

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТУСА

ПРИСЯЖНЮК БОГДАН ПЕТРОВИЧ

Допускається до захисту:
завідувач кафедри біофізики і фізіології,
канд. хім. наук, доцент
_____ О. І. Доценко
«__» _____ 2024 р.

**ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ПОЛЯРИЗОВАНОГО СВІТЛА НА
ЕМБРІОНАЛЬНИЙ ТА ПОСТЕМБРІОНАЛЬНИЙ РОЗВИТОК
ПТАШЕНЯТ ПЕРЕПЕЛА**

Спеціальність 101 Екологія

Кваліфікаційна (бакалаврська) робота

Науковий керівник:

О. В. Єрмішев, доцент кафедри
біофізики і фізіології,
канд. біол. наук, доцент

(підпис)

Оцінка: ____ / ____ /

(бали за шкалою ЄКТС/за національною шкалою)

Голова ЕК: _____
(підпис)

Вінниця 2024

Зміст

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ.....	5
1.1 Екологічні чинники, їх види та роль	5
1.2 Світло як екологічний чинник	6
1.3 Штучне світло.....	16
РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ	27
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ	33
ВИСНОВКИ.....	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	50

ВСТУП

Сучасне суспільство характеризується стрімким зростанням використання штучного освітлення, що суттєво впливає на здоров'я людей. Перебування під впливом надмірного або недостатнього освітлення порушує природні біологічні ритми, що формувалися протягом мільйонів років, спричиняючи серйозні фізіологічні та психологічні порушення. Наприклад, глобальна проблема дефіциту вітаміну D, яка торкається майже мільярда людей, є прямим наслідком неправильного впливу світла [1]. Водночас, світлотерапія, зокрема методи, що використовують поляризоване світло, набуває популярності завдяки своїй природності та екологічності застосування [2, 3, 4, 5].

Ця наукова робота спрямована на вивчення впливу поляризованого поліхроматичного некогерентного світла з високим ступенем поляризації (понад 95%) на ембріони пташенят. Актуальність теми полягає в поширеності штучного освітлення і необхідності зрозуміти його вплив на живі організми, особливо у період ембріонального розвитку.

Об'єкт дослідження — вплив поляризованого світла на ембріони в ембріональному та постембріональному періодах.

Предмет дослідження — процеси, що відбуваються під час і після опромінення ембріонів пташенят поляризованим світлом, з подальшим аналізом впливу на розвиток та продуктивність пташенят.

Мета дослідження — визначити вплив поляризованого світла на розвиток та здоров'я пташенят, що може запропонувати нові методики для покращення умов вирощування у птахівництві.

Наукова новизна дослідження полягає у вперше проведеному систематичному вивченні ефектів поляризованого світла на ембріони пташенят, що дозволяє виявити нові біологічні впливи, що раніше не вивчались в науковій практиці. Таке дослідження може відкрити шлях до розробки інноваційних технологій у птахівництві, які базуватимуться на керованому використанні світла для стимуляції росту і розвитку птахів.

Практичне значення отриманих результатів надзвичайно важливе.

Попередні дослідження вказують на можливість значного покращення показників зростання і здоров'я пташенят, що опромінювалися у ембріональний період. Це може сприяти збільшенню продуктивності у птахівництві, зниженню витрат на лікування та підвищенню якості кінцевої продукції. Такі результати мають важливе значення не лише для наукової спільноти, а й для аграрної індустрії в цілому.

Дослідження також включає розгляд безпеки використання поляризованого світла, що є критичним аспектом при впровадженні нових технологій у виробничі процеси. Забезпечення безпеки і високої ефективності використання поляризованого світла можуть відкрити нові перспективи для застосування цього методу не лише в птахівництві, а й у інших галузях.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Екологічні чинники, їх види та роль

Термін «екологія» вперше використав німецький біолог Ернст Геккель у 1866 році. У дослівному перекладі екологія – це наука про «дім», де кожен перебуває в постійному контакті з усіма, хто мешкає поруч, включно з атмосферою, гідросферою, літосферою та іншими чинниками навколишнього середовища [6].

За сучасними науковими думками, всі екологічні чинники поділяються на декілька категорій, таких як:

- Абіотичні фактори класифікуються як фізичні та хімічні і вважаються вирішальними для хімічного походження життя. Хоча вони не є джерелом життя, розвиток і виживання біотичних факторів були б неможливі без них. До фізичних абіотичних факторів відносяться сонячне світло, температура, атмосферний тиск і клімат. Щодо хімічних факторів, вони охоплюють рівень рН, а також кількість і тип хімічних елементів, що присутні у ґрунті, воді та повітрі [7].
- Біотичне середовище організму створюють, усі живі організми, які безпосередньо з ним взаємодіють, біотичні чинники — це впливи, що проявляються внаслідок взаємозв'язків організмів у біотичному середовищі. Таким чином, біотичні чинники є сукупністю взаємовпливів організмів у процесі їх життєдіяльності [8].
- Антропогенний вплив спричинений діяльністю людини. В останні десятиліття зросла стурбованість антропогенним забрудненням через його стрімке та всеохоплююче поширення. Через цю постійну загрозу докладається все більше зусиль для покращення якості навколишнього середовища, проте все більша кількість синтетичних хімічних речовин виробляються та потрапляють у навколишнє середовище. Таким чином, список забруднювачів, який включає фармацевтичні препарати, засоби особистої гігієни та антипірени, продовжує зростати [9].

1.2 Світло як екологічний чинник

Світло відіграє важливу роль у житті всіх організмів на Землі, безпосередньо впливаючи на різноманітні процеси на клітинному, організмовому та популяційно-видовому рівнях. Сонячне випромінювання взаємодіє з живою речовиною та має численні наслідки, що супроводжуються молекулярними змінами, такими як пошкодження ДНК і клітинними процесами.

Наприклад, світло стимулює різноманітні процеси, такі як фотосинтез, під час цього процесу рослини перетворюють сонячну енергію у хімічну енергію глюкози, а хлорофіл виступає основним пігментом, який поглиблює світлове випромінювання та активує хімічні реакції.

Світло також має вагомий вплив і на фотоморфогенез, оскільки рослини реагують на світлові подразники, такі як світловий спектр та тривалість світлового дня, що пригнічує чи стимулює ріст рослин.

Не менш важливою є світлова регуляція відкриття та закриття пор для доступу до CO_2 та випаровування води. У темряві пори закриваються, мінімізуючи втрату води. Такий механізм дозволяє рослинам ефективно реагувати на зміни у світлових умовах та забезпечувати оптимальний газо- і водообмін.

Світло є ключовим фактором у фототропізмі, який визначає ріст рослин у напрямку джерела світла. Рослини здатні виявляти напрямок світла та орієнтувати свій ріст відповідно за допомогою фоторецепторів. Довжина світлового дня також впливає на фенологічні процеси в рослин, такі як цвітіння та плодоношення. Рослини реагують на зміни тривалості світлового дня для визначення сезонів. Різні діапазони світла також впливають на фотоперіодизм, зокрема на цвітіння, зростання, розгалуження та плодоношення багатьох рослин.

Світловий вплив має велике значення також і для тварин, це один з основних факторів, що визначають їх фізіологію та етологію. Наприклад біологічні ритми, такі як сон, голод, активність та розмноження, регулюються зміною світла та темряви. Окрім того, світловий режим також впливає на регуляцію гормонального балансу щитовидної залози, стимулюючи синтез

тироксину і трийодтироніну. Ці гормони, в свою чергу, регулюють обмін речовин, енергетичний баланс та інші фізіологічні процеси.

Важливо зауважити, що світло впливає на активність надниркової кори та вироблення кортизолу вранці, а також на секрецію мелатоніну ввечері, гормону, який регулює сон та засинання. Крім того, світловий режим впливає на секрецію ряду нейромедіаторів та вітамінів, таких як серотонін, який впливає на настрій та регулює сон і апетит; ендорфінів, що викликають відчуття задоволення і благополуччя; а також вітаміну D, необхідного для здоров'я кісток та імунної системи [10].

Головним джерелом світла є Сонце, а також Місяць, який відбиває сонячні промені та освітлює Землю вночі. Денне світло — це пряме та непряме електромагнітне випромінювання сонця. Тривалість і наявність світлового дня залежить від географічної широти, пори року та атмосферних умов. На відкритому повітрі в сонячний день інтенсивність освітлення коливається від 20 000 до 100 000 люкс, та до 1 000 люкс під час сутінків [10]. Сонячне світло розподіляється за різними довжинами хвиль, включаючи видиме світло, а також невидиме ультрафіолетове та інфрачервоне світло [11].

Сонячне випромінювання, яке досягає поверхні нашої планети, включає широкий спектр електромагнітного випромінювання. Серед різних довжин хвиль, які досягають земної поверхні, ультрафіолетове випромінювання визначається найбільшою енергією і потенційною шкідливістю. Це вид випромінювання зазвичай розділяється на три основні спектри, а саме UVA, UVB та UVC.

UVA має найбільшу довжину хвилі, від 320 до 380 нм. У свою чергу, UVB має довжину хвиль в межах 280–320 нм, тоді як UVC містить найкоротші хвилі в діапазоні від 180 до 280 нм, відзначаючись високою енергією. Важливо відзначити, що більшість ультрафіолетового випромінювання (>95%) становить UVA [4, 12, 13].

Видиме світло охоплює діапазон від 380 до 800 нм. Кожен спектр має свої унікальні характеристики та впливає на навколишнє середовище та живі

організми [4].

Спектральний поділ видимого світла подається на наступні категорії:

- Фіолетовий (380—440 нм) короткохвильовий спектр активно взаємодіє з хлорофілом у рослинах, вважається що він має вплив на біологічні процеси в рослині включаючи фотосинтез.
- Синє світло (440—485 нм) визначається своєю короткою довжиною хвилі та високою енергією. Цей спектр широко впливає на біологічні ритми організму. Багато електронних пристроїв, що містять світлодіоди, такі як смартфони, планшети та екрани комп'ютерів, випромінюють інтенсивне синє світло, що може мати вплив на якість сну та здоров'я людини.
- Блакитний (485—500 нм) і зелений (500—565 нм) спектри грають важливу роль у сприйнятті кольорів людським зором, а також можуть впливати на психічний стан та концентрацію.
- Жовтий (565—590 нм), помаранчевий (590—625 нм) та червоний (625—700 нм) світло мають меншу енергію і можуть нагрівати поверхні та атмосферу. Важливі в термобалансі Землі та взаємодіють з атмосферними газами.

Інфрачервоне світло охоплює діапазон довжин хвиль приблизно від 700 нанометрів до 3 мікрометрів. Цей вид світла невидимий для органів чуття людей, але може сприйматись деякими тваринами, такими як кажани чи змії. Інфрачервоне випромінювання поділяється на три основні діапазони, які відрізняються за довжиною хвиль:

- Інфрачервоне випромінювання типу А: Цей діапазон охоплює довжини хвиль від 700 до 1400 нм.
- Інфрачервоне випромінювання типу В: Цей діапазон розташований між 1400 та 3000 нм.
- Інфрачервоне випромінювання типу С: Цей діапазон охоплює великі довжини хвиль від 3000 нанометрів до 1 міліметра.

Світло є штучне і природне, в більшості випадків вони діють на людину однаково, а також враховуючи, що світло має безпосередній вплив на організм

людини, а його нестача може призводити до порушення багатьох фізіологічних та біологічних процесів як на рівні клітини так і на рівні організму в цілому, його можна використовувати при лікуванні та профілактиці багатьох захворювань.

Вчені припускають, що недостатнє перебування на сонці може бути причиною збільшення захворюваності на рак грудей, колоректальний рак, гіпертонію, серцево-судинні захворювання, метаболічний синдром, розсіяний склероз, Хвороба Альцгеймера, аутизм, астма, діабет 1 типу та короткозорість. Деякі вчені підраховали, що мале сонячне опромінення було фактором ризику смерті такого ж масштабу, як і куріння [13].

Дефіцит вітаміну D₃ є однією із найпоширеніших проблем, що вражає майже мільярд людей у всьому світі [5]. 80% вітаміну D, у формі вітаміну D₃, синтезується в шкірі людини та тварин під впливом ультрафіолетових променів типу B, а отже недостатнє перебування під прямими сонячними променями може призводити до дефіциту вітаміну D. Вітамін D відомий регулятором мінерального метаболізму кісток, а також регулює позаклітинний рівень кальцію [14]. Через дефіцит, кістки можуть ставати м'якими, тонкими та крихкими, що призводить до рахіту та остеопорозу. Крім того, дефіцит може збільшити ризик розвитку діабету та серцево-судинних захворювань [15], а також розвиток хвороби Альцгеймера та інших когнітивних порушень [13], включаючи розсіяний склероз [16].

