

В.Я. Березовський

Специфічні та неспецифічні ефекти електромагнітних випромінювань у біологічних об'єктах

Рассмотрены особенности биофизического действия ультрафиолетовых, световых и инфракрасных излучений в связи с их частотными и энергетическими характеристиками. Выделены специфические резонансные и неспецифические тепловые эффекты. Показано, что лучевая область электромагнитного спектра, соответствующая неионизирующим излучениям Солнца, содержит эволюционно закрепленные молекулярные механизмы акцепции энергии, активизирующей биохимические и биофизические реакции метаболизма. Живые существа, лишенные гелиофугальных воздействий (пещерные, глубоководные виды) достигли лишь примитивных стадий развития. Дозированное использование генераторов неионизирующих излучений в клинической медицине способствует восстановлению собственных саногенных механизмов и восполнению дефицита естественных природных воздействий, обусловленных изменением образа жизни современного человека.

ВСТУП

Класична електронна теорія розглядає будь-яку речовину як систему електрично заряджених часток. Біологічні об'єкти не становлять винятку з загальної закономірності. Проте вони відрізняються тим, що є гетерогенними композитними структурами з високим вмістом води та мають значні за розмірами і масою органічні молекули, об'єднані у синергічні системи [1,16, 24].

Біологічні об'єкти виникли і розвивалися на поверхні Землі завдяки енергії Сонця в умовах постійних геліофізичних впливів. Тому особливий інтерес для біології становлять ефекти електромагнітних випромінювань (ЕВ) оптичного діапазону і прилеглих до нього неіонізуючих променів. Променева ділянка займає діапазон від $1,5 \cdot 10^{11}$ до $3,0 \cdot 10^{22}$ Гц. Вона починається від умовної межі міліметрових радіохвиль, які мають мінімальну енергію, містить низькочастотні інфрачервоні промені, видиме світло і більш високочастотні та високоенергетичні ультрафіолетові випромінювання, які

переходять в іонізуючі рентгенівські промені.

Фізичні характеристики променевої ділянки електромагнітного спектра.

Згідно з сучасними уявленнями найширший діапазон ЕВ займає інфрачервоне випромінювання – від $1,5 \cdot 10^{11}$ до $3,75 \cdot 10^{14}$ Гц. Світловий діапазон займає вузьку частку електромагнітного спектра від $3,75$ до $7,50 \cdot 10^{14}$ Гц. Ультрафіолетове випромінювання розташоване в межах від $7,5 \cdot 10^{14}$ до $3,0 \cdot 10^{16}$ Гц (рис. 1). У медичній літературі джерела випромінювання часто характеризують не частотою, а зворотною величиною – довжиною хвилі, яку визначають у метрах або його частках. За цією шкалою інфрачервоне випромінювання відповідає діапазону від $0,76$ до $150 \cdot 10^{-6}$ м. В інфрачервоній ділянці розрізняють ближнє ($0,76 - 15,0$ мкм) та далеке інфрачервоне проміння ($15,0 - 150$ мкм). В енергізованій ультрафіолетовій ділянці виділяють чотири піддіапазони – А, В, С і V (вакуумне). Крізь атмосферу поверхні Землі досягають лише А та В частки

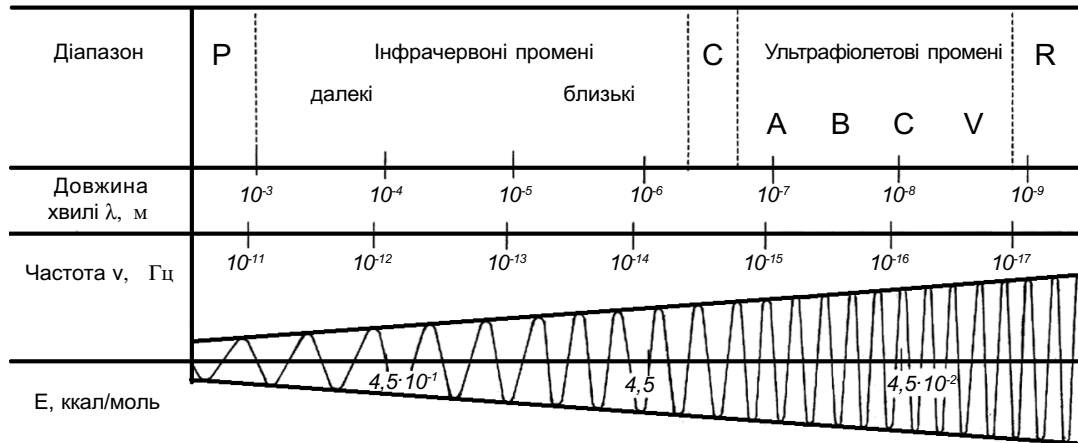


Рис. 1. Фізичні характеристики електромагнітних коливань інфрачервоного, світлового та ультрафіолетового діапазону: P – радіочастотний діапазон, C – видиме світло, R – рентгенівські промені.

ультрафіолету, C і V затримуються озонним шаром і молекулами газів атмосфери. Сонце як основне джерело EB більше 50% енергії віддає в інфрачервоному діапазоні, близько 40% – в світловому, 9% енергії – в ультрафіолетовому спектрі [9,25, 26].

Завдяки високій частоті коливань світлові та ультрафіолетові промені можуть індукувати наведені коливання зі значною амплітудою лише невеликих елементарних часток – електронів, але не ядер атомів, або масивних іонів. Що більша маса частки, то нижчою повинна бути частота збудження зовнішнім електромагнітним впливом. Найбільш виражені ефекти на великі молекули і, навіть субклітинні органи, здійснюють електромагнітні коливання, частота яких наближена до власних частот коливань таких утворень. Як свідчать результати досліджень спектрів поглинання органічних речовин – переважна більшість смуг розташована в діапазоні інфрачервоних випромінювань. Тому особливу увагу біологів привертає аналіз механізмів дії цього діапазону EB [3, 5, 6, 11, 17, 19 – 22,29,37].

Біофізична дія різних ділянок променевого спектра.

