АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ ВИМЕНІ КОРОВИ

Т.О. Дьоміна, аспірантка; М.Л. Лисиченко, д.т.н., професор
(ДБТУ, м. Харків, Україна, t.dyomina241@gmail.com)

An overview of the structure of biological tissues and cells of the cow's udder, including at the site of exposure to laser radiation, is given. The processes of scattering, reflection and absorption of light and the mathematical laws that describe them are considered. The multilayer model of the udder and the procedures of the theory of radiation transmission are the basis for modeling the penetration of light into the tissues of bioactive points in order to form the milk ejection reflex.

В останнє дисятиріччя активно використовується лазерне випромінювання для впливу на біологічні об'єкти в біології, медицині, сільському господарстві, ін. При цьому, важливим є питання «доставки» когерентного оптичного випромінювання від лазерного джерела до «мішені» - окремих клітин, молекул або окремих органів.

Так, розроблено і запропоновано спосіб підготовки тварини до доїння в молочному скотарстві завдяки лазерній обробці вимені корови і впливу на біологічно-активні точки (БАТ) вимені з метою стимулювання молоко виведення.

Для забезпечення ефективного впливу при цьому важливими є параметри випромінювання які прикладаються зовні на поверхню тканини вимені де розташовані БАТ.

Ефективність лазерного впливу на БАТ вимені корови з метою з метою активізації процесу підготовки тварин до молоковиведення безпосередньо залежить від правильного підбору параметрів впливу, які в свою чергу визначаються обраною методикою, та фізіологічними особливостями біотканини місця впливу. Для забезпечення достовірності інформації про процес впливу лазера на біологічний об'єкт, необхідно контролювати дозу випромінювання яке поглинається клітинами нервових закінчень БАТ.

При цьому потужність випромінювання, що поглинається об'єктом, у свою чергу, може змінюватися зі зміною стану протягом інтервалу опромінення. Кількісна оцінка параметрів впливу при проведенні процедури на живому об'єкті є вкрай складним завданням, оскільки повторити умови проведення процедури практично неможливо. Найбільш доцільним для вирішення таких завдань є математичне моделювання поширення лазеру в біотканинах, засноване на вирішенні великої кількості реалізацій стохастичних процесів.

Слід враховувати, що самі біологічні тканини вимені є оптично неоднорідними поглинаючими середовищами із середнім показником заломлення більшим, ніж у повітря, тому на межі розділу біооб'єкт-повітря частина випромінювання відбивається (френелівське відображення), а решта проникає в біотканину. Характер проходження світла через біотканину визначається

морфологічною відмінністю біотканини на місці впливу випромінювання. Світло спочатку стикається з шкірою вимені (Glandula lactifera, uber, mamma, mastos), яка покрита волоссям, що може підвищити коефіцієнт відбиття. Далі йде епідерміс (епітеліальний шар) шкіри вимені, структура якого містить шар рогівки (пігментний шар), роговий шар, зернистий шар, шипуватий шар базальний шар. Волокнисті (з'єднувальні) тканини, що містять шари волокон складають 10-400 *нм* і їхня довжина може бути від 10-25 *мкм* до 1-10 *мм*.

Для артерії, що забезпечують кровопостачання вимені (парна срамная і парна пахвова артерія) домінуючими у розсіянні можуть бути волокна, клітини або субклітинні органели. Їх внутрішній шар складається з клітин середнім діаметром менше 10 *мкм*. М'яка тканина вимені складається з щільно упакованих груп клітин та мережі з волокон, через яку просочується міжтканинна (міжклітинна) або інтерстиціальна рідина. Компоненти біотканини у мікроскопічному масштабі не мають чітких меж і вони зливаються в безперервну структуру з показником заломлення, що просторово змінюється.

За рахунок багаторазового розсіювання та поглинання в описаній складній структурі лазерний пучок поширюється і згасає при поширенні в біотканині. Об'ємне розсіювання є причиною поширення значної частки випромінювання у зворотному напрямку (зворотне розсіювання). Основними розсіювачами є клітинні мембрани, ядра та органели, такі як мітохондрії, а також гранули меланіну в клітинах і є дані про те, що розкид розмірів окремих клітинних ядер, складає в нормі 10-12 *мкм*.