Нові дані свідчать про те, що вітамін D додатково пов'язаний із циркадними ритмами [17, 18], що впливають на загальний настрій, рівень стресу та навчання у тварин та людей [3].

Існує велика кількість епідеміологічних даних, які вказують на підвищення частоти онкологічних, інфекційних, аутоімунних і серцево-судинних захворювань у осіб, які мають дефіцит вітаміну D₃ [19]. Вітамін D₃ також налаштовує функціонування щитовидної і паращитовидних залоз, наднирників, гіпофіза, імунної системи, гармонізує вироблення жіночих і чоловічих статевих гормонів, підтримує баланс рівня холестерину [20].

Мета-аналізи підтвердили, що рівнем 25(OH)D <30 нмоль/л порівняно з

>82 нмоль/л, пов'язаний зі збільшенням на 104% ризику розвитку деяких захворювань, зокрема колоректального раку [13].

Останні дослідження виявили важливий вплив сонячного опромінення на оксид азоту, що відіграє ключову роль як сигнальна молекула та ендогенний вазодилататор, який виробляється ендотелієм судин. Ці відкриття змінили наше розуміння гіпертонії, підкреслюючи, що високий кров'яний тиск може розвиватися через порушення синтезу оксиду азоту, а не лише через надмірне виділення судинозвужувальних речовин, таких як ангіотензин і адреналін.

Додатково до своєї ролі сигнальної молекули, оксид азоту є потужним антиоксидантом, здатним модулювати окисно-відновний статус організму [13, 21].

Дослідження на здорових людях показали, що опромінення 20 Дж/см УФА (еквівалентно ~30 хвилинам перебуванню під середземноморським сонячним промінням) послаблює артеріальний опір у зв'язку з виділенням NO. Вплив на тіло UVA знизив артеріальний тиск, цей ефект був пов'язаний зі збільшенням плазмових концентрацій нітриту та зниженням рівня нітрату. Найбільша «активність вивільнення NO» виявлена у верхній частині епідермісу. Ці висновки є важливими, оскільки гіпертонія є основною причиною неінфекційних захворювань, незважаючи на сучасну фармакотерапію. Нещодавнє дослідження пацієнтів, які перебувають на хронічному гемодіалізі, підтвердило, що вплив ультрафіолету навколишнього середовища обернено пов'язаний з артеріальним тиском [21]. У відповідності з наведеною вище гіпотезою є висновок про те, що ті, хто зазвичай мало буває на сонці, мають вдвічі більший ризик смертності від серцево-судинних захворювань порівняно з тими, хто найбільше буває на сонці, і що денні інфаркти міокарда зменшуються із збільшенням сонячного світла влітку [13].

Виявлено, що пригнічення ультрафіолетового випромінювання (УФР) сприяє зменшенню ожиріння та розвитку діабету 2 типу на мишачій моделі [13].

Ці результати доповнюють експериментальні докази, отримані за допомогою генетичних моделей, що підтверджують участь NO у розвитку

метаболічного синдрому. Це також вказує на можливість використання сонячного світла як ефективного засобу придушення ожиріння та метаболічного синдрому, незалежно від вітаміну D.

Деякі дослідження показали, що ризик метаболічного синдрому збільшується на 64% при сироватковому рівні $25(\text{OH})\text{D} < 50$ нмоль/л порівняно з рівнем > 75 нмоль/л. Інше дослідження підтвердило зв'язок між низьким рівнем сироваткового $25(\text{OH})\text{D}$ та 35% збільшенням ризику розвитку діабету 2 типу протягом 29 років спостереження [13].

Опромінення сонячними променями може впливати не лише на діабет 2-го типу, але і на діабет 1-го типу. За останні десятиліття спостерігається глобальне зростання захворюваності на цукровий діабет 1-го типу [22], що свідчить про важливість впливу різних факторів, зокрема недостатнього перебування на сонці [13].

Виявлено, що люди з низьким рівнем вітаміну D (менше 25 нмоль/л) мають збільшений ризик загальної деменції на 125% та ризику захворювання Альцгеймера на 122% у порівнянні з тими, у кого рівень вітаміну D в сироватці перевищує 50 нмоль/л. Було виявлено, що дефіцит вітаміну D в їжі щурів сприяє значному окислювальному стресу в мозку, що може призводити до зниження когнітивних функцій. Ці висновки підтверджують ідею про зв'язок між окисно-відновним станом та рівнем вітаміну D у мозку а, можливо, і на рівні всього організму [13].

Внутрішньоутробний дефіцит вітаміну D пов'язаний з рядом подальших порушень розвитку нервової системи, включаючи проблеми з мовою та когнітивним розвитком у нащадків. Дослідження показали, що у новонароджених та вагітних матерів, особливо в середньому терміні вагітності, низькі сироваткові концентрації $25(\text{OH})\text{D} < 25$ нмоль/л відносно > 50 нмоль/л пов'язані зі збільшенням ризику аутизму у дитини на 142% [13].

Додаткові дослідження свідчать про механізми, що пов'язують дефіцит вітаміну D і метаболічні процеси з аномальним розвитком мозку. Активна форма вітаміну D ($1,25(\text{OH})\text{D}$) впливає на функцію потенціалзалежних кальцієвих

каналів. Відомо, що варіанти генів, які кодують субодиниці цих каналів, пов'язані з ризиком розвитку як шизофренії, так і аутизму [13].

Додатково було виявлено, що захворюваність на астму зросла паралельно із тимчасовим збільшенням дефіциту вітаміну D. Рівень сироваткового 25(OH)D менше 50 нмоль/л у дитинстві був позитивно пов'язаний з підвищеним ризиком астми або хрипів, а рівень 25(OH)D у сироватці крові матері менше 50 нмоль/л на 16–18 тижні порівняно з > 75 нмоль/л був пов'язаний зі зниженою функцією легень у дітей у віці шести років [13].

Розсіяний склероз (РС) стає предметом серйозного дослідження через високий рівень 25(OH)D у сироватці крові та недостатнє перебування на сонці, які вважаються потенційними факторами ризику. Дослідження вказують на те, що сироватковий рівень 25(OH)D > 100 нмоль/л пов'язаний із 50–60% зниженням ризику РС порівняно з рівнем < 50 нмоль/л. З іншого боку, рівень 25(OH)D < 30 нмоль/л порівняно з > 50 нмоль/л асоціюється із подвоєнням ризику РС [13, 16].

Проблема міопії актуальна на глобальному рівні, особливо в Східній та Південно-Східній Азії. Поза необхідністю коригувальних лінз, міопія також збільшує ризик відшарування сітківки та може вести до сліпоти. Дослідження показують, що час, проведений на відкритому повітрі, зменшує ризик короткозорості [16]. Додаткові дослідження, проведені в численних європейських країнах, дійшли висновку, що збільшення опромінення УФВ пов'язане зі зменшенням виникнення короткозорості, особливо в дитинстві та молодому віці [13].

Світло, крім позитивного впливу, може мати і негативні наслідки для здоров'я. Один із можливих ризиків - це розвиток меланоми, яка виникає з меланоцитів, що є клітинами епідермісу і відповідають за вироблення пігменту. Плоскоклітинна карцинома та базальноклітинний рак виникають з кератиноцитів, що є більшістю епідермальних клітин. Хоча більшість раку шкіри це рак кератиноцитів, меланома є найбільшою загрозою серед усіх форм раку шкіри. Останні дослідження підтверджують, що "сонячна радіація призводить до розвитку злоякісних утворень - меланоми шкіри, плоскоклітинного раку шкіри

та базальноклітинного раку шкіри" [13]. Таким чином, існує мало сумнівів у тому, що сонячне опромінення є основною причиною розвитку патологій шкіри.

В свою чергу, епідеміологічні дослідження визначають сонячні опіки як сильний фактор ризику розвитку меланоми. Є також свідчення біологічних механізмів, які пояснюють важливість сонячних опіків у формуванні деяких меланом. Епідермальні меланоцити, як правило, не реплікуються [13], і можливо, для стимулювання їх реплікації необхідні саме сонячні опіки чи інші травми. Тільки під час поділу клітин «відремонтована» або «неправильно відремонтована» фото пошкоджена ДНК може перетворитися на потенційно ракові мутації.

Крім того, слід враховувати, що зір залежить від видимого випромінювання, яке досягає сітківки. Рогівка та інтраокулярна лінза взаємодіють з ультрафіолетовим випромінюванням, захищаючи сітківку в дорослих, але у дітей може статися пропущення певної кількості ультрафіолету. Деякі дослідження також показують вплив сонячного світла на зір, спричиняючи катаракту, фотокон'юнктивіт, птеригіум макули, а також дегенерацію сітківки. Це може також мати відношення до кон'юнктивальної та увеальної меланоми [13].

За останні три-чотири мільярди років, біологічні організми на Землі адаптувались до навколишнього середовища шляхом синхронізації змін у світловому середовищі. Відносна яскравість світла вдень, варіюючись від 10 000 до 100 000 люкс, і темряви вночі, коливаючись від 0,0001 до 0,5 люкс, стали каталізаторами формування програм обміну речовин та поведінкових змін. Біологічні ритми, чи то на рівні поведінкових реакцій, фізіологічних явищ чи молекулярних реакцій, демонструють властивість ритмічності для живих систем. Ця характеристика ритмів може охоплювати широкий спектр часових інтервалів, починаючи від мілісекунд нервових розрядів до річних ритмів сплячки. Класифікація біологічних ритмів включає ультрадіанні (менше 24 годин), циркадіанні (приблизно 24 години) та інфрадіанні (більше 24 години) ритми, і стає ключовим інструментом для розуміння та аналізу цих складних

адаптаційних процесів.

Ультрадiаннi ритми, визначенi як "короткочаснi ритми" з частотою менше 24 годин, вiд 20 хвилин до 6 годин, виконують невид'ємну роль у життєво важливих функцiях органiв. Цi ритми регулюють дихання, частоту серцевих скорочень, перистальтичну активнiсть шлунково-кишкового тракту, електричну активнiсть мозку, фiзiологiю сперми, терморегуляцiю, та iншi процеси.

Циркадний ритм описує 24-годиннi коливання бiологiчних процесiв, пов'язаних з добовим обертанням Землi та темним/свiтлим циклом. Рiзноманiтнi зовнiшнi подразники, такi як вплив свiтла та споживання їжi, вiдiграють домiнуючу роль у регуляцiї циркадних ритмiв, а цикл темно-свiтло є основним зовнiшнiм синхронiзатором цього ритму. Важливим елементом регуляцiї цього ритму є свiтловi сигнали, якi передаються завдяки мелансепину вiд ока до супрахiазматичного ядра гiпоталамуса через ретино-гiпоталамiчний тракт. Супрахiазматичне ядро гiпоталамуса має складну структуру з приблизно 10 000 нейронiв. Фактично, вiн виступає як центральний циркадний годинник, синхронiзуючи периферичнi годинники у клiтинах.

Перiод iнфрадiанних ритмiв, тривалiсть яких перевищує циркаднi ритми, може коливатися вiд декiлькох днiв до рокiв. Для бiологiчних систем характерними прикладами є менструацiя, сплячка, мiграцiя, розмноження, линька та iншi фiзiологiчнi явища. У менструальному циклi гонадотропiни гiпофiза (фолікулостимулюючий i лютеїнізуючий гормони) та гормони яєчникiв (естроген i прогестерон) демонструють iнфрадiанну ритмiчнiсть. Цi гормональнi змiни, що регулюють менструальний цикл у жiнок, також впливають на iншi фiзiологiчнi функцiї, зокрема на терморегуляцiю.

Сезоннi коливання спостерiгаються в аналітах, що регулюють мiнеральний обмiн кiсток, зокрема вiтаміну D, який залежить вiд сонячного свiтла. Iнтенсивнiсть сонячного свiтла рiзниться в усьому свiті залежно вiд географiчних широт i пiр року. Залежно вiд iнтенсивностi сонячного свiтла рiвнi 25-гiдроксивiтаміну D, кальцiю та паратгормону (ПТГ) коливаються протягом року. Iншими словами, концентрацiя 25-гiдроксивiтаміну D вища влітку i нижча

взимку, тоді як рівень ПТГ демонструє протилежну тенденцію. У випадку кальцію підвищений рівень спостерігається восени. Рівні ліпідів у сироватці/плазмі також можуть демонструвати сезонні коливання між зимою та літом. Наприклад, порівняно з літом, взимку рівень загального холестерину в сироватці крові та холестерину ліпопротеїдів низької щільності (ЛПНЩ) може підвищуватись, в той час як протилежна ситуація спостерігається щодо рівня холестерину ЛПНЩ.