Кожне тіло, що має температуру вищу від абсолютного нуля, генерує промені ін-

фрачервоного діапазону з інтенсивністю прямо пропорційною четвертому ступеню абсолютної температури. Ця закономірність відома як закон Стефана – Больцмана. Порівняння спектральних характеристик високотемпературного джерела – Сонця (зарєстрованих на поверхні земної кулі при знаходженні джерела випромінювання в zenіті) та низькотемпературного джерела – абсолютно чорного тіла з температурою 32° C (яка типова для поверхні тіла людини) наведено на рис. 2. Різниця інтенсивності випромінювання першого і другого джерела сягає трьох порядків. Крім того, істотно відрізняються діапазони випромінювання.

Згідно з законом зміщення Віна, частота, що відповідає максимальній випромінюючій здатності абсолютно чорного тіла, змінюється прямо пропорційно до збільшення або зменшення його абсолютної температури. Відомо також, що вища частота випромінювання, то вища енергія кванту та його здатність долати будь-які перешкоди. Промені високотемпературного джерела глибше проникають у біологічні об'єкти. Сонячні промені здатні підвищити температуру кори головного мозку собаки на 2 – 3° і більше, аж до теплового удару [3]. Максимальну penetрацію виявляють високоенергетич-

ні ультрафіолетові та рентгенівські промені. В цій роботі розглядаються лише низькоенергетичні неіонізуючі випромінювання.

Акцепція випромінювань променевого діапазону біологічними об'єктами.

Сприйняття світла людиною відбувається у вузькому зоровому діапазоні (0,38 – 0,75 мкм) завдяки наявності спеціалізованого рецепторного органа – ока, та не менш складного зорового аналізатора – потиличних ділянок головного мозку. Така складна система виникла на базі молекулярних механізмів акцепції певних ділянок ЕВ, притаманних навіть одноклітинним організмам. Рослинні клітини вже мають фітохроми, які реагують на ЕВ інфрачервоного та світлового діапазонів і здійснюють функції фотоакцепторів. У Protozoa також існує хромофор – темно забарвлена органела, яка виконує функції специфічного приймача променевої енергії. У *Euglenia* наявна система активного реагування на світло – фототаксису.

Високочутливим спеціалізованим приймачем інфрачервоних і світлових променів є тепловий локатор змій. Цей рецепторний

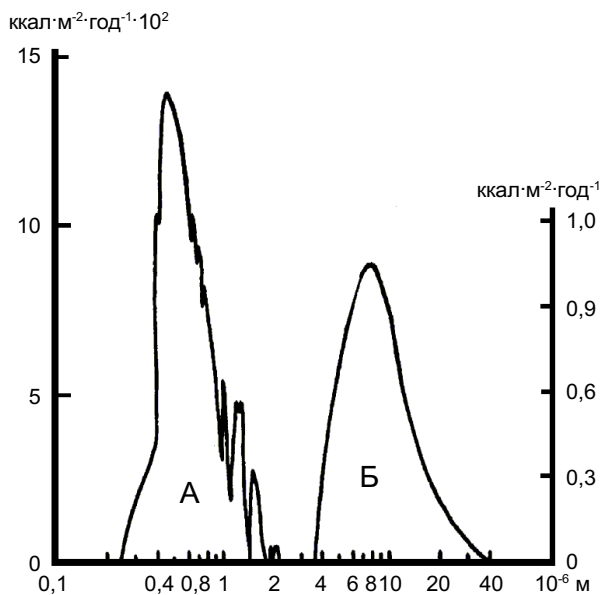


Рис. 2. Спектральна характеристика випромінювання Сонця, зареєстрована на поверхні земної кулі (А) та випромінювання низькотемпературного чорного тіла (Б) з температурою 32 °С [29].

орган (Pit organ) симетрично розташований під шкірою фаціальної поверхні голови кількох видів змій. Він має надзвичайно широкий діапазон сприймання ЕВ – від 0,4 до 10,6 мкм [35]. Його частотний діапазон включає смуги поглинання енергії, специфічні для молекул води, кисню й оксигемоглобіну – найбільш поширених хромофорів біологічних систем. Основний спектр поглинання кисню знаходиться в ділянці 1,2 – 1,3 мкм, а смуги поглинання – у ділянках 0,586, 0,640, 0,762, 1,06 [13]. Тепловий локатор змій містить також фото- та термочутливі протеїни, які здійснюють не тільки акцепторну, але й трансляційну функцію – передачу інформації в нервову систему для забезпечення відповідних моторних реакцій.

У будь-якій клітині *Matatia* наявні ядерний хроматин, нуклеїнові кислоти, залізопорфірини та термолабільні білки, здатні поглинати енергію інфрачервоних, світлових та ультрафіолетових ділянок спектра ЕВ. При цьому відбуваються конформаційні зміни структури молекул, їх енергетичного стану та здатності брати участь у метаболічних реакціях [9,10,16,34,36]. Чутливість терморекторів шкіри людини при інфрачервоному опроміненні значної поверхні тіла настільки висока, що дозволяє відчувати зміну температури на 0,01 °С [31].

Біологічна дія ЕВ інфрачервоного діапазону.

Кожна частота електромагнітних коливань може здійснювати специфічну біологічну дію, відповідно до резонансних частот основного акцептора. Крім того відомо, що всі форми енергії після етапних перетворень трансформуються в теплову форму енергії, збільшуючи температуру об'єкта. Тепловий компонент високочастотних випромінювань (УВЧ-, НВЧ- та КВЧ-діапазонів), де біологічний об'єкт виступає як гомогенна структура, можна віднести до неспецифічних ефектів дії ЕВ. Для інфрачервоного діапазону теплову дію треба розглядати як специфічну, притаманну саме цим частотам ЕВ.

Таблиця 1. Типові максимуми поглинання в інфрачервоній ділянці електромагнітного спектра [1].

