. Abychom do 4,5 mm dodali stejnou energii při použití 10 mm spotu, museli bychom zvýšit energii na 30 J/cm^2 ($20 \text{ J/cm}^2 / 67 \% = 29,9 \text{ J/cm}^2$).

Při srovnání se spotem 18 mm v hloubce 4,5 mm by bylo u velikosti spotu 15 mm potřebné zvýšení pouze o $1,7 \text{ J/cm}^2$ ($20 / 97 \% = 21,7$). Je samozřejmé, že množství energie dopravené do všech hloubek by bylo při použití velikosti spotu 15 mm a 30 J/cm^2 vyšší.

Co je tedy lepší? Vždy záleží na tom, co chcete dělat. Jestliže uvažujeme o epilaci na velké ploše s hlubokým porostem a kůže je velmi světlá - typu I nebo II - pak bychom mohli aplikovat vyšší hodnoty energie s použitím menšího spotu. V případě tmavé kůže může zákrok vyžadovat nižší hodnoty energie, aby bylo minimalizováno nebezpečí epidermálního poškození. Typ kůže I nebo II by mohl tolerovat například 40 J/cm^2 a k dosažení této hodnoty s GentleLase Plus by bylo potřeba použít 12 mm spot. Zatímco spot 12 mm dodává v hloubce 4,5 mm pouze 78 % energie ve srovnání s velikostí spotu 18 mm, u hodnoty 40 J/cm^2 s 12 mm spotem je celková energie dopravená k vlasové cibulce o 50 % větší než 20 J/cm^2 aplikovaných při velikosti spotu 18 mm. Jestliže kůže typu IV a V většiny pacientů nesnese energii 40 J/cm^2 , je lépe použít velikost spotu 18 mm s energií 20 J/cm^2 , aby se do cibulky dostalo maximum energie.

Přinejmenším v této empirické studii by tedy 20 J/cm^2 s velikostí spotu 18 mm mělo do všech hloubek dodat dostatek energie k epilaci.

Konečně Tabulka 3 přináší porovnání velikostí spotu s procentem pokryté oblasti. Je zde vidět, že spot o velikosti 18 mm pokryje 5 x větší plochu než spot 8 mm. Spot $9 \times 9 \text{ mm}$ je 1,6 x větší než spot 8 mm. Když jej však srovnáme se spotem 18 mm, bude u spotu $9 \times 9 \text{ mm}$ trvat ošetření dané oblasti třikrát déle, protože pokrývá jen 32 % této plochy.

Průměr	Plocha	% plochy	% plochy	% plochy	% plochy	% plochy	% plochy
--------	--------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

spotu (mm)	(cm ²)	8 mm	10 mm	9x9 mm	12 mm	15 mm	18 mm
8	0,503	100 %	64 %	62 %	44 %	28 %	20 %
10	0,785	156 %	100 %	97 %	69 %	44 %	31 %
9 x 9	0,810	161 %	103 %	100 %	72 %	46 %	32 %
12	1,131	225 %	144 %	140 %	100 %	64 %	44 %
15	1,767	352 %	225 %	218 %	156 %	100 %	69 %
18	2,545	506 %	342 %	314 %	225 %	144 %	100 %

Tabulka 3: Porovnání velikosti spotu a procenta pokrytí

(*) Tkáň je simulována vytvořením vrstev a struktur, které se skládají ze 7 faktorů: tloušťka, umístění, tvar, index lomu (n), anizotropie (g), koeficient absorpce (m_a) a koeficient rozptylu (m_b). Index lomu říká programu pod jakým úhlem se foton odrazí nebo projde přes jakýkoliv interface do tkáně. Anizotropie udává průměrný úhel, pod nímž se bude foton rozptylovat. Koeficient rozptylu popisuje průměrnou vzdálenost, kterou foton urazí než dojde k dalšímu rozptýlení. Absorpční koeficient stanoví rozsah absorpce, k němuž dojde mezi dvěma rozptýleními.

V počítačové simulaci je pohyb fotonu prováděn prostřednictvím "náhodného průchodu" (viz Obr. 1). Pokaždé, když se foton pohne na další pozici, jsou generována náhodná čísla pro hodnoty n , g , m_a a m_b , aby se určil směr, vzdálenost a množství absorpce, k nimž dojde po cestě. Pohyb fotonu je sledován krok za krokem a poté, co jsou do modelu vloženy tisíce nebo miliony fotonů, je stanovena datová matrice. Tato data popisují průchod, případně absorpci světla ve tkáni.

Existuje mnoho dalších faktorů, které bychom mohli do programu přidat. Vstupující světlo může být laserové (na jedné vlnové délce) nebo ze světelného zdroje. Můžeme změnit průměr paprsku, jeho úhel a intenzitu šíření (plochý versus Gaussovský vrchol). Modelace různých typů pokožky a krve vede rovněž k dalším faktorům, které mohou být uváděny. Každá z těchto okolností ovlivní výsledek modelace.

Výstup z metody "Monte Carlo" může být pouze tak kvalitní, jak kvalitní byly vstupy použité ve formě optických parametrů a geometrie.



Sponzorováno / Sponsored by: **MediCom**