Молекулярний механізм циркадної ритмічності базується на складних ауторегуляторних петлях зворотного зв'язку транскрипції та трансляції. Також, інфрадіанні ритми, з періодами довшими за 24 години, регулюють важливі функції, такі як менструація, міграція, сплячка, та інші. Сезонні коливання впливають на рівні вітаміну D та інших аналітів, залежно від інтенсивності сонячного світла. Порушення цих біоритмів, викликані факторами, такими як позмінна робота чи неправильне харчування, можуть призводити до серйозних проблем зі здоров'ям, таких як цукровий діабет, атеросклероз, рак порушення гормонального фону, циклів засипання і активності [23].

Щодо взаємодії світла із статевією функцією, зазначено, що тривалий вплив світла може призвести до серйозних порушень біологічних ритмів [24] і як наслідок порушує здорову роботу ендокринної системи, основним механізмом є пригнічення чутливості гіпоталамуса до гальмування естрогенами. За даними (Мамотенко А. В. та інших) було встановлено, що зміни загальної картини естрального циклу самиць-щурів, що утримувалися при різних умовах штучного освітлення, характеризуються збільшенням його тривалості, пролонгацією періодів еструсу і дієструсу. В основі змін у структурі естрального циклу, викликаного тривалим освітленням, є порушення циклічності секреції гонадотропних та статевих гормонів. Також було експериментально встановлено, що у самців-щурів, які піддавалися цілодобовому освітленню, спостерігалось зниження рівня тестостерону на 43,9% порівняно із контрольною групою, яка утримувалася в умовах природного освітлення та одночасне підвищення рівня естрадіолу в плазмі крові на 52,6%.

1.3 Штучне світло

Світлове забруднення є зростаючою глобальною проблемою, яка має сильний вплив на природні цикли світла, за яких відбувалась еволюція усього живого, наприклад добові, місячні та сезонні цикли [20], що призводить до чисельних фізіологічних та етологічних змін. Наразі величезні території нашої планети піддаються штучному освітленню від різних джерел, таких як вуличні ліхтарі, реклама, будівлі та автомобілі.

Штучне світло зазвичай є значно яскравішим, ніж природне освітлення, і може спричиняти дезадаптивні зміни у поведінці, яка адаптована до природних циклів освітлення. Наприклад, трофічні взаємодії та репродуктивна активність можуть страждати від впливу штучного світла, що може призводити до зниження фізичної форми та здоров'я індивідів. Зростаюча кількість наукових досліджень підтверджує, що види змінюють свою поведінку через штучне світло, включаючи пошук їжі, полювання, просторову орієнтацію та репродуктивну активність [20].

В сучасному і наповненому джерелами штучного освітлення світі, все частіше зустрічається так зване пошкодження світлом, що є результатом надмірного виробництва токсичних активних форм кисню, що призводить до фотохімічного пошкодження та апоптозу фоторецепторів та внутрішніх нейронів сітківки, таких як гангліозні клітини сітківки. Світлове пошкодження також може вплинути на світлочутливі гангліозні клітини сітківки, які відіграють ключову роль у фотозахопленні. Постійний і кумулятивний вплив високого рівня короткохвильового світла, що генерується світлодіодами, може призвести до змін у нейронах гіпокампу щурів. Поведінковий аналіз виявив порушення просторового навчання та пам'яті в цих щурів [25].

Синє світло, однак, має й позитивні властивості. Його також можна використовувати для лікування людських захворювань, якщо використовувати його у відповідних дозах, наприклад, світло довжини променів 290-310 нм використовуються для збільшення концентрації вітаміну D₃, наслідки дефіциту якого були широко описані вище. Помірне синє світло може бути корисним для

людей і використовуватись як ефективна «терапія яскравим світлом» у лікуванні депресії та біологічних ритмів [26]. Вплив яскравого світла рано вранці також може допомогти синхронізувати ритми людей у різних вікових групах [27, 28]. Також яскраве світло використовується при лікуванні сезонного афективного розладу, ефективний при ресинхронізації ритмів у пацієнтів з діагнозом синдрому дефіциту уваги та гіперактивності, вечірній хронотип і проблеми зі сном [24, 29, 30].

Освітленість сітківки зменшується з віком, наприклад, через міоз зіниці. Тому слабе освітлення, особливо відсутність блакитного спектру, може викликати порушення циркадних та інших біологічних ритмів. Вирішенням проблеми є збільшення синього діапазону штучного світла, що може покращити продуктивність і здатність до навчання школярів і працівників, котрі працюють у приміщенні, а також покращить здоров'я пацієнтів, які перебувають у будинках престарілих чи лікарнях [31].

Одним із методів лікування багатьох поширених шкірних захворювань є фототерапія. Ефект залежить від довжини хвилі, частоти та механізму дії світла, а також від часу опромінення та дози. Спектр випромінювання включає інфрачервоне випромінювання (ІЧ, 760–1000 нм), видиме світло (400–760 нм) та ультрафіолетове випромінювання (УФ, 280–400 нм). [32]. Синє світло продемонструвало покращення в лікуванні акне, особливо при запальних ураженнях і себорей [33]. Незважаючи на численні переваги УФ-лікування, існують деякі занепокоєння щодо його тривалого використання, оскільки це може призвести до канцерогенезу та старіння шкіри [32]. Безпечне використання синього світла вимагає застосування легко керованого, точного пристрою, який випромінює світло в певному спектрі з заданою інтенсивністю і дотримання відповідних протоколів щодо тривалості стимулювання тканин, щоб не завдати шкоди [34].

Однак в останні роки було запропоновано, що широкий спектр світла, що охоплює всі кольори світла, і поляризація можуть стати ключовими елементами в світлотерапії [35].

Основа фототерапії передбачає використання світла для індукції фізіологічних змін в цільовій тканині з подальшим терапевтичним ефектом. Існує кілька типів фототерапії, які відрізняються за конкретними фізичними властивостями використовуваного світла. Світлодіодні джерела мають вузький спектральний діапазон і не випромінюють поляризоване світло. Лазерні апарати створюють потік поляризованого світла достатньої потужності, але дуже вузький спектральний діапазон, а також мають малу площу світлової плями, що запускає біологічні відповіді, специфічні саме для такого діапазону.

Одним із методів світлотерапії є пайлер-терапія – лікувальне з використанням поляризованого поліхроматичного некогерентного світла з низькою інтенсивністю випромінювання світла видимого та інфрачервоного спектра, який формується за допомогою спеціальних джерел з відображенням світла в оригінальному багатошаровому поляризаційному дзеркалі, що призводить до поляризації оптичного випромінювання. Поляризоване світло відрізняється від інших форм фототерапії, оскільки він використовує набагато ширший діапазон довжин хвиль.

Подібно до лазерного світла, поляризоване некогерентне світло має високий ступінь поляризації (більше 95%), що робить його більш концентрованим і в біологічному відношенні більш ефективним. У цьому, на відміну лазерного випромінювання, це світло – некогерентний, тобто хвилі світла не синхронізовані по фазі, тому енергетичне навантаження на шкіру при лікуванні невелике.

Поляризована світлотерапія, відома також як пайлер-терапія, є методом лікування, що використовує поляризоване поліхроматичне некогерентне світло з низькою інтенсивністю випромінювання, охоплюючи видимий та інфрачервоний спектр. Це світло створюється за допомогою спеціальних джерел, які використовують багатошарове поляризаційне дзеркало для формування поляризованого оптичного випромінювання. Основана відмінність пайлер-світла від інших методів світлотерапії в тому, що він використовує більший діапазон довжин хвиль. Ступінь поляризації в пайлер-світлі дорівнює 95%, що робить

його більш концентрованим та ефективним у біологічному відношенні. Оскільки це світло є некогерентним, його енергетичне навантаження на шкіру під час лікування є невеликим, відзначаючись високою безпекою.

Завдяки інфрачервоному спектру, поляризоване світло проникає глибоко в тканини на відстань до 2,5 см. Біологічна реакція може відбуватися лише тоді, коли квант світла поглинається. Під час взаємодії з тканинами, частина випромінювання відбивається, а решта поглинається. Проникаючи в шкіру, світло спричиняє різноманітні фотоефекти, такі як електролітична дисоціація молекул та інші, що впливають на електропровідність та електронне збудження біомолекул. Енергія поглинутих квантів в біологічні молекули змінюють свій енергетичний стан. Це дає змогу діяти узгоджено з численними ферментами в живих клітинах і забезпечує їх обміну речовин, що має вирішальний вплив на процеси відновлення нормальних функцій організму [36].

Досліджено біостимулюючу дію поляризованого світла на мембрани, активізацію різноманітних клітинних ферментів, покращення тканинного дихання та метаболізму. Цей метод також сприяє змінам у формених елементах крові, підвищуючи продукцію імуноглобулінів та фагоцитарну активність, що сприяє антиінфекційному та протівірусному захисту організму.

Поляризоване світло активує регенераційні процеси, підвищує поглиблення кисню тканиною та стимулює вироблення аденозинтрифосфату (АТФ) в мітохондріях. Це призводить до збільшення біоенергетичного потенціалу клітин, підвищення швидкості кровотоку в тканинах та активації транспорту через судинну стінку. Таким чином, поліхроматична світлотерапія сприяє активізації метаболізму дерми, покращенню локального кровотоку та забезпеченню лімфодренажу великих ділянок тіла.

Покращення мікроциркуляції тканини сприяє зменшенню внутрішньоклітинного набряку при хронічному запаленні, а також зменшує здавлення периферичних нервових волокон. Під час стимулювання поляризованим світлом прилеглих до осередку запалення тканин відбувається стимуляція макрофагів. Продуктів аутолізу виводяться з осередку запалення за

рахунок інфрачервоного спектру, котрий розширює судини та підвищує проникність їх стінок.

Поляризоване світло також впливає на нервові закінчення та нервову систему в цілому, стимулюючи знеболюючий ефект та нормалізуючи електромагнітний каркас організму.

Виявилось, що під впливом поляризованого світла на локалізацію болю, больові системи головного мозку активізуються, що призводить до зменшення запального процесу, набряків, посилення мікроциркуляції та ін. Таким чином біологічна дія поляризованого світла проявляється при молекулярному, клітинному та системному рівнях [36].

Було досліджено фізіологічні та психофізіологічні ефекти різних діапазонів поляризованого наприклад, для червоного (лікування вітряної віспи, скарлатини, кору та деяких шкірних захворювань відомо ще з середніх віків). Позитивний вплив синього і фіолетового кольору доведено при лікуванні неврологічних захворювань, а зелений — для корекції психопатичних розладів. Червоний і жовтий компоненти дали цікаві результати в лікуванні апатичних та анемічних станів у дітей (збільшення еритроцитів, збільшення маси тіла, підвищення його активності та поліпшення настрою) [36].

За дії НПС (некогерентне поляризоване світло) підвищується енергетична активність клітинних мембран, основа яких складається з жирних кислот, які за рахунок енергії світла впорядковані і правильно вирівняні. За зниженої функції й у разі пошкодження клітини НПС послідовно відновлює весь ланцюг її функціонування- активує метаболічні процеси і продукцію ферментів клітинами, підвищує енергетичний потенціал мембрани, цілісність яких відновлюється вже через 30 хвилин. Стимулюються гуморальний та клітинний рівні імунного захисту. Проникаючи в глибину шкіри, поляризоване некогерентне світло нормалізує капілярний кровообіг, покращує живлення тканин, їх постачання киснем, зменшує набряки, а також безпосередньо впливає на нервові закінчення і нервові тканини.

Вважають, що механізм дії поляризованого світла проявляється локальним

відновленням функцій клітин шкіри, активацією капілярного кровообігу та рефлексогенних зон, протибольової системи мозку одночасно з корекцією процесу запалення, посиленням мікроциркуляції тощо. Таким чином, біологічна дія поляризованого світла проявляється на молекулярному, клітинному та системному рівнях.

Сила електричного поля лінійно-поляризованого світла змінює конформацію ліпідного бішару клітинних мембран, переорієнтуючи полярні головки ліпідів, переводячи структуру ліпідного бішару в більш упорядкований стан та модифікуючи ліпідно-білкові взаємини в мембрані. Конформаційні зміни ліпідного бішару мембран можуть впливати на всі біологічні функції останніх, включаючи «розпізнавання» антитіл, гормонів та інших біологічно активних речовин, регуляцію біохімічних клітинних процесів, активний та пасивний транспорт іонів та метаболітів, трансмісію та конверсію енергії (наприклад, окисного фосфорилування), передачу інформації. Таким чином, «біостимулюючий» ефект у зоні світлової аплікації, в основному, залежить від поляризованості світла та реалізується через його вплив на імунні процеси та енергоутворення в клітинах. Є багато підстав вважати, що цей механізм лежить в основі клінічної ефективності поляризованого світла, що впливає на поверхневі біологічні структури.