N/N	Група	Довжина хвилі, $1 \cdot 10^{-6} \text{м}$	N/N	Група	Довжина хвилі, $1 \cdot 10^{-6} \text{м}$
1	-ОН	2,66 – 2,98	6	=ND	3,85 – 4,15
2	=NH	2,88 – 3,28	7	=C=N	5,95
3	=CH	3,05 – 3,70	8	-N=O, -N=N-	6,28 – 6,80
4	-OD	3,60 – 3,80	9	=S=O	6,28 – 6,80
5	-SH	3,85 – 4,15	10	=SO ₄	8,0 – 8,50

Специфічні ефекти дії ЕВ найяскравіше ілюструються спектрами поглинання, які характеризують наявність груп атомів у досліджуваній речовині (табл.1). Ця закономірність може бути продемонстрована зіставленням спектрів поглинання, теоретично розрахованих на підставі відомих табличних даних, з реально одержаними в експерименті смугами поглинання (рис. 3). Специфічні зони поглинання можна простежити також на зареєстрованому на поверхні Землі випромінюванні Сонця (див. рис. 2). Смуги поглинання характеризують специфічну взаємодію ЕВ з речовинами, розсіяними в атмосфері земної кулі.

Інфрачервоні випромінювання з давніх давен використовуються людством. Грілися біля вогнища, біля каміну, на лежанці. Батько медицини Гіппократ (460 – 370 рр. до н.е.) надавав тепловим процедурам особливо великої уваги. Він стверджував: “Що не виліковують ліки – виліковує залізо; чого не лікує залізо – зцілює вогонь; чого не лікує вогонь – то треба вважати невиліковуваним”. Теплі компреси, синя лампа, лазери, діатермія, генератори надвисоких частот – сучасні еквіваленти вогнища, які відновлюють локальну мікроциркуляцію, втамовують біль, прискорюють загоєння ран, виразок шлунка, допомагають при багатьох клінічних формах захворювань [5, 6, 14,24]. Теплові процедури широко

застосовуються в народній медицині, натуропатії та фізіотерапії [4,15,19,29,37].

Інфрачервону ділянку електромагнітного спектра в науковій медицині викорис-

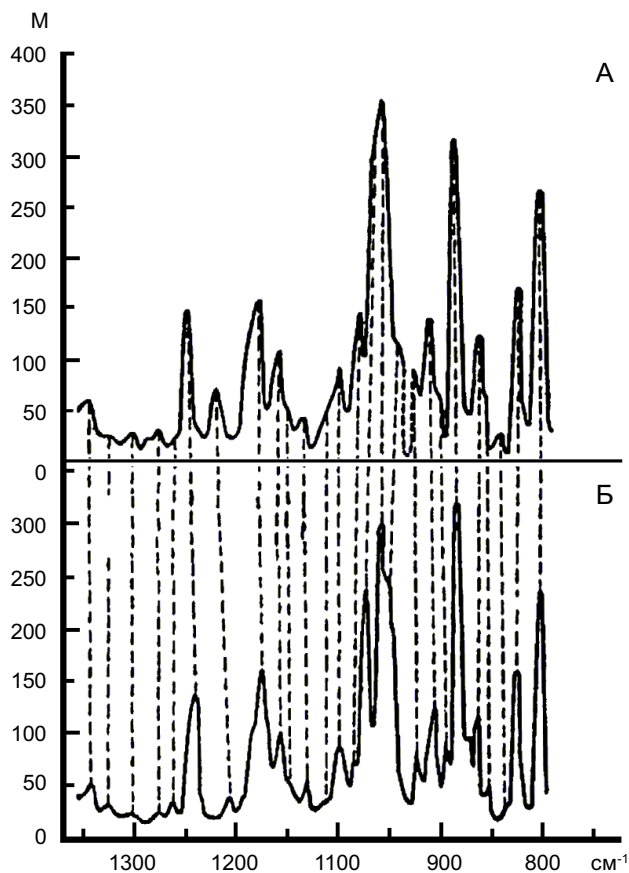


Рис. 3. Інфрачервоний спектр поглинання 3-дезокситигогену. Порівнюються розрахований (А) та вимірний (Б) спектри поглинання. За віссю ординат – значення М (наближене значення молярного коефіцієнта послаблення; за віссю абсцис – хвильові числа (значення зворотні до довжини хвиль)).

тують як аналітичний метод дослідження та діагностики [2,4,19,22,30]. Інфрачервона спектроскопія стала важливим засобом аналізу багатьох органічних речовин [15]. Пронаявність специфічних ділянок поглинання в цьому діапазоні ЕВ свідчить спектральна характеристика проходження інфрачервоних променів крізь екстирповану шкіру людини (рис. 4). Максимуми поглинання для тонких зрізів дерми розташовані в ділянках близько 1,4 і 1,9 мкм.

Важливою позитивною властивістю ближньої ділянки інфрачервоного спектра (0,76 – 15 мкм) може бути те, що максимум енергії випромінювання поглинається по-