Ослаблення колімованого (лазерного) пучка в біотканині відбувається за експоненційним законом і його інтенсивність при проходженні через тонкий зразок тканини зі значним поглинанням, порівняно з розсіюванням, може бути оцінена на основі закону Бугера-Бера.

В ІЧ- спектрі випромінювання (λ = 2 мкм) переважає поглинання, тому внесок розсіювання порівняно малий і світло неглибоко проникає в біотканину, всього на один або кілька клітинних шарів. Для короткохвильової видимої глибина проникнення типової біотканини становить 0,5-2,5 мм. При цьому має місце як поглинання, так і розсіювання, тому близько 15–40 % падаючого випромінювання відбивається на цих довжинах хвиль. Розсіювання дещо зменшується зі збільшенням довжини хвилі але при поглинання зменшується суттєвіше, так що розсіювання превалює над поглинанням, а, отже, глибина проникнення світла збільшується до 8-10 *мм* в області довжин хвиль 600-1600 *нм*.

Інтенсивність відбитого біотканиною вимені випромінювання (за рахунок зворотного розсіювання) може скласти до 35-70 % від падаючого. За допомогою розробленої математичної моделі розраховані показники значення коефіцієнта відображення (дзеркальний та дифузний компоненти) глибини

проникнення світла для деяких біотканин на окремих довжинах хвиль. Так, шкіра вимені при довжині хвилі λ = 665 *нм* складає 47 %, а при довжині хвилі λ = 1064 *нм* – 46 %, жирова тканина при λ = 515 *нм* – 20 %, при λ = 665 *нм* – 31 %, при λ = 1064 *нм* – 25 %.

Взагалі, через багатошарову та багатокомпонентну структуру шкіри взаємодія оптичного випромінювання з нею виявляється дуже складною. Роговий шар відбиває близько 5-7 % падаючого випромінювання. Колімований пучок випромінювання перетворюється на дифузний через мікроскопічні неоднорідності на кордоні повітря - роговий шар. Більшість відбитого шкірою потоку утворюється за допомогою зворотного розсіювання різними шарами тканини (роговий шар, епідерміс, дерма і мікросудинна система). Значне проникнення видимого та ближнього ІЧ-випромінювання через шкіру всередину організму тварини в області, так званого терапевтичного вікна (600–1600 *нм*) є основою більшості методів формування рефлексу молоковиведення. Відомо, що молочна залоза являє собою приклад гетерогенно багатокомпонентної тканини, яка в основному, складається з жирової та фіброзної тканин та наповнена відповідними судинами.

Поглинання гемоглобіну крові, жиру та води мають свої нелінійні параметри, так випромінювання з довжиною хвилі між λ = 700 *нм* і λ = 1100 *нм* є широке вікно прозорості тканини, вужчі вікна прозорості з дещо меншим пропусканням знаходяться поблизу довжин хвиль λ = 1300 *нм* і λ = 1600 *нм*.

Оскільки у досліджуваній біотканині світло поширюється з багаторазовим розсіюванням зазвичай припускають рівномірний розподіл поглинаючих та розсіювальних центрів. Сильна анізотропія розсіювання біотканини і його багаторазовий характер призводять до відхилення характеру пропускання світла від закону Бугера-Бера.

Багаторазове розсіювання та поглинання відповідають за розширення лазерного пучка та його ослаблення в міру поширення в тканині, у той час як об'ємне розсіювання є основною причиною виникнення значної дисперсної складової випромінювання у зворотному напрямку. Таким чином, поширення світла в тканині залежить від властивостей її компонентів, що розсіюють і поглинають: клітин, клітинних органел і різноманітних волокнистих структур. Розміри, форма і густини цих структур, їх показник заломлення по відношенню до навколишнього речовини, поляризаційний стан падаючого випромінювання. - все це відіграє важливу роль і повинно бути враховане в процесі реалізації лазерних технологій при обробці біологічних об'єктів.