Лікування поранень за допомогою ПАЙЛЕР-світла в значній мірі активізує клітинні механізми захисту від бактерій, збільшуючи бактеріофагоцитоз, що реалізується нейтрофілами. Також воно включає інші рівні клітинного захисту, здійснювані плазматичними клітками, лімфоцитами і моноцитами. Була також виявлена мобілізація більш глибоких імунологічних гуморальних механізмів, включаючи активацію імунопротеїнів, таких як імуноглобуліни А, М, G, α 2-макроглобулін, трансферин, α 1-антитрипсин, α 1-ліпопротеїн. Був зроблений висновок, що застосування ПАЙЛЕР-світла можна розглядати як тригерний вплив на клітинні мембрани лейкоцитів, індукуючи ланцюг імунологічних реакцій, спрямованих на елімінацію бактерій та очищення рани.

Аналіз ефектів терапевтичних доз ПАЙЛЕР-світла у людини виявив

миттєве збільшення фагоцитозу (моноцитарного та нейтрофільного), накопичення бактеріцидних катіонних білків у гранулоцитах, а також поліпшення реологічних показників крові, здатності еритроцитів зв'язувати ліганди та кисень. Встановлено вплив ПАЙЛЕР-світла на механізми прискорення загоєння, зокрема - стимулювання міграції кератиноцитів та проліферацію фібробластів і ендотеліоцитів. Є дані, що застосування світла від ПАЙЛЕРу зменшує накопичення фіброзної тканини та сприяє зворотньому розвитку рубцевих змін під час загоєння ран, тобто його використання є ефективним навіть на третьому етапі раневого процесу.

Показано, що під впливом поляризованого світла в діапазоні 385-1700 нм через 2 хвилини після застосування на пояснично-крижову область, об'ємна швидкість кровотоку збільшувалась на 20–29% в тканинах, віддалених від зони освітлення — шкірі кистей рук. Це свідчило про поліпшення мікроциркуляції на системному рівні. Досягнувши максимуму через 30 хвилин (на 32–35%), вона зменшувалась через 24 години і знову зростала при повторних сеансах. Застосування світла на стопи відзначалося таким самим швидким збільшенням місцевого кровотоку з максимумом (на 41–47%) через 30 хвилин. Середній приріст кровотоку на регіональному і системному рівнях був подібним. Збільшення об'ємної швидкості кровотоку відбувалося на тлі зниження її чутливості до внутрішньошкірного введення за допомогою іонофорезу розчинів ацетилхоліну та нітрогліцерину. Це означає, що світло впливає як на ендотелій-залежну, так і ендотелій-незалежну вазодилатацію. Ступінь збільшення кровотоку через 2 хвилини після прямої та дистанційної дії світла перевищувала таку після внутрішньошкірного введення 0,1% розчину нітрогліцерину і була порівняна з величиною максимального збільшення після іонофорезу 0,3% розчину ацетилхоліну, хоча швидкість досягнення максимуму була меншою. За висновками авторів, світловий вплив ініціює появу ендогенних вазодилаторів, передусім оксиду азоту.

Застосування світла від ПАЙЛЕРу призводить до клінічного поліпшення ходу раневого процесу, підвищення мікроциркуляції та підвищення

імунологічної та неспецифічної резистентності. Залежно від фази, в якій знаходиться раневий процес, оптимальним часом для початку світлотерапії є період перед фіксацією стерильного бинта на рані, тобто одразу після накладання швів або після її очищення [37].

Загалом, поляризована світлотерапія активує численну кількість профілактичних та лікувальних ефектів: активізація процесів регенерації, пригнічення запалення, стимулює імунну систему (клітинну і гуморальну), , психотропна дія, збільшує абсорбційні властивості тканини щодо кисню, посилює загальні захисні властивості організму, використовується для загоєння ран і травм[35], застосовується при лікуванні atopічного дерматиту [38], використовують для полегшення станів опорно-рухового апарату, таких як синдром зап'ястного каналу і латеральний епіконділіт [39]. Є можливості посилення впливу інших методів фізіотерапія, медикаментозне лікування, психотерапія, реабілітація, поліпшення догляду за немовлятами, дошкільнят, матерів або людей похилого віку через призначення різних режимів світлолікування [36].

Що стосується практичного значення поляризаційного методу, його здатність вибирати балістичні фотони з дифузних дає початок спрощеним схемам оптичної медичної томографії порівняно з методами з роздільною здатністю в часі та забезпечує покращений контраст зображення та роздільну здатність, а також додаткову інформацію про будову, всмоктувальні включення і кровопостачання в тканинах.

На додаток до довгої та успішної історії поляриметрії як комплексного інструменту для дослідження різних матеріалів, її попередні досягнення включали характеристику прозорих суспензій бактерій і еритроцитів і дослідження чистих тканин, такі як рогівка ока, кришталик, і нервові волокна сітківки. Останнім часом ця стара галузь досліджень була значною мірою рушійною силою інновацій у технологіях вимірювання поляризації, обчислювальної техніки та перспектив широкого застосування в біомедицині. Поляризоване світло застосовується в оптичних системах для

покращення якості зображення та в екрануванні для підвищення видимості. ПАЙЛЕР-світло широко застосовується і в медицині, офтальмологи використовують для отримувати деталізовані зображення ока, підвищуючи точність діагностики різних захворювань, таких як глаукома чи катаракта. Також відзначається його застосування у хірургії для покращення візуалізації та зменшення ризику ускладнень під час операцій.

У косметології, поляризоване світло знайшло своє місце у процедурах фотоомолодження, редукції зморшок та підвищення еластичності шкіри. Його вплив на структуру колагену сприяє збереженню молодіжного вигляду шкіри, зменшуючи візуальні прояви старіння.

Апарати Біоптрон з успіхом застосовуються у дерматологічній практиці для лікування мікробних, вірусних та алергічних дерматитів, акне, фурункулів тощо.

Існує три моделі світлотерапевтичних апаратів : Біоптрон-компакт, Біоптрон-про, Біоптрон-2. Вони відрізняються лише діаметрами світлового променя. Фізичні характеристики світла однакові. Провідними біотропними параметрами ПАЙЛЕР-світла є поляризованість (до 95%), поліхроматичність (480-3400нм), некогерентність і низькоенергетична (40 мВт/см² з відстані 10 см). У базовому спектрі ПАЙЛЕР-світла ультрафіолетове випромінювання відсутнє, у зв'язку з чим їм можна впливати на слизову оболонку або рану.

Найбільш широко населення використовує Біоптрон-компакт, як зручний та найбільш доступний для придбання прилад. В основі механізму лікувальної дії лежать позитивні біофізичні ефекти, зокрема те, що пайлер-світло - це поляризоване, некогерентне, слабоінтенсивне свічення. Поляризованість світла зумовлює його кращу проникну здатність світлових електромагнітних хвиль у шкіру, судинні та нервові структури без супутніх ушкоджень. Низькоенергетичність світла означає постійну низьку щільність енергії, тобто немає біологічно руйнівної дії, зберігаються лише біостимулюючий та нормалізуючий терапевтичні ефекти.

Одним із приладів для створення поляризованого світла є Біоптрон.

Біоптрон широко використовується в Центральній та Східній Європі. Це неінвазивний, безпечний і економічно ефективний терапевтичний варіант для лікування ран, болю опорно-рухового апарату або дерматологічних розладів [1].

Система світлотерапії «Біоптрон» охоплює діапазон довжин хвиль від 480 до 3400 нм. Цей спектр містить видимий діапазон світла і частину інфрачервоного випромінювання. До складу електромагнітного спектра світла «Біоптрон» не входять ультрафіолетові промені. Світло «Біоптрон» має низьку щільність енергії, що складає в середньому $2,4 \text{ Дж/см}^2$, досягає ділянки впливу з постійною стійкою інтенсивністю. Питома потужність світла «Біоптрон» дорівнює приблизно 40 мВт/см^2 при дії з відстані 10 см. Ці властивості світла «Біоптрон» досягають впливу на клітини на глибині до 2,5 см під поверхнею шкіри. Під дією світла перепад температури шкіри становить 1°C і помітного нагрівання не виникає. Важливий аспект ефективності застосовуваного методу світлолікування складає некогерентність світла, тобто, на відміну від лазера, ділянки світлової хвилі не синхронізуються ні в просторовому, ні в часовому відношенні. Світло Біоптрон має так звану біостимулюючу дію: при нанесенні на шкіру воно стимулює вироблення колагену, еластину та інших світлочутливих внутрішньоклітинних біомолекул. За таких параметрів прилад може працювати з меншою інтенсивністю випромінювання [38].

Оскільки в світлі Bioptron немає ультрафіолетового випромінювання, відсутній ризик засмаги або опіків шкіри, такий чином його використання безпечне навіть вагітними жінками [39].

Опромінення Біоптроном посилює метаболізм у клітинах крові людини, впливаючи на їх виробництво цитокінів і стимулюючи імунну відповідь до протизапального/репаративного профілю на додаток до активації мітохондрій і зменшення болю [1]. Прилад довів ефективність при покращенні мікроциркуляції, регенерації тканин пародонта та у лікуванні періімплантатного мукозиту, зменшення запалення, а також зняття болю та стресу без будь-яких побічних ефектів [1].

Фізіотерапевти широко застосовують Bioptron для полегшення станів

опорно-рухового апарату, таких як синдром зап'ястного каналу і латеральний епікондиліт [39]. Прихильники та виробники пристроїв запропонували використовувати поляризоване світло при лікуванні болі, загоєнні ран, захворюваннях шкіри та запальний артрит. Попередні клінічні дані вказують на ефективність у лікуванні виразок шкіри, опіків, ушкоджень опорно-рухового апарату, а також хірургічних і незагойних ран. Також було експериментально доведено, що Біоптрон варто використовувати і у післяопераційний період, задля пришвидшення загоєння ран [39].

Прилади серії БІОПТРОН отримали сертифікацію як медичні прилади в країнах ЄС (згідно з Директивою 93/42 ЕЕС), підтверджені Управлінням контролю за продуктами та ліками (FDA), мають міжнародний сертифікат підтвердження якості ISO 9001 / 12.2000 від DEKRA ITS, сертифікат відповідності якості виробництва ISO. Сертифікат Гарантії якості (ENISO13485)

РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

На даний час вплив поляризованого світла на ембріональний розвиток птиці є малодослідженим, тому завданням наших досліджень було вияснити вплив поляризованого світла на ембріональний та постембріональний розвиток пташенят перепела. Для цього було відібрано породи Японського перепела (*Coturnix japonica*). Перепелині яйця для експерименту були обрані через їх швидший період розвитку ембріону та вилуплення порівняно з курячими або ж гусячими яйцями, що дозволило пришвидшити першу частину експерименту. Перевага була надана саме Японським перепелам оскільки ця порода відома своїм швидким розвитком, що було важливим факторами для нашої роботи. Було відібрано 80 яєць з яких було сформовано 4 групи, одна з яких контрольна, а решта експериментальні. Дослідження було проведено на базі кафедри Біофізики і фізіології Донецького національного університету Імені Василя Стуса. Для більш якісного дослідження впливу поляризованого світла на ембріон птахів, було сформовано чотири групи по 20 яєць в кожній. Кожна група піддавалась впливу поляризованого світла з різною інтенсивністю тривалістю в 5 хвилин: контрольна група не опромінювалась, друга група опромінювалась двічі на добу, третя група - один раз на добу, четверта група - тричі на добу. Після ретельного вивчення рекомендацій щодо використання Біоптрону в медицині та косметології був обраний 5 хвилинний режим опромінення з відстанню в 5 см від яйця для усіх груп.

Дослідження складалось з двох етапів, на першому етапі відбувалась інкубація перепелиних яєць, яка розпочалась 18.10.2023 о 9:00. Експеримент тривав 19 днів. Перший етап полягав у впливі поляризованим світлом на ембріональний розвиток пташенят, другий етап розпочався 05.11.2023 і тривав два тижні, під час цього етапу відбувався постембріональний розвиток, та визначення ефекту післядії на ембріони птахів.

Вплив поляризованим світлом здійснювався за допомогою спеціального пристрою Біоптрон компакт PAG-860 (рис. 2.1). Пристрій використовував природне поляризоване світло без світлофільтрів. Прилади серії БІОПТРОН

отримали сертифікацію як медичні прилади в країнах ЄС (згідно з Директивою 93/42 ЕЕС), підтверджені Управлінням контролю за продуктами та ліками (FDA), мають міжнародний сертифікат підтвердження якості ISO 9001 / 12.2000 від DEKRA ITS, сертифікат відповідності якості виробництва ISO. Сертифікат Гарантії якості (ENISO13485).



Рис. 2.1 Прилад Біоптрон

Для підвищення точності опромінення було власноруч створено конструкцію, яка забезпечувала постійне опромінення яйця на визначеній відстані та під прямим кутом, що показано на рис 2. 2.



Рис. 2.2 Конструкція для фіксації

Паралельно відбувався процес інкубації в інкубаторі моделі Теплуша Люкс 72 ІБ 220/50 ТА(В) NEW 2022 Turbo (рис. 2.3), що має вбудовані датчиками температури та вологості, а також з автоматичним переворотом яєць.