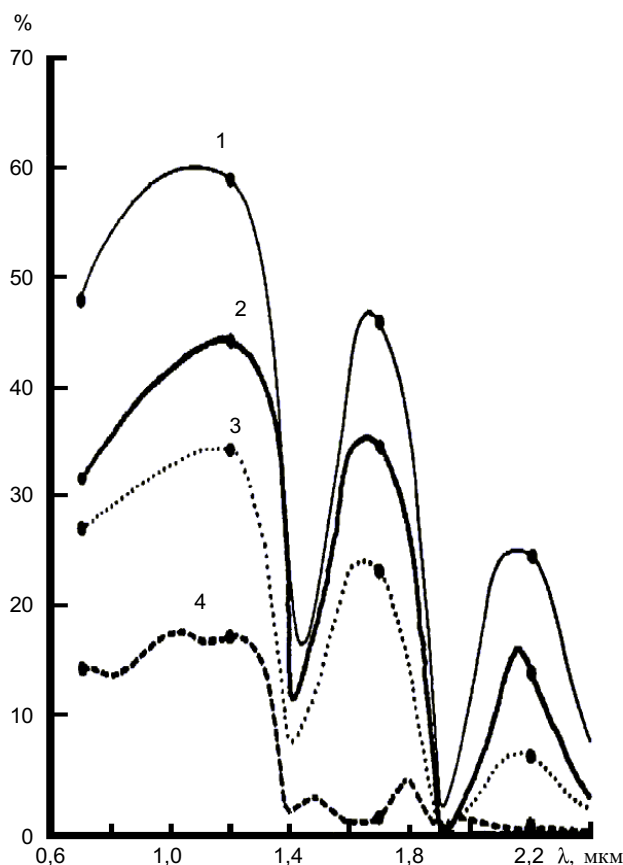


Рис. 4. Спектральна характеристика проходження інфрачервоного випромінювання крізь шматочки екстирпованої білої шкіри людини товщиною від 0,43 до 1,60 мкм: 1 – 0,43 мм, 2 – 0,67 мм, 3 – 0,84 мм, 4 – 1,60 мм. За віссю ординат – відсоток трансмісії, за віссю абсцис – довжина хвилі [29].

верхневими шарами шкіри та підшкірної клітковини (рис. 5). Близько 80 % теплових променів передають свою енергію клітинам мальпігієва та гермінативного шару дерми з розташованими там капілярами. Вірогідно, що тонізуюча дія інфрачервоного опромінення зумовлена підвищенням активності меланоцитів шкіри. Показано, що збільшення вмісту меланіну в сироватці крові стимулює загальний метаболізм і активність ЦНС. У хворих на ішемічну хворобу серця інфрачервоне опромінення венозної крові активує етерифікацію холестерину, підвищує вміст глобулінових фракцій [15], вірогідно зменшує активність перекисного окиснення ліпідів і в 1,5 раза зменшує кількість смертельних випадків [18, 20]. Порівняння дії червоного світла ($\lambda=0,63$ мкм) та променів інфрачервоного діапазону ($\lambda=0,89$ мкм) при однаковій потужності (1 – 9 Дж/см²) показало, що позитивний ефект вдвічі більший при застосуванні інфрачервоного опромінення [21]. Характерно, що жоден з дослідників не знайшов негативних біологічних ефектів при дозованій дії інфрачервоних променів [19 – 22, 25, 26, 30].

Важливим моментом практичного використання теплових процедур терапевтичної спрямованості є правильне дозування інфрачервоного випромінювання. Його доцільно визначати в одиницях енергії, спрямованої на одиницю площини за одиницю часу. Така доза інфрачервоного впливу отримала в медицині назву “пірон” (р):

$1р=0,0167\text{ кал}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{с}=0,0697\text{ Вт}\cdot\text{см}^{-2}$
Клінічні дослідження показали, що відстань від випромінювача до поверхні тіла повинна бути достатньо великою, щоб не виникало відчуття спеки і, водночас, достатньо близькою, щоб не витратити значної частини енергії на долання простору.

Таблиця 2. Клінічні ефекти інфрачервоного опромінювання ($\lambda=8 - 15$ мкм) шкіри людини та їх залежність від дози

Ефект	Доза опромінювання		
	р	кал·см ⁻² ·с	Вт·см ⁻²
Гіперемія (еритема) шкіри при тривалості експозиції 1 – 20 хв	1,0 – 7,0	0,017 – 0,117	0,07 – 0,49
Біль при тривалості експозиції 3 с (на зачорненій поверхні)	13,8	0,23	0,96
Утворення пухирів при тривалості експозиції 3 с (на зачорненій поверхні)	28,0	0,46	1,9
Дозоване сонячне опромінювання на широті Кримського півострова (до 20 хв)	1,92	0,032	0,134

Оптимальна відстань залежить від потужності випромінювача і встановлюється так, щоб доза на поверхні шкіри не перевищувала 1 – 7 р. Біль та опікові пухири на шкірі у особливо чутливих пацієнтів можуть виникати при дозах понад 4 – 7 р (табл. 2).

Зважаючи на низькоенергетичний характер інфрачервоних променів вони можуть впливати місцево або викликати більш поширені рефлекторні відповіді. Типовою місцевою реакцією буває гіперемія шкіри, під-

шкірної основи, активація потовиділення, зниження базального тонусу та релаксація м'язів. Еритемна реакція судин шкіри виникає безпосередньо під час опромінення. При повторних сеансах може виникати гіперпігментація шкіри, подібна до сонячного загару. Рефлекторні реакції можуть починатись від численних фото- та терморцепторів шкіри і здійснювати поширені стимульовальні ефекти через підвищення вмісту меланіну в сироватці крові та активацію нейросекреторної функції епіфіза [23, 27, 28, 33, 34].

Крім пасивного поглинання енергії зовнішніх джерел біологічні структури активно випромінюють в інфрачервоному діапазоні [2, 11, 17]. Дослідження активних випромінювань шкіри людини показали, що максимум випромінювань знаходиться в інфрачервоній ділянці ЕВ – близько 9,5 мкм, сягаючи меж від 3 до 40 мкм [29]. Дослідження власних випромінювань біологічних об'єктів створили базу для розробки сучасних методів інфрачервоної термографії. Термографічні дослідження успішно використовують для точної діагностики поверхнево розташованих новоутворень і сегментарних порушень іннервації. Діагностична термографія дозволила підвищити ефективність неінвазивної діагностики і