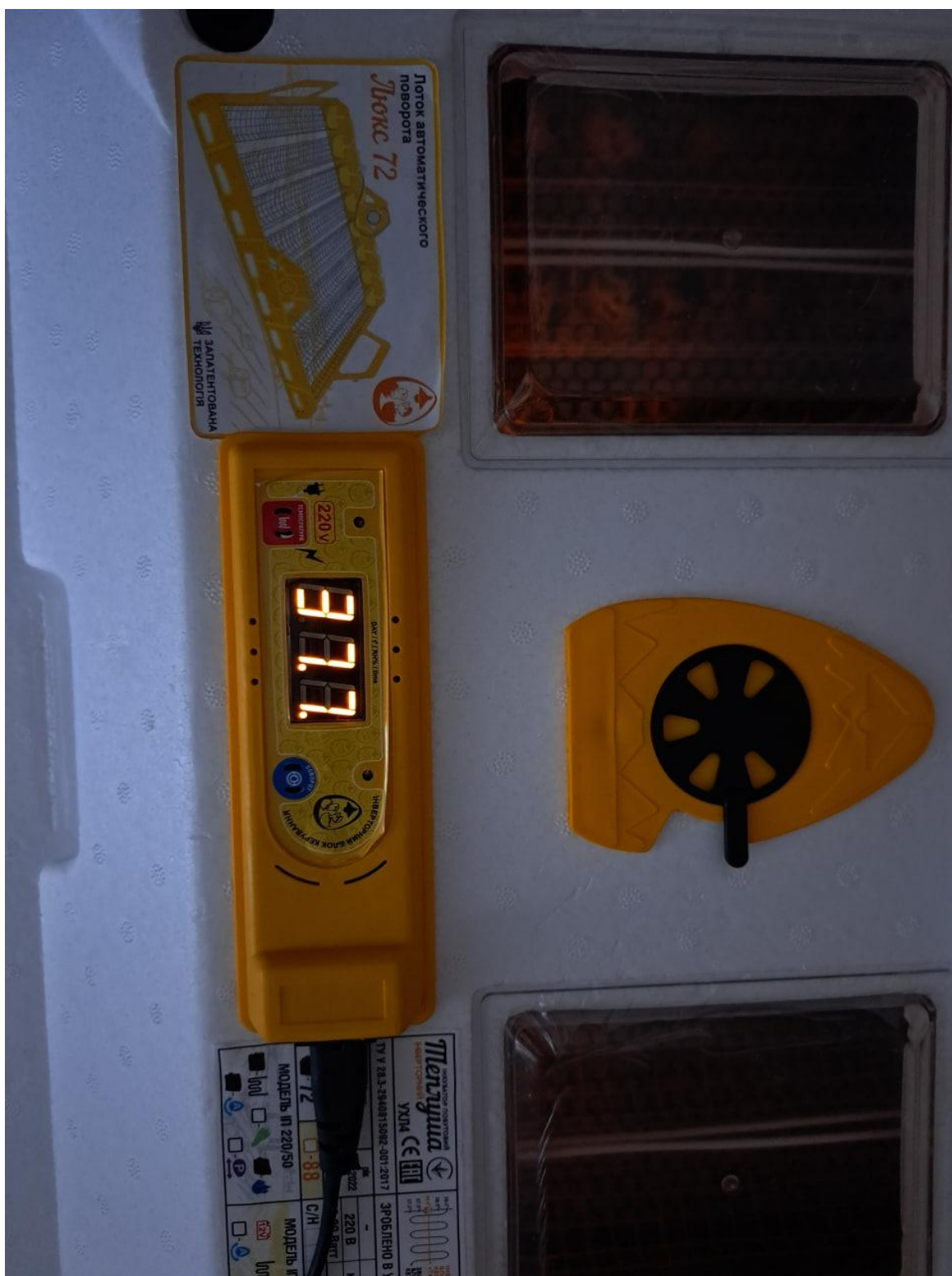


Рис. 2.3 Інкубатор Теплуша

Для утримання пташенят було обрано Брудер Ясла Теплуша (рис. 2.4), в якому утримувались пташенята протягом другої частини експерименту.



Рис. 2.4 Брудер для утримання пташенят

Інкубація перепелиних яєць починається з дезінфекції, мити їх не можна, оскільки так пошкодиться плівка на шкаралупі. Тому яйця було продезинфіковано за допомогою УФ-лампи. Лампа була встановлена на відстані 40 см від поверхні яєць. Тривалість опромінення становить 5 хв, під час опромінення яйця перевертались задля їх повного опромінення. Для дезінфекції яєць було використано УФ-лампу дезінфектор - стерилізатор для інкубаторів та яєць УФ 4 w.

Зважування проводилося кожні два дні протягом двох тижнів, для зважування використовувались ваги з максимальною шкалою вимірювання 500 г, з кроком 0,1 г.

Усі експериментальні процедури проводились згідно з норм Комітету з біоетики тварин Донецького національного університету імені Василя Стуса та відповідали директивам Європейської комісії (86/609/ЕЕС). Були докладені усі зусилля для зменшення страждання тварин, та для того, щоб мінімізувати їх кількість.

Виділяють два методи закладки перепелиних яєць, перший- вертикальний та другий горизонтальний, завдяки наявності в функціоналі інкубатора автоматичного перевороту яєць вибір припав на другий метод, а саме горизонтальної закладки.

За 4 годин до закладання яєць в інкубатор було продезінфіковано за допомогою 70 відсоткового етилового спирту, протирання відбувалось двічі. Після чого інкубатор було висушено.

Інкубаційний період перепілок триває приблизно 18-20 днів і умовно поділяється на три етапи. Кожен етап характеризується індивідуальними параметрами налаштування температури та вологості.

У дослідженні 2020 року, було виявлено, що температура вища, ніж $37,8^{\circ}\text{C}$ протягом другого тижня інкубації, може бути корисною для розвитку ембріона. Коли температура підвищується під час інкубації, метаболізм ембріонів посилюється, оскільки ембріони пташенят діють переважно як пойкилотерми, що свідчить про те, що ембріональний розвиток буде стимульований при вищій температурі, ніж $37,8^{\circ}\text{C}$. Для другого тижня інкубації це може бути правдою, але на третьому тижні інкубації було показано, що температура вища, ніж $37,8^{\circ}\text{C}$, негативно впливає на якість новонароджених пташенят і продуктивність після вилуплення. Пташенята, які вилупилися при температурі вище $37,8^{\circ}\text{C}$ під час пізньої інкубації, показали нижчу якість, про що свідчила менша довжина, більша кількість залишкового жовтка та менша вага різних органів відносно їхньої маси тіла. Крім того, було виявлено меншу продуктивність зростання у віці забою.

Тому можна припускати, що поєднання вищої температури на другому тижні та нижчої на третьому тижні інкубації може стимулювати розвиток ембріона та якість пташенят при виведенні у порівнянні з постійною температурою $37,8^{\circ}\text{C}$ під час інкубації [22].

Виходячи з результатів даного дослідження, ми обрали найоптимальніші температурні умови інкубації, а саме: 1 етап $37,7^{\circ}\text{C}$, 2 етап $37,9^{\circ}\text{C}$, 3 етап $37,6^{\circ}\text{C}$.

У перший етап, що триває від 1 до 7 днів, температура повітря становить $37,7^{\circ}\text{C}$, вологість повітря - 53-55%, яйця перевертаються кожні 4 години.

Починаючи з 4 дня яйця провітрюються 1 раз в день, це імітує поведінку матері в природі. Тривалість провітрювання 5 хв.

Другий етап триває 8-14 днів, температурні показники залишались на попередньому рівні 37,9°C, а вологість було зменшено до 47-50%, перевертання яєць відбувалось кожні 6 годин. Починаючи з 10-го дня провітрювання здійснювалось двічі на добу.

Під час останнього третього етапу 15-19 температура зменшується до 37,6°C, а задля полегшення прокльовування вологість збільшується до 65%, перевертання здійснюється кожні 12 годин. За день до появи пташенят перевертання яєць було вимкнено взагалі.

Після початку вилуплення пташенят, їх залишили в інкубаторі для висихання та обігріву, але шкарлупу було вибито одразу. Важливою умовою для отримання здорового потомства є чистота, тому рештки розбитих або невилуплених яєць було викинуто, адже підвищена температура та висока вологість призводять до швидкого поширення інфекцій.

Після народження на 2 тижні пташенята були переміщені у брудер, який був заздалегідь підготовлений та прогрітий до температури 36°C. Через 10 днів температуру в брудері знизили до 30°C. Освітлення в брудері було постійним протягом всього періоду утримання.

Харчування пташенят здійснювалось в перші дні п'ять разів на добу, для харчування використовувався промисловий корм Премікс «Сальвавіт», для молодняка перепелів, корм надавали в сухому вигляді. Воду пташенят наливали у спеціальні вакуумні поїлки, при цьому вода обов'язково кип'ятилася.

Оскільки пташенята з різних груп знаходилися в спільному брудері, для зручності їх були позначено різними кольорами. Для другої групи використовувалася рідина Кастеллані (червоний колір), для третьої групи - 1% розчин брильянтового зеленого (зелений колір), а для четвертої групи - 1% розчин метиленового синього (синій колір).

РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У сучасному світі роль сільського господарства у забезпеченні продовольства стає все більшою. Споживання м'яса птиці в Європі в середньому становить 28 кг на людину і цей показник зростає [31]. Перепелів розводять не тільки заради яєць і м'яса, перепели також відіграють важливу роль у виробництві вакцин шляхом вирощування вірусних частинок в алантоїсній рідині живих яєць, але найголовніше те, що пташенята стали особливо важливою моделлю для різноманітних досліджень, наприклад особливо актуально це стало після новаторського відкриття про те, що вплив світла на курячі яйця протягом періоду інкубації спричиняє розвиток зорової латералізації [20].

Тому дослідження, спрямовані на поліпшення якості та життєздатності птахів, набувають все більшого значення.

Ембріональний розвиток пташенят є однією з найскладніших і найбільш цікавих фаз в циклі життя птиці. Цей процес включає безліч змін в метаболізмі, морфології та фізіології, забезпечуючи птахам підготовку до самостійного життя після вилуплення.

З моменту запліднення і до вилуплення ембріон пташенят повністю залежить від поживних речовин, наявних у яйці. Метаболізм ембріона на кожному етапі інкубації змінюється в залежності від доступності субстратів і кисню.

У перший тиждень глюкоза є основним енергетичним субстратом, завдяки якому підтримується базовий метаболізм клітин. Цей процес відбувається за умов низького рівня кисню, оскільки кровоносна система та екстраембріональні мембрани ще не повністю сформовані. Гліколіз, основний метаболічний шлях на цій стадії, забезпечує перетворення глюкози на піруват з утворенням молочної кислоти.

Протягом другого тижня розвитку ембріональні мембрани стають функціонально активними, забезпечуючи адекватне постачання кисню. Ліпіди, зосереджені у жовтковому мішку, стають головним джерелом енергії. Вони метаболізуються через β -окислення, що забезпечує підвищену енергетичну

продуктивність для інтенсивного клітинного росту та розвитку органів. Глікоген, що накопичується в печінці й м'язах, стане критично важливим енергетичним резервом на останніх етапах інкубації.

Останній тиждень інкубації характеризується підготовкою до вилуплення. На 17-й день ембріон починає заковтувати амніотичну рідину, сприятливо впливаючи на накопичення глікогену. При розриві хоріоаллантоїсної мембрани на 19-й день надходження кисню зменшується, і метаболізм зміщується в сторону анаеробного катаболізму глюкози, що залежить від розпаду глікогену.

Екстрембріональні оболонки, до яких належать жовтковий мішок, амніон, хоріон та алантоїс, відіграють життєво важливу роль у забезпеченні ембріона поживними речовинами, захисті, диханні та збереженні метаболітів. Жовтковий мішок містить поживні речовини та важливі елементи, такі як білки, ліпіди, вуглеводи та мінерали. Крім цього, він є важливим місцем для синтезу клітин крові, особливо еритроцитів, які транспортують кисень до тканин ембріона. Поживні речовини з жовткового мішка доставляються до ембріональних клітин через ендоцитоз або специфічні транспортні механізми.

Амніон захищає ембріон, виділяючи амніотичну рідину, яка оберігає його від механічних та термічних пошкоджень, а також запобігає зневодненню. Амніотична рідина постачається до кінця інкубації, забезпечуючи розвиток шлунково-кишкового тракту в підготовці до зовнішнього харчування. Хоріон та алантоїс, розвиваються для підтримки дихання та видалення відходів. Хоріон забезпечує газообмін, тоді як алантоїс накопичує метаболічні відходи та теж бере участь в газообміні.