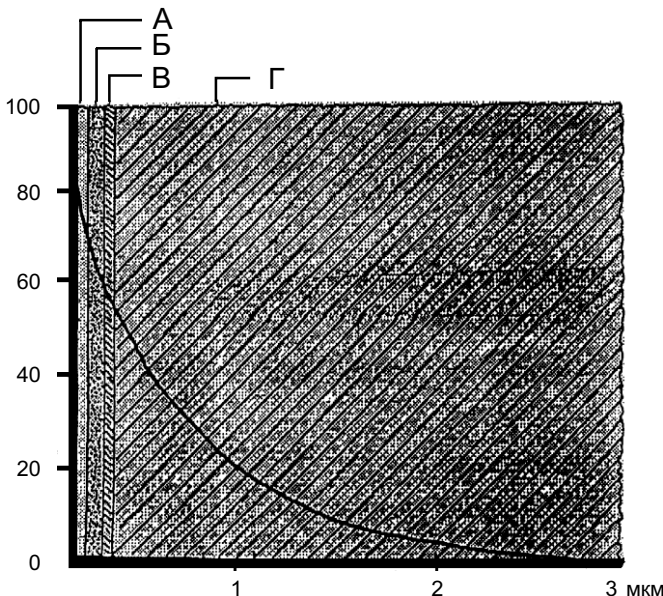


Рис. 5. Характеристика глибини penetрації інфрачервоного випромінювання ($\lambda = 1,2$ мкм) в екстирповану шкіру людини. За вісю ординат – відсоток penetрації, за вісю абсцис – глибина penetрації: А – роговий шар шкіри, Б – мальпігієва сітка, В – гермінативний шар, Г – підшкірна основа.

зменшити радіаційне навантаження пацієнтів від рентгенологічних досліджень.

Численні дані дають підстави вважати, що ділянка ближнього інфрачервоного діапазону може бути найбільш інформативним діагностичним методом і не менш корисним терапевтичним фактором при захворюваннях, пов'язаних з порушеннями мікроциркуляції, метаболізму та кисневого постачання тканин.

Біологічна дія світлового діапазону.

Відомо, що періодична зміна положення Сонця над об'єктом, тривалості світлового дня і інтенсивності освітлення індукує циркадний і сезонний ритми життєдіяльності. Ці ритми проявляються у всьому живому від Protozoa до Mammalia. Циркадний ритм зберігається незалежно від ясного або хмарного неба, перебування істоти на поверхні Землі чи в глибокій підземній печері. Найчутливіші до загального рівня освітлення птахи. Але й у них при повній блокаді зорового відчуття добовий ритм зберігається, якщо на голові видалено пір'я і ділянка шкіри відкрита для світлових променів [33].

Наявність у шкірі хребетних фоторецепторів і термочутливих елементів показана в багатьох фізіологічних і морфологічних дослідженнях [23, 28, 31, 33, 34]. Застосування джерел поляризованого світла і численні експерименти зі впливу лазерного променя на стан клітин крові дозволили створити уявлення про існування фізіологічної системи світлової фоторегуляції метаболізму [7, 8]. Доречно пригадати, що у хребетних крім добре відомого зорового аналізатора існує ще один центральний орган фоторегуляції – Corpus pineale (шишкоподібна залоза або епіфіз). У багатьох риб і плазунів він функціонує як спеціальний фоточутливий орган – “пінєальне око”. Фоторецепторні клітини, пов'язані з шишкоподібною залозою, виявлено під шкірою фронтальної поверхні голови пуголовків. У дорослих собак поруч з рецепторними клітинами шишкоподібною залози виявляють і

нейросекреторні клітини, які відносять до нейрокринних утворень АПУД-системи. Характерно, що у дорослих хребетних шишкоподібна залоза має прямий канал сполучення з III шлуночком головного мозку. Це створює можливість передачі гуморальних сигналів не тільки в кров, але й у ліквор.

Сучасні дані дозволяють розглядати шишкоподібну залозу, як основний орган фоторегуляції добового ритму метаболізму. Крім того вона забезпечує пристосування організму до динамічних умов освітлення та сезонних ритмів життєдіяльності. Ця регуляція здійснюється за допомогою секреції серотоніну та мелатоніну. Інтенсивність освітлення, його спектральні характеристики регулюють процес таким чином, що у темряві активується синтез мелатоніну. Його вміст вдень становить близько 50 пг/мл, а вночі підвищується до 140 пг/мл.

Порушення ритму виділення та рівня секреції мелатоніну часто виявляють у психічно хворих осіб. Це дало підстави деяким дослідникам розглядати відхилення в секреції мелатоніну, як генетичний маркер схильності до патології діяльності ЦНС. Стимуляція секреторної активності шишкоподібною залозою через інтенсивне освітлення або штучне подовження тривалості світлового дня сприяє нормалізації нервових функцій при депресивних станах. Показано, що найбільш доцільним у таких випадках є використання жовто-оранжевої ділянки світлового спектра.

Різні частоти світлового діапазону ЕВ неоднаково впливають на стан ЦНС, психологічний та емоціональний стан людини. Емпірично встановлено, що червоне світло збільшує подразливість людини, зелений і голубий кольори заспокоюють занадто збуджених. У стані сезонної депресії найбільш позитивний лікувальний вплив одержують при використанні яскравого сонячного освітлення або застосування жовто-оранжевих кольорів [25]. Зелене світло

успішно використовують для руйнування надлишкових жовчних кислот у шкірі новонароджених у разі резус-несумісності. При електроенцефалографічних дослідженнях викликаних потенціалів застосування кольорових окулярів дозволяє більш диференційовано визначати реальний стан процесів збудження та гальмування в ЦНС.

В останні роки біофізики, патофізіологи і лікарі інтенсивно досліджують властивості різних кольорів поляризованого світла. Показано, що в ділянці 0,63 мкм лазерний промінь істотно підвищує в сироватці крові активність каталази, яку можна розглядати як специфічний акцептор червоного світла [12] і як показник стану хворих на ішемічну хворобу серця. Світлові промені досягають мікроциркуляторних судин шкіри, викликають конформаційні зміни білкових глобул і фотодисоціацію зв'язку гем – кисень, що може бути одним з механізмів фоторегуляції метаболізму [9, 10]. Можна погодитися з фахівцем, який вважає, що “біомолекули бачать світло” [36], хоча в українському перекладі краще використати дієслово “відчувають” або “реагують”. З теоретичної точки зору неполяризоване світло повинно здійснювати ширший спектр рефлекторних впливів на стан крові і діяльність ЦНС [7,10]. Поляризоване світло може викликати більш специфічні прямі фотоефекти, завдяки тому, що білки, нуклеїнові кислоти і більшість біомолекул мають оптично активні центри, які створюють ефекти дисперсії оптичного обертання [24]. При виконанні умов резонансу повинна відбуватись більш інтенсивна передача енергії ЕВ до атомів і молекул біологічних об'єктів.

Біологічна дія ультрафіолетових променів.

Високочастотні ультрафіолетові промені Сонця при входженні в атмосферу Землі іонізують молекули кисню, утворюючи озоновий шар. Поглинання найбільш енергійованої ділянки ультрафіолетового спектра (УФ С та УФ V) верхніми шарами атмосфери захищає живі організми Землі від

руйнівного впливу жорсткого ультрафіолету. Для штучного одержання таких “антибіотичних” променів в умовах Землі створено ртутні бактерицидні лампи та ртутно-кварцеві лампи. Перші застосовуються для дезинфекції приміщень, другі – в спектрофотометричних і ксерокопіювальних приладах.

Поверхні Землі досягають в основному А та В ділянки ультрафіолетового спектра. Шкіра людини реагує на них почервонінням (еритемою) та загаром. Проте, якщо при інфрачервоному опроміненні розширення капілярів виникає одразу, як специфічна реакція, то після ультрафіолетового опромінення еритема розвивається лише через кілька годин, тобто є вторинною реакцією. Вона зумовлена руйнуванням частини клітин шкіри, виділенням гістаміну та ендотеліальних судиннорозширюючих факторів, які викликають тимчасовий парез капілярів. Максимальну еритемну дію реалізують ультрафіолетові промені з довжиною хвилі 2540 та 2970 А ($A = 10^{-10} \text{м}$). Руйнування клітин можна зменшити попереднім впливом інфрачервоних променів [30] або застосуванням захисних кремів з певним вмістом салолу [25,32].

Залежно від дози ультрафіолетового опромінення еритема зберігається кілька діб і зникає, залишаючи інтенсивне злущення загиблих клітин епідермісу, потовщення рогового шару, нагромадження базальних клітин і меланоцитів, збільшення кількості яких стимулює посилення загару. Добре пігментована шкіра набирає високої резистентності до ультрафіолету. Максимальна пігментація досягається при дії А та В ділянок ультрафіолету з максимумом ефекту близько 3300 – 3500 А. При впливі суцільного спектра випромінювання Сонця і поєднанні інфрачервоних і ультрафіолетових променів пігментація шкіри розвивається краще, ніж при використанні штучних джерел ультрафіолету з вузькими лінійними спектрами випромінювання.

Дія ультрафіолету на ліпідні компоненти клітин шкіри трансформує ергостерин і 7-дегідрохолестерин і призводить до утворення з них необхідних для здоров'я людини вітамінів D_2 і D_3 . Останні відіграють важливу роль в обміні кальцію, формуванні кісток скелету, фізіологічному розвитку дитини. Нестача цих вітамінів викликає захворювання на рахіт. Існує два максимуми біологічної дії у спектрі антирахітичної дії ультрафіолету: 650 та 2970 А. Організм людини не має іншого механізму синтезу вітамінів D_2 і D_3 , крім дії ультрафіолетового опромінення.

При біохімічних реакціях у клітинах частина вивільненої енергії випромінюється у вигляді ультрафіолетових променів, які стимулюють розмноження найближче розташованих клітин. Це явище, за ім'ям автора, одержало назву "мітогенетичні промені Гурвіча". У 30-ті роки минулого століття мітогенетичні промені виявляли біологічними детекторами – корінцями цибулі. Нині інструментально встановлено, що мітогенетичні промені знаходяться в межах від 1900 до 3250 А. Одними з найбільш активних внутрішніх джерел такого випромінювання є клітини крові. Використання зовнішніх випромінювачів ультрафіолетового спектра дозволяє прискорювати загоєння ран, стимулювати процеси регенерації шкіри.

Показано, що після ультрафіолетового опромінення в шкірі та підшкірній основі відбувається значне зниження вмісту іонів K^+ та Na^+ . Катіони виходять з цитоплазми клітин і переходять в кров'яне русло. Це свідчить про мембранотропну дію ультрафіолету, порушення роботи та руйнування певної частки клітин дерми. Саме ця мембранодеструктивна властивість використовується для дезинфекції приміщень медичних закладів, операційних, кабін космічних кораблів тощо. Враховуючи, що при дії високочастотних ультрафіолетових випромінювань (ділянки С і V) відбувається іонізація кисню повітря з утворенням озону і висо-

коактивного синглетного кисню – руйнування мікробних тіл відбувається як на поверхні твердих тіл, так і в усьому приміщенні, знижуючи вірогідність інфекційного захворювання.

Високочастотна ультрафіолетова частка сонячного спектра несе загрозу стимуляції злоякісних новоутворень шкіри, тому прийом сонячних ванн не завжди корисний для шкіри людини, особливо якщо в неї голубі очі та русаве волосся. Епідеміологічні дослідження показали, що мешканці наближених до екватора широт набагато частіше захворюють на рак шкіри, ніж населення країн високих широт.

ВИСНОВКИ

На закінчення варто наголосити, що специфічною біофізичною дією променя певної частоти можна вважати його селективне резонансне поглинання біологічною структурою або органічною сполукою. Спектри такого поглинання достатньо вивчені. Максимальне лінійне поглинання для молекули відновленого гемоглобіну відбувається в ділянці 0,596 мкм, для оксигемоглобіну – 0,562 мкм. Для селективного фототермолізу найбільш придатне жовте лазерне світло з довжиною хвилі 0,580 мкм. При хірургічному видаленні ділянки шкіри людини використовують смуги максимальної абсорбції інфрачервоних променів, які знаходяться в ділянці 1,4 та 1,96 мкм.