Завершальні етапи розвитку ембріона впливають на метаболізм та функціональні можливості організму, забезпечуючи підготовку до життя поза яйцем. Зменшення доступу кисню змінює метаболізм на анаеробний катаболізм глюкози. Це значить, що ембріон використовує свої запасені глікогенові резерви, продукуючи енергію через гліколіз. Лактат, який утворюється в процесі, транспортується до печінки для синтезу глюкози шляхом глюконеогенезу.

В процесі розвитку шлунково-кишкового тракту на останніх стадіях

інкубації ембріон починає заковтувати амніотичну рідину, що сприяє підготовці до зовнішнього харчування. Тканини шлунково-кишкового тракту починають виробляти необхідні ферменти, такі як дисахаридази, для перетравлення поживних речовин після вилуплення.

Гормональні зміни відіграють значну роль у регуляції метаболізму. Інсулін і глюкагон з підшлункової залози регулюють рівні глюкози та білково-ліпідного метаболізму. Інсулін сприяє синтезу глікогену, ліпідів та білків, тоді як глюкагон активує глікогеноліз та глюконеогенез.

Тироксин (T4) і трийодтиронін (T3) з щитовидної залози регулюють процеси термогенезу, ріст м'язів та мобілізацію енергетичних субстратів. Виникнення високих рівнів T3 і T4 незадовго до вилуплення готує організм до фізіологічної активності в зовнішньому середовищі.

Інсуліноподібні фактори росту (IGF-I та IGF-II) сприяють синтезу глікогену та білків у печінці та м'язах, а також регулюють ріст тканин ембріона.

Після вилуплення пташенята повинні швидко адаптуватися до нових умов життя та харчування. Вони можуть виживати до 48-72 годин без додаткового харчування, використовуючи залишкові запаси глікогену та поживні речовини з жовткового мішка. Цей період є критичним для адаптації їхніх систем травлення до екзогенного харчування. Швидке збільшення маси тіла та алометричний ріст шлунково-кишкового тракту сприяють швидкій адаптації до перетравлення зовнішньої їжі [40].

Весь процес інкубації та вилуплення спричиняє серйозний стрес, і дослідження показали, що стрес у ранньому віці може мати як короткостроковий, так і тривалий вплив на птахів. Наприклад, обмеження годівлі на ранньому етапі життя впливає на довгострокову масу Японські перепілки (*Coturnix japonica*) [38]. Було показано, що інші типи стресорів, такі як тепловий або стрес спричинений холодом, також призводять до пригніченого набору ваги. Деякі з цих ефектів можуть бути опосередковані ранніми початковими ефектами кортикостерону плазми на реактивність гіпоталамо-гіпофізарно-надниркової осі.

Не лише процес вилуплення, але й багато аспектів інкубації можуть бути потенційно стресовими для пташенят, що розвиваються. Наприклад, відносна вологість впливає на виводимість, масу пташенят та ембріональний розвиток. Крім того, можуть вплинути на період попереднього виведення птиці, такі фактори, як світло, шум, газообмін, а також механічні вібрації, спричинені, наприклад, транспортуванням [41].

Встановлено, що температура інкубації впливає на ембріональний розвиток і, як наслідок, на якість новонароджених пташенят, що в свою чергу має вплив на їхню продуктивність в подальшому житті [42]. Зміна температури яєць може мати прямі наслідки для розвитку птахів. Наприклад, дослідження лісових качок (*Aix sponsa*) виявили низку факторів, які позитивно корелюють з температурою інкубації, таких як успішність вилуплення, швидкість росту та ліпідної маси. У диких євразійських блакитних синиць (*Cyanistes caeruleus*) кладки, інкубовані при низькій температурі, мають меншу виводимість, подовжують час розвитку та менші пташенята, близькі до оперення [43].

Світло також є важливим фактором впливу на пташенят. Дослідження показали, що вплив світла під час інкубації викликає декілька форм поведінкової та нейроанатомічної латералізації, включаючи асиметрію супраоптичного перетину, перехрещеного тракту, що приводить до кожної півкулі проекції її іпсилатерального ока. Ці асиметрії присутні лише у пташенят, які вилупилися з яєць, інкубація яких була зі світлом, але не у пташенят, інкубація яких проводилась в темряві [44].

Також світло є важливим регулюючим фактором сезонного розмноження птахів, а саме коли є природні фотоперіодичні ознаки, але одомашнення та забезпечення їжею пташенят протягом року є важливими факторами, що змінюють ці біологічні ритми, які в основному регулюються фотоперіодом. Таким чином, ми спостерігаємо зменшену ролі фоторегуляції у життєдіяльності птиці [45].

Основним фактором життєвої стійкості породи є виживання пташенят після вилуплення. Особливо гострим цей період спостерігається протягом

перших двох тижнів після вилуплення. Одним із завдань нашої роботи було вивчити вплив поляризованого світла на вилуплення та життєздатність пташенят. Тому для перевірки цієї гіпотези ми виявили, як використання Біоптрону впливає на стійкість пташенят після вилуплення. Протягом двох тижнів ми обробляли яйця за допомогою Біоптрону, використовуючи різне дозування: один раз на добу, двічі і тричі. Отримані результати були наочно проілюстровані у таблиці 3.1, де були представлені відсотки народжуваності та смертності в кожній з груп. Цей етап дослідження дав нам можливість прийти до висновку про те, як вплинули різні моделі опромінення на якість та кількість пташенят, що вижили.

Таблиця 3.1 Результати народжуваності та смертності

Групи птахів	Відсоток народжуваності	Відсоток смертності
1 група	40%	25%
2 група	50%	0%
3 група	70%	22%
4 група	50%	0%

У результаті дослідження було виявлено, що контрольна група, яка не була опромінена, має відсоток народжуваності 40%. Друга група, яка опромінювалась двічі на добу протягом 5 хвилин, показала кращі результати порівняно з контрольною групою і має відсоток народжуваності 50%. Найбільша кількість вилуплених пташенят була в третій групі, що піддавалась опроміненню один раз на добу, з відсотком народжуваності 70%. Четверта група, яка піддавалась опроміненню тричі на добу, показала результатів народжуваності 50%.

Найбільш вражаючі результати було отримано в третій групі порівняно з контрольною, оскільки в ній вилупилось майже вдвічі більше пташенят, що свідчить про значний вплив опромінення Біоптроном на цей показник з відповідним дозуванням. Цікаво, що дослід не показав значної різниці між опроміненням двічі і тричі на добу, що може вказувати на те, що опромінення

такими дозами може покращувати інші аспекти, що і було доведено в подальшому.

Як було зазначено раніше, найбільш критичний період для пташенят це перші два тижні після народження. Тому ми провели дослідження, спостерігаючи за цим фактором протягом двох тижнів. Найстійкішими виявилися друга і четверта групи, де кількість особин залишалась стабільною, в той час як контрольна група мала відсоток смертності 25% протягом двох тижнів, а третя, що показала найкращу народжуваність, мала цей показник 22%. Дві групи, а саме друга і четверта, які не показали вражаючих результатів народжуваності, порівняно з третьою групою, відзначились стабільністю в показнику смертності, який протягом експерименту становив 0%, у порівнянні з третьою групою, де смертність була 22%. Навіть при такому відсотку третя група показала меншу смертність, порівняно з контрольною групою, де цей показник сягнув 25%.

Виходячи з отриманих даних можна зробити висновок, що поляризоване світло в дозах опромінення двічі і тричі на добу позитивно впливає на життєстійкість пташенят, при опроміненні такими дозами процент смертності становить 0%. Опромінення один раз на добу привело до вражаючої народжуваності пташенят, а саме 70%, але при цьому ми спостерігаємо досить високу смертність на рівні 22%, що може свідчити про те, що таке дозування недостатнє для забезпечення життєздатності пташенят. Контрольна група показала найгірші результати в аспекті народжуваності, а саме 40%, окрім цього вона виявилась лідером в показнику смертності, зі показником в 25%, що ще раз свідчить про позитивний вплив поляризованого світла на народжуваність та життєздатність пташенят, порівняно з групою, що не піддавалась опроміненню взагалі.

Як і ссавці, птахи дихають повітрям і є ендотермічними тваринами, що має переваги порівняно з іншими екзотермічними моделями. Наприклад, ферменти, зв'язувальні речовини та структурні білки пристосовані до високих температур. Різноманітні дисоційовані клітини та експланти курячих ембріонів можна

культивувати для вирішення важливих клітинних біологічних проблем [2].

Як було зазначено вище, є багато факторів впливу на розвиток птиці, наприклад температура, тиск, вологість, харчування, генетика, але ми вирішили дослідити вплив фактору поляризованого світла на ріст та розвиток пташенят. Ми досліджували, як опромінення поляризованим світлом у різних дозах - один раз на добу, двічі та тричі на добу, впливає на ріст та розвиток пташенят. Результати дослідження показали, що в деяких групах спостерігалось збільшення інтенсивності набору ваги порівняно з іншими групами, яке було продемонстровано у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 Середня вага пташенят

Місяць і дата	1 група	2 група	3 група	4 група
06.11.2023	9,7	11,3	10,1	9,8
08.11.2023	12	13,2	12,5	11,9
10.11.2023	16,4	17,7	15,3	17,2
12.11.2023	17,9	19,7	17,6	17,8
14.11.2023	21,5	25,7	21,9	23,7
16.11.2023	24,6	27,7	24,3	24,7
18.11.2023	26,6	29,3	26,1	27,5

Вперше вилуплення пташенят було зафіксовано 6 листопада, з того дня почалося регулярне зважування пташенят, яке в подальшому відбувалося кожні два дні. В результаті зважування була отримана середня вага, яка становила 9,7 г для першої групи, 11,3 г для другої групи, 10,1 г для третьої групи, 9,8 г для четвертої групи. Протягом періоду спостережень та вимірювань, група 1 показала значний приріст у вазі, що привело до кінцевого значення в 26,6 г. Розрахунки вказують, що кінцева вага становить практично втричі більше початкового показника, а саме 175,6%. Такий вражаючий приріст ваги зафіксований для групи 1, що не піддавалась опроміненню, свідчить про значний вплив додаткових факторів, що може стати підґрунтям для подальших досліджень.

З таким стрімким збільшенням ваги, контрольна група виявилася серед лідерів за показником збільшення маси тіла порівняно з початковим днем у нашому дослідженні, але перша група не стала фактичним лідером найбільшої маси тіла.

Друга група на початок дослідження мала середню масу тіла у розмірі 11,3 г 6 листопада, що є найбільшим результатом порівнюючи з рештою груп. Протягом періоду вимірювань група 2, яка опромінювалась двічі на добу, показала значне збільшення маси тіла, досягнувши кінцевого значення в 29,3 г.

Виявлено, що кінцева середня маса тіла пташенят в другій групі становила на 159,3% більше, ніж початкова маса тіла. Друга група лідирує за фактичною середньою масою в кінці дослідження - 29,3 г, порівняно з початковою масою 11,3 г. Однак, друга група не є лідером за відсотковим збільшенням кінцевої маси порівняно з першим днем, оскільки відсоток збільшення у першій групі склав 175,6%, тоді як у другої групи - 159,3%.

У третій групі початкова середня маса тіла пташенят становила 10,1 г на початок спостереження 6 листопада. Протягом періоду дослідження група 3 продемонструвала одні з найгірших показників збільшення маси, досягнувши кінцевого значення в 26,1 г. Кінцева середня маса пташенят в третій групі складає приблизно 158,6% від початкової маси, це помірні показники приросту в порівнянні з показниками контрольної групи - 175,6%.

З цим помірним приростом маси тіла, третя група відзначилася серед груп за одним із найнижчих показників збільшення маси тіла порівняно з початковим днем в рамках даного дослідження. Ці результати можуть вказувати на специфічний вплив опромінення чи на вплив невідомих нам факторів.

Четверта група станом на 06.Лис мала середню масу тіла пташенят в 9,8 г. Протягом періоду вимірювань група, що опромінювалась тричі проявила значний приріст в даному аспекті, досягнувши кінцевого значення 27,5 г.

Розрахунки показали, що кінцева середня маса пташенят четвертої групи становила практично 179,27% більше початкової маси. Цей вражаючий приріст свідчить про інтенсивні зміни в вазі пташенят четвертої групи протягом

дослідження. З таким стрімким збільшенням маси, група 4 виявилася лідером за показником збільшення середньої маси тіла пташенят порівняно з початковим.

У ході аналізу фактичної ваги першої та другої груп можна помітити, що кінцева вага другої групи, яка складає 29,3 г, перевищує вагу першої групи, що становить 26,6 г. Це дозволяє зробити висновок, що друга група, котра двічі опромінювалась на добу, має значний приріст маси тіла порівняно з першою, контрольно групою.