Абсорбція ЕВ променевого діапазону складними біологічними структурами залежить не тільки від специфічного поглинання наявними в клітинах пігментами (меланіном, гемоглобіном, хроматином), але й від структурної гетерогенності тканин. Розсіювання променя під час його проходження і відбиття фосфоліпідними мембранами клітин, поверхнями розділу фаз може бути додатковою причиною абсорбції енергії кванта. Біофізичні ефекти дії ЕВ променевого спектра залежать від частоти і потужності

опромінення. Остання істотно підвищується при збільшенні частоти і скороченні довжини хвилі. Загальна фармакологічна закономірність: “ малі дози – стимулюють, великі дози – збуджують, понад великі дози – руйнують” – добре відтворюється в променевому діапазоні ЕВ. Певні відомості про це надає табл. 3.

Слід відмітити також, що більшість літературних джерел і підручників, розглядаючи сенсорні функції шкіри людини, виділяють лише механічні, термічні та больові сприймання, забуваючи про фоторецепторну функцію дерми. А вона відіграє винятково важливу роль у стимуляції вегетативних функцій, імунітету та психічного стану людини.

Деякі рослини, особливо соняшник, вправно відстежують положення Сонця над обрієм, забезпечуючи максимальну площу сприймання променевої енергії протягом світлового дня. Тваринний світ, на відміну від рослинного, не має фотоліаз, тому захи-

щається від іонізуючих ділянок ЕВ променевого діапазону іншими способами. Бавовняний халат мешканців країн Азії, чалма та хутровий малахай – лише деякі приклади захисту організму від променів полуденного Сонця. А традиція сієсти в Іспанії, Греції та інших країнах малих широт –інший приклад поведінкових реакцій активного захисту від негативних наслідків надмірного опромінення. Видатні фізіологи минулого Клод Бернар і Вальтер Кеннон, висуваючи загально біологічний принцип гомеостазису, підтвердили віковічну народну мудрість “що занадто, то нездорово”.

V.A. Beresovsky

SPECIFIC AND NON-SPECIFIC ELECTROMAGNETIC IRRADIATION WITH BIOLOGICAL (ITEMS) OBJECTS

There are the peculiarities of the biophysical influence of the ultraviolet, light and infra-red irradiation in connection with their frequent and energetic characteristics. The specific resonant and non-specific heating effects are deduced (distinguished)

Таблиця 3. Біологічні ефекти електромагнітних коливань променевого діапазону

Ділянки спектра	Пенетрація	Типова фізіологічна дія
Дальня інфрачервона (15 – 150 мкм)	1,0 – 0,05 мм	Стимуляція теплових рецепторів поверхневих шарів шкіри, підвищення локальної температури, прискорення лімфообігу та кровообігу, активація клітинного метаболізму.
Ближня інфрачервона (0,86 – 15 мкм)	1 – 2 мм	Стимуляція теплових рецепторів поверхневих і глибоких шарів шкіри, релаксація мікроциркуляторних судин, еритемна дія, знеболувальна дія, індукція гуморальних факторів імунітету.
Світлова (0,39 – 0,76 мкм)	1 – 10 мм	Фоторецепція ока з диференціальною реакцією на різні кольори, психоемоційні впливи через зоровий аналізатор ЦНС, стимуляція фоторецепторів шкіри, руйнування жовчних кислот у крові, опромінення формених елементів червоної та білої крові, стимуляція клітинного імунітету.
Ультрафіолетова А, В	3,0 – 20 мм	Стимуляція проліферації меланоцитів, гіперпигментація шкіри, еритемна дія на поверхневий і глибокий шари капілярів, активація імунокомпетентних клітин дерми, синтез вітамінів D ₂ та D ₃ , бактерицидна дія.
С, V	20 – 60 мм	Іонізація молекулярного кисню з утворенням синглетного кисню, супероксидних радикалів, пошкодження генетичного апарату клітин, бактерицидна дія, стимуляція неконтрольованого росту злоякісних новоутворень шкіри.

. It is shown that the radial area of electromagnetic spectrum corresponding to the non-ionising Sun irradiation, contains the evolutionary fixed molecular mechanisms of the energy acception activating biochemical and biophysical metabolic reactions. The living beings, deprived of heliofugal influences (cave and deep-watered specimen objects) reached only the primitive development stages. The dosed wage of the non-ionising radiation generators in the clinic medicine promotes the restoration of the self sanogenic mechanisms and deficit restoration of the natural influences caused by the contemporary human being's mode of life changes.