Маса другої групи більша маси першої на приблизно 2,7 г. Таким чином, маса пташенят в другій групі в середньому на 10% більша за масу пташенят в першій групі в рамках дослідження. Це підкреслює вагому різницю у масі тіла між першою та другою групами під час проведення досліду, але варто зазначити, що процент збільшення маси в першій групі більший ніж у другої і становить 175,6% порівняно із 159,29% в другій групі.

Фактична середня маса тіла пташенят третьої групи, яка становить 26,1 г, виявляється меншою за фактичну масу тіла пташенят першої групи, яка складає 26,6 г, і їх різниця складає 0,5 г.

Отже, третя група має вагу, яка в середньому на 1,8% менша за вагу першої групи в рамках дослідження. Таке порівняння ваги ставить під питання доцільність опромінення менше двох разів на добу.

Продовжуючи аналіз, ми отримуємо наступні дані:

Фактична вага четвертої групи, яка складає 27,5 г, виявляється більшою за фактичну вагу першої групи, яка становить 26,6 г. Фактична вага четвертої групи перевищує фактичну вагу першої групи на приблизно 0,9 г, що демонструє незначну, але перевагу групи, що опромінювалась тричі на добу над контрольною групою.

Отже, четверта група має вагу, яка на 3,38% більша за вагу першої групи в рамках дослідження.

Таким чином можна вважати що опромінення Біоптроном впливає на ріст та розвиток пташенят, причому інтенсивність залежить від кратності і найкращі результати фактичної маси тіла пташенят були отримані в другій групі при

опроміненні двічі на добу і склали 29,3 г, далі 4 група, що опромінювалась тричі із 27,5 г фактичною масою, контрольна група ж має фактичну середню масу в 26,6 г, а на останньому місці 3 група, що опромінювалась один раз на добу із результатом 26,1 г. Слід відмітити, що найкращі показники відносно першого дня у 4 групи з 179,3%, на другому місці контрольна група 175,6%, на третьому місці 2 група із 159,3%, а на останньому місці серед приросту порівняно із першим днем 3 група, результати якої склали 158,62%.

В доповнення Таблиця 3.2 представлено діаграму 3.1 на якій позначено зростання середньої маси тіла пташенят для кожної з груп, цікавим є те що, в усіх групах можна спостерігати спад набору для 12.11., та стрімкий ріст середньої маси 14.11., що було детально розглянуто в подальшому.

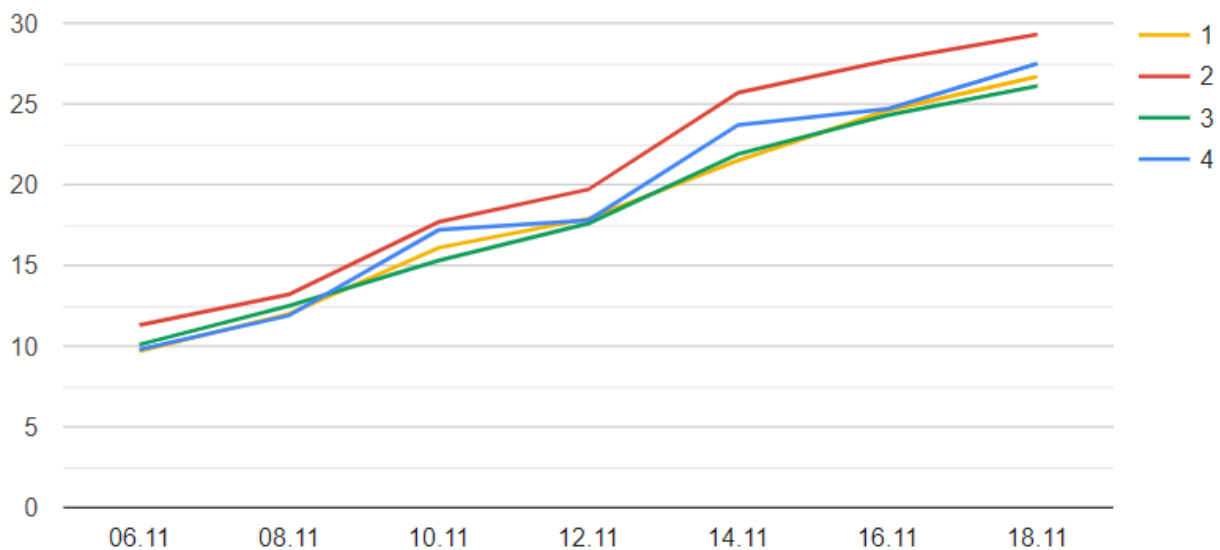


Рис. 3.1 Інтенсивність збільшення маси тіла пташенят протягом двох тижнів

1 - перша група; 2 - друга група; 3 - третя група; 4 - четверта група

Додатково до інтенсивності росту, ми вирішили визначити щоденне збільшення маси тіла у птиці в різних групах і отримав неочікуваний результат, що продемонстровані в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 Розрахунок набору маси тіла пташенят відносно середнього значення першого дня (06.11) у відсотках

Місяць і	1 групи	2 групи	3 групи	4 групи
----------	---------	---------	---------	---------

дата				
06.11.2023	0%	0%	0%	0%
08.11.2023	24,3%	16,6%	23,7%	21,3%
10.11.2023	70,3%	56%	51%	75%
12.11.2023	85,1%	74,5%	74,2%	80,9%
14.11.2023	122,3%	127,8%	116,8%	141%
16.11.2023	154,3%	143,1%	140,7%	151,4%
18.11.2023	175,8%	159,1%	158,7%	179,4%

З урахуванням даних з таблиці 3.3 можна відзначити стрімкий зріст маси тіла пташенят 10 листопада, що спостерігався у всіх групах. Наприклад, контрольна група показала значний приріст у 70,3% в порівнянні з першим днем, в той час як група, яка опромінювалась двічі на добу, зросла на 56%, група, що піддавалась опроміненню один раз на добу, показала збільшення ваги відносно першого дня на 51%, а група, що опромінювалась тричі, зросла на 75%.

Отже, ці дані свідчать про те, що 10 листопада відбулося значне збільшення середньої маси тіла пташенят у всіх групах, проте група 4 показує найбільше зростання порівняно з першим днем і має найвищий показники маси серед усіх груп. Група 1 також показує хороший результат, але менший, ніж у групи 4. Групи 2 і 3 показують менше зростання маси тіла порівняно з іншими групами, і вони відрізняються від першої групи менше, що свідчить про меншу динаміку змін у цих група.

Порівнюючи з іншими групами, лідером за збільшенням маси тіла пташенят 10 листопада виявилася група 4 з результатом 75%. На другому місці група 1 з показником 70,3%, яка суттєво випереджає групи 2 та 3. Група 2 з масою пташенят на 56% 10 листопада займає третє місце серед інших груп. Найнижчий результат продемонструвала група 3, де зростання середньої маси тіла пташенят склало лише 51% станом на 10 листопада відносно першого дня.

Отже, у порівнянні між групами 4, 1, 2 та 3 найбільш значущі результати продемонструвала група, що опромінювалась тричі з результатом 75%, після якої

йдуть контрольна група (70,3%), група, що опромінювалась двічі (56%) та група, що опромінювалась один раз (51%) відповідно.

Продовжуючи дослідження про збільшення маси відносно попередньої дати, а також різкі спади та зростання маси, нами проведено аналіз змін середньої маси тіла пташенят відносно попереднього дня, та отримано результати, які представлені у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 Збільшення маси тіла пташенят відносно попереднього дня

Місяць і дата	1 групи	2 групи	3 групи	4 групи
06.11.2023	0%	0%	0%	0%
08.11.2023	24,4%	16,6%	24,7%	21,3%
10.11.2023	36,9%	34,1%	21%	44,2%
12.11.2023	8,7%	11,5%	15,4%	3,4%
14.11.2023	20,1%	30,4%	24,4%	33,3%
16.11.2023	14,4%	7,5%	11%	4,3%
18.11.2023	8,1%	5,8%	7,4%	11,1%

Загалом аналізуючи таблицю 3.4 ми можемо спостерігати періодичне збільшення та зменшення маси тіла відносно попереднього дня, ці дані цікаві, адже вони спостерігаються в усіх групах. На другий день після народження спостерігався зріст ваги в межах 20-25% у всіх груп, за винятком групи 2, де цей показник становить 16,6%, що є найменшим результатом. Приріст маси тіла у другій групі (16,6%) у цей день був меншим у порівнянні з усіма іншими групами. Для наочності було порівняно другу групу з рештою. Ми отримали результати, що друга група (16,6%) у порівнянні з першою групою (24,4%) менша у 1,5 разів, у порівнянні з третьою групою (24,7%) друга група (16,6%) менша у 1,5 разів, а у порівнянні з четвертою групою (21,3%) друга група (16,6%) менша у 1,3 разів.

На четвертий день після народження відбулися різкі зміни в збільшенні маси тіла пташенят порівняно з попереднім днем. Для контрольної групи він

склав 36,9%, для групи, яка опромінювалася двічі - 34,1%, для групи, яка опромінювалася один раз - 21%, для групи, яка опромінювалася тричі - 44,2%. Для наочності ми порівняли дані збільшення маси тіла пташенят 10 листопада відносно попереднього дня усіх груп з контрольною і отримав такі дані: у першій групі зріст склав 36,9%, у другій - 34,1% (менше в 1 раз), у третій - 21% (менше у 1,7 разів), у четвертій - 44,2% (більше у 1,2 разів).

Продовжуючи тему різкого збільшення та зменшення маси тіла відносно попереднього дня, варто відзначити, що після стрімкого зростання 10 листопада стався такий же різкий спад. Наприклад, у першій групі 10 листопада зріст маси пташенят сягнув 36,7%, а 12 листопада знизився до 8,7%. Зростання 10 листопада відрізняється від зростання 12 листопада у 4,25 рази. Для другої групи ці показники складають: 10 листопада 34,1%, а 12 листопада 11,5%. Зростання 10 листопада відносно 12 листопада становить 2,96 рази. У третій групі 10 листопада спостерігались 21%, а 12 листопада - 15,4%. Різниця у зростанні становить 1,3 рази. Для четвертої групи 10 листопада зростання склало 44,2%, а 12 листопада - лише 3,3%. Різниця у зростанні маси тіла пташенят між цими двома датами складає 13,1 разів.

Отже, аналізуючи зміни у масі пташенят після стрімкого зростання на четвертий день після народження, можна відмітити, що найбільший спад спостерігався у четвертій групі, де зростання знизилося з 44,2% до 3,4%, що складає зменшення у 13,1 разів. Натомість найменший спад відбувся в третій групі, де зріст ваги змінився з 21% до 15,4%, що становить зниження у 1,3 разів.

Перша група, яку є контрольною групою, показала зростання маси тіла пташенят 10 листопада на рівні 36,9%. Однак уже через два дні, 12 листопада, цей показник кардинально впав до 8,7%. Це зменшення більш ніж у 4 виявилось найбільшим серед усіх груп. Друга група показала спад з 34,1% до 11,5%. Зменшення більш як у 2,9 рази також суттєве, спад був не настільки значний, як у 4 групи.

Цей ґрунтовний аналіз вказує на наявність додаткових факторів впливу, які є для мене невідомими, ці фактори вплинули на зменшення маси пташенят

відносно попереднього дня у кожній групі і цей вплив був досить суттєвим, що може бути підставами для майбутніх досліджень.

На восьмий день після народження в усіх групах пташенят- раптове збільшення їх маси тіла. У першій групі збільшення склало 20,1%. У другій групі цей показник становив 30,4%. Маса пташенят у третій групі збільшилась на 24,4%, а в четвертій групі збільшення становило 33,3%. Найбільше збільшення маси тіла ми спостерігаємо у четвертій групі, що склало 33,3%, а найменше - у першій групі зі значенням 20,1%.

Друга група показала найвищий показник збільшення у вагу на 30,4%, що є близько в 1,5 рази більше, ніж у першій групі. Третя група також продемонструвала високе збільшення на 24,4%, що приблизно в 1,2 рази більше, ніж у першій групі. Четверта група виявилася лідером, показавши результат у 33,3%, що на 1,6 разів більше, ніж у першій групі.

Отже, у результаті дослідження виявлено, що група, яка опромінювалась тричі на добу, виявилася найбільш успішною у збільшенні маси тіла серед усіх груп пташенят. За два дні, 14 по 16 листопада, маса пташенят зазнала значних змін. В першій групі, маса станом на 14 листопада збільшилась на 20,1%, але слідом знизилася на 5,7% до 14,4% станом на 16 листопада, приблизно 1,4 разів. В другій групі маса виросла до 22,9% з 30,4% до 7,5%, досягнувши показника в 4 рази. Крім того, третя група показала збільшення ваги на 13,4% з 24,4% до 11%, що складає 2,2 раз. Однак, найбільші зміни ваги були виявлені в четвертій групі, де вага спочатку була 33,3%, але різко впала до 4,3%, що представляє різницю 28,9% та вказує на спад у 7,7 раз.