A. A. Bogomoletz Institute of Physiology, NAS of Ukraine, Kiev

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аккерман Ю. Биофизика. – М.: Мир, 1964. – 684 с.
2. Березовський В. Я. Інфрачервоне випромінювання, температура та напруга кисню в головному мозку собаки в стані наркозу. – В кн.: V об'єднана конференція молодих учених Київських відділів товариств фізіологів, біохіміків і фармакологів. – К., 1962. – С. 3 – 4.
3. Березовський В. А. Изменения температуры коры больших полушарий головного мозга собаки под влиянием инфракрасной радиации. Сб. тез. Всес. конф. по теплообмену и теплорегуляции. – Л., 1967. – Т. I. – С. 17 – 18
4. Березовський В. А., Колотилов Н. Н. Биофизические характеристики тканей человека: Справочник. – К.: Наук. думка, 1990. – 224 с.
5. Вайль Ю. С., Вороновский Я. М. Инфракрасные лучи в клинической диагностике и медико-биологических исследованиях. – Л.: Медицина, 1969. – 240 с.
6. Ворожейкин В. М., Назаров Ф. Г., Аржииков Ш. Н. Язвы желудка при циррозе печени и влияние на них низкоинтенсивного инфракрасного лазерного излучения // Архив патологии. – 1992. – 54, № 5. – С. 15 – 18.
7. Гамалея Н. Ф. Световое облучение крови – фундаментальная сторона проблемы. – В кн.: Действие низкоэнергетического лазерного излучения на кровь. – К., 1987. – С. 180 – 182.
8. Гамалея Н. Ф., Федорчук А. Г., Прокопенко А. В. Лазерная иммуномодуляция: вовлечение клеточных путей сигнальной трансдукции // Фотобіологія і фотомедицина. – 1991. – № 1. – С. 44 – 50.
9. Деркач М. Ф. Основы біофізики. – Львів: Вид-во Львів. ун-ту, 1967. – 278 с.
10. Джагаров Б. М. Фотодиссоциация оксигемоглобина. – В кн.: Действие низкоэнергетического лазерного излучения на кровь: Тез. докл. Всесоюз. конф. (27 – 29 сент. 1987 г. Киев). – К., 1987. – С. 182 – 183.
11. Домбек С. Д. Об изменении инфракрасной радиации у здоровых и больных недоношенных детей. – В кн.: Ученые записки Горьковского медицинского института. – Горький, 1957. – Вып. 2. – С. 33 – 46.
12. Зубкова С. М. Прямое и опосредованное действие лазерного излучения на кровь. – В кн.: Действие низкоэнергетического лазерного излучения на кровь: Тез. докл. Всесоюз. конф. (27 – 29 сент. 1987 г. Киев). – К., 1987. – С. 183 – 185.
13. Иванов А. В., Купин В. И., Еремеев Б. В. Обратимые повреждения плазматических мембран форменных элементов крови – начальное звено стимуляции. – Там же. – С. 185 – 187.
14. Истомин Н. П., Носов А. А., Хоробрых В. В. Функциональная активность нейтрофилов и макрофагов при облучении кишечных анастомозов низкоэнергетическим инфракрасным лазером // Журн. микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. – 1995. – № 3. – С. 102 – 105.
15. Каплан М. А., Дьякова А. М., Воронина О. Ю. Биохимический анализ сыворотки крови больных при лечении с помощью терапевтического лазерного аппарата “Узор”. – В кн.: Действие низкоэнергетического лазерного излучения на кровь. Тез. докл. Всесоюз. конф. (27 – 29 сент. 1987 г. Киев). – К., 1987. – С. 94 – 96.
16. Костюк П. Г., Зима В. Л., Магура І. С. Біофізика. – К.: Обереги, 2001. – 544 с.
17. Красногорский Н. Н. Инфракрасное излучение тела у детей при гипнотических (раздельных) состояниях коры больших полушарий // Журн. ВНД. – 1951. – 1, № 3. – С. 376.
18. Мажара Ю. П., Олесин А. И., Скородумова Е. А. Оценка действия лазерного излучения красного и инфракрасного диапазонов на кровь у больных ИБС. – В кн.: Действие низкоэнергетического лазерного излучения на кровь. Тез. Всесоюз. конф. (27 – 29 сент. 1987 г. Киев). – К., 1987. – С. 119 – 121.
19. Мандель А. Ш., Бабычко С. И. Клинические результаты лечения больных хронической экземой с использованием лазерного фотофореза. – Там же. – С. 126 – 127.
20. Милованов О. В. Характеристика аминотрансфераз сыворотки крови при воздействии инфракрасного лазерного излучения. – Там же. – С. 134 – 135.
21. Олесин А. И., Лухин В. А. Оценка эффективности использования лазерного облучения венозной крови красным и инфракрасным светом в лечении нарушений сердечного ритма. – Там же. – С. 33 – 35 с.
22. Пронченкова Г. Ф., Чеснокова Н. П., Лушельская И. В. Действие инфракрасного лазерного излучения на макрофагальные, микрофагальные и лимфоидные элементы крови. – Там же. – С. 38 – 40.
23. Серов В. В., Пальцев М. А. Патологическая анатомия: Курс лекций. – М.: Медицина, 1998. – Т. 1. – 640 с.
24. Чалий О. В. Медична і біологічна фізика. – К.: Віпол, 1999. – Т. 1. – 425 с., К., Віпол, 2001. – Т. 2 – 415 с.
25. Шнейдер С. Целительная сила Солнца. – Ростов на Дону: Феникс, 1998. – 160 с.
26. Чубинський С. М. Лучи Солнца и их действие на

- организм человека. – М.: Медгиз, 1959. – 198 с.
27. Freinkel R.K., D.T. Woodley R.K. The biology of the Skin. – New York–London. The Parthenon Publ. Group, 2001. – 432 p.
 28. Iggo A., Young D.W. Cutaneous thermoreceptors and thermal nociceptor. – In: The Somatosensory System. – Stuttgart.: Georg Thieme, 1975. – P.5 – 22.
 29. Hardy J.D. Thermal Radiation, Pain and Injury. – In: Therapeutic Heat. Elizabeth Light Publ., Waverly Press Inc., Baltimore, Maryland, USA, 1962. – P.157 – 178.
 30. Kaidbey K.H., Witkowski T.A., Kligman A.M. The influence of infrared radiation on the short-term ultraviolet radiation induced injuries // Arch. Dermatol. – 1982. – **118** (5). – P.315 – 318.
 31. Kenshalo D.R., Decker T., Hamilton A. Spatial summation on the forehead, forearm and back produced by the radiant and conducted heat // J.Comp. Physiol. Psychol. – 1967. – N 63. – P.510 – 515.
 32. Marks R. Sun and the skin. London, UK.: Martin Dunits LTD, 1995. – 96 p.
 33. Metzger D., Lunger Th. Nervous system in the skin. – In: The Biology of the Skin. – New York – London, Parthenon Publ. Group, 2001. – P.153 – 176.
 34. Montagna W., Kligman A.M., Carlisle K.S. Skin sensory mechanisms. – New York: Springer Verlag, 1992. – P.192 – 222.
 35. Moiseenkova V.Y., Bell B., Motamedy M. Wide – Band Spectral Tuning of Heat Receptors in the Pit Organ of the Copperhead Snake (Crotalinae) // Amer. J.Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol. – 2002. – N 14. – P.183 – 195.
 36. Pratt D.W. Molecular dynamics. Biomolecules see the light // Science. – 2002. – **28**, N 296(5577). – P 2347 – 2348.
 37. Stoner E.K. Luminous and Infrared Heating. – In: Therapeutic Heat.: Waverly Press Inc. Baltimore, Maryland, USA, 1962. – **2**. – P.230 – 243.

*Ін – т фізіології ім. О.О. Богомольця НАН України;
Наук.- досл. мед.- інженер. центр НОРТ НАН
України, Київ*