Аналізуючи дані з таблиці про зміни ваги для кожної групи протягом періоду з 16 до 18 листопада, можемо спостерігати цікаві патерни та тенденції. Виявлені зміни маси тіла в першій групі показують значний спад відсотків з 14,4% (16 листопада) до 8,1% (18 листопада), що відображає падіння у 1,8 рази. У другій групі спостерігалось невелике зменшення ваги від 7,5% (16 листопада) до 5,8% (18 листопада), що відповідає зменшенню на 1,3 рази. Група 3 також демонструвала тенденцію до зменшення ваги, з 11% (16 листопада) до 7,4% (18

листопада), що у 1,5 рази менше. З іншого боку, у четвертій групі ми спостерігаємо значне збільшення ваги від 4,3% (16 листопада) до 11,1% (18 листопада), що в 2,6 рази більше. Група 4, яка опромінювалася тричі на день, єдина серед груп, яка показала збільшення ваги у порівнянні з попереднім днем 18 листопада. Варто зауважити, що збільшення ваги 16 числа в четвертій групі було найменшим у порівнянні з іншими групами.

Загалом, аналіз змін маси тіла пташенят в цих групах протягом двотижневого періоду спостереження вказує на різноманітні тенденції у зміні маси пташенят, що може відображати додаткові фактори, що впливають на кожну групу, що в подальшому може стати підставою для проведення додаткових досліджень з визначення цих факторів.

ВИСНОВКИ

Основним фактором екологічного успіху будь-якого виду рослин і тварин є їх здатність до виживання в умовах перших критичних тижнів життя. Метою нашої роботи було дослідити як різні дози опромінення поляризованим некогерентним світлом можуть вплинути на ембріональний та постембріональний періоди у пташенят перепела.

В результаті нашого дослідження, було виявлено, що поляризоване світло значно впливає на виживання та народжуваність пташенят. Контрольна група, що не піддавалась опроміненню, мала показала найменший відсоток народжуваності, а саме 40%, при цьому смертність становила 25%. У той час група, що опромінювалась один раз на добу, показала найвищий відсоток народжуваності – 70%, однак, і високу смертність – 22%. Найкращі результати в аспекті виживання та стабільності спостерігалися у групах, які піддавались опроміненню двічі та тричі на добу - 50% народжуваності при нульовій смертності. Це свідчить про суттєвий позитивний вплив поляризованого світла на ці показники.

Дослідження також показало, що поляризоване світло впливає на ріст пташенят. Середня маса тіла у групах, що піддавались опроміненню, була вищою у порівнянні з контрольною групою. Група, що опромінювалась двічі на добу, досягла найбільшої середньої маси пташенят – 29,3 г. Група, яка отримувала опромінення тричі на добу, показала трохи менший результат – 27,5 г, проте контрольна група відзначилася найбільшим відсотковим приростом маси тіла відносно початкових показників – 179,3%.

Водночас важливо відзначити, що щоденні зміни ваги пташенят виявили цікаві патерни. Усі групи мали значне зростання маси тіла пташенят на 4 день після народження, але на 6 день після народження темп приросту значно сповільнився. На 8 день після народження було зафіксовано ще один піковий приріст маси в усіх групах, але на 10 день після народження знову спостерігалось зниження, за винятком четвертої групи, де вага зросла і на 12 день після народження продовжила зростати теж, на відміну від решти груп. Це явище може

вказувати на складні механізми адаптації пташенят до зовнішніх умов, які потребують подальших досліджень.

Таким чином, експеримент виявив, що опромінення поляризованим світлом двічі на добу протягом 5 хвилин є найбільш ефективним методом для досягнення оптимальних результатів у рості та життєстійкості пташенят, що може бути рекомендовано для використання у птахівництві.

Виявлені тенденції підкреслюють необхідність подальших досліджень для розуміння точного впливу всіх можливих факторів та оптимізації підходів до опромінення.

Загалом поляризоване некогерентне світло показало себе як вагомий інструмент у підвищенні ефективності вирощування пташенят і результати нашого дослідження підтверджує це твердження. Звісно, необхідні подальші дослідження, задля більш детального вивчення взаємодії факторів впливу та створити найкращі методики для досягнення максимальних результатів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Nardi G. M., Mazur M., Papa G., Petruzzi M., Grassi F. R., Grassi R. Treatment of Peri-Implant Mucositis with Standard of Care and Bioptron Hyperlight Therapy: A Randomized Clinical Trial. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022. 19(9). 5682. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095682/>.
2. Costa M. L., Jurberg A. D., Mermelstein C. The Role of Embryonic Chick Muscle Cell Culture in the Study of Skeletal Myogenesis. *Front Physiol*. 2021. 12. 668600. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.668600>.
3. Muscogiuri G., Barrea L., Scannapieco M., Di Somma C., Scacchi M., Aimaretti G., et al. The lullaby of the sun: the role of vitamin D in sleep disturbance. *Journal of Sleep Medicine*. 2019. 54. P. 262–265. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2018.10.033>.
4. Geisler A. N., Austin E., Nguyen J., Hamzavi I., Jagdeo J., Lim H. W. Visible light. Part II: Photoprotection against visible and ultraviolet light. *Journal of the American Academy of Dermatology*. 2021. 84(5). P. 1233–1244. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2020.11.074>.
5. Latic N., Erben R. G. Vitamin D and Cardiovascular Disease, with Emphasis on Hypertension, Atherosclerosis, and Heart Failure. *Journal of Molecular Sciences*. 2020. 21(18). 6483. <https://doi.org/10.3390/ijms21186483>.
6. Рудишин С. Д. Біогеохімія з основами екології. Дніпро : ФОП Середняк Т. К., 2023. С. 320.
7. Cuéllar-Cruz M. Influence of Abiotic Factors in the Chemical Origin of Life: Biomorphs as a Study Model. *ACS Omega*. 2021. 6(13). P. 8754–8763. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c00497>.
8. Мудрак О. В., Слепцова І. В. Особливості впливу біотичних чинників середовища на організм ссавців. *Агроекологічний журнал*. 2022. №3. С. 160–166. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2022.266421>.
9. Gouveia D., Almunia C., Cogne Y., Pible O., Degli-Esposti D., Salvador A., et al. Ecotoxicoproteomics: A decade of progress in our understanding of

anthropogenic impact on the environment. *Journal Proteomics*. 2019. 198. P. 66–77. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2018.12.001>.

10. Полінкевич Ю. Ю. Світло та його роль у водоймах. *Сучасні технології у тваринництві та рибальстві: навколишнє середовище - виробництво продукції - екологічні проблеми* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 25–26 бер. 2021 р. Київ, 2021. С. 71-73.

11. Cao K., Wan Y., Yusufu M., Wang N. Significance of outdoor time for myopia prevention: A systematic review and meta-analysis based on randomized controlled trials. *Journal Ophthalmic Research*. 2020. 63(2). P. 97–105. <https://doi.org/10.1159/000501937>.

12. Solano F. Photoprotection and Skin Pigmentation: Melanin-Related Molecules and Some Other New Agents Obtained from Natural Sources. *Molecules*. 2020. 25(7). 1537. <https://doi.org/10.3390/molecules25071537>.

13. Alfredsson L., Armstrong B. K., Butterfield D. A., Chowdhury R., de Gruijl F. R., Feelisch M., et al. Insufficient Sun Exposure Has Become a Real Public Health Problem. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. 17(14). 5014. <https://doi.org/10.3390/ijerph17145014>.

14. Das S., Hasan M. M., Mohsin M., Jeorge D. H., Rasul M. G., Khan A. R., et al. Sunlight, dietary habits, genetic polymorphisms and vitamin D deficiency in urban and rural infants of Bangladesh. *Scientific Reports*. 2022. 12(1). 3623. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07661-y>.

15. Заворотько Д. Дефіцит вітаміну D та його кореляція. Харків : видавництво НФаУ. 2023, 86 с.

16. Lucas R. M., Neale R. E., Madronich S., McKenzie R. L. Are current guidelines for sun protection optimal for health? Exploring the evidence. *Photochemical & Photobiological Sciences*. 2018. 17(12). 1964. <https://doi.org/10.1039/c7pp00374a>.

17. Марінкова А. І. Деякі медико-біологічні аспекти впливу променів сонця на організм людини. *Пріоритетні напрямки науки і технології розвитку* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 25–27 жовт. 2020 р. Київ, 2020. С.

123–127.

18. Merzon E., Tworowski D., Gorohovski A., Vinker S., Golan Cohen A., Green I., et al. Low plasma 25(OH) vitamin D level is associated with increased risk of COVID-19 infection: an Israeli population-based study. *Journal Federation of the European Biochemical Societies*. 2020. 287(17). P. 3693–3702. <https://doi.org/10.1111/febs.15495>.
19. Фартушок Н. В., Пиріг І. Ю., Думанчук Н. Я., Ткачук Л. І. Значення вітаміну D у попередженні респіраторних та вірусних інфекцій. *Сучасні тенденції розвитку освіти й науки проблеми та перспективи*. 2021. Випуск 9. Том 1. С. 167–173.
20. Wirz-Justice A., Skene D. J., Münch M. The relevance of daylight for humans. *Journal Biochemical Pharmacology*. 2021. 21(18). 6483. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2020.114304>.
21. Weller R. B., Wang Y., He J., Maddux F. W., Usvyat L., Zhang H., et al. Does Incident Solar Ultraviolet Radiation Lower Blood Pressure? *Journal of the American Heart Association*. 2020. 9(5). e013837. <https://doi.org/10.1161/JAHA.119.013837>.
22. Patterson C. C., Harjutsalo V., Rosenbauer J., Neu A., Cinek O., Skrivarhaug T., et al. Trends and cyclical variation in the incidence of childhood type 1 diabetes in 26 European centres in the 25 year period 1989-2013: a multicentre prospective registration study. *Diabetologia*. 2019. 62(3). P. 408–417. <https://doi.org/10.1007/s00125-018-4763-3>.
23. Coskun A., Zarepour A., Zarrabi A. Physiological Rhythms and Biological Variation of Biomolecules: The Road to Personalized Laboratory Medicine. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023. 24(7). 6275. <https://doi.org/10.3390/ijms24076275>.
24. Meléndez-Fernández O. H., Liu J. A., Nelson R. J. Circadian Rhythms Disrupted by Light at Night and Mistimed Food Intake Alter Hormonal Rhythms and Metabolism. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023. 24(4). 3392. <https://doi.org/10.3390/ijms24043392>.

25. Elgert C., Hopkins J., Kaitala A., Candolin U. Reproduction under light pollution: maladaptive response to spatial variation in artificial light in a glow-worm. *Proceedings: Biological Sciences*. 2020. 287(1931). 20200806. <https://doi.org/10.1098/rspb.2020.0806>.
26. Akansha E. O., Bui B. V., Ganeshrao S. B., Bakthavatchalam P., Gopalakrishnan S., Mattam S., et al. Blue-Light-Blocking Lenses Ameliorate Structural Alterations in the Rodent Hippocampus. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022. 19(19). 12922. <https://doi.org/10.3390/ijerph191912922>.
27. Shen J., Tower J. Effects of light on aging and longevity. *Ageing Research Reviews*. 2019. 100913. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2019.100913>.
28. Cibeira N., Maseda A., Lorenzo-López L., González-Abraldes I., López-López R., Rodríguez-Villamil J. L., et al. Bright Light Therapy in Older Adults with Moderate to Very Severe Dementia: Immediate Effects on Behavior, Mood, and Physiological Parameters. *Healthcare (Basel)*. 2021. 9(8). 1065. <https://doi.org/10.3390/healthcare9081065>.
29. Elliott J. E., McBride A. A., Balba N. M., Thomas S. V., Pattinson C. L., Morasco B. J., et al. Feasibility and preliminary efficacy for morning bright light therapy to improve sleep and plasma biomarkers in US Veterans with TBI. A prospective, open-label, single-arm trial. *PLoS One*. 2022. 17(4). e0262955. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262955>.
30. Geoffroy P. A., Schroder C. M., Reynaud E., Bourgin P. Efficacy of light therapy versus antidepressant drugs, and of the combination versus monotherapy, in major depressive episodes: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Medicine Reviews*. 2019. 48. 101213. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2019.101213>.
31. Wahl S., Engelhardt M., Schaupp P., Lappe C., Ivanov I. V. The inner clock-Blue light sets the human rhythm. *Journal of biophotonics*. 2019. 12(12). e201900102. <https://doi.org/10.1002/jbio.201900102>.
32. Zhang D., Leong A. S., McMullin G. Blue light therapy in the management of chronic wounds: a narrative review of its physiological basis and

clinical evidence. *Wounds*. 2023. 35(5). P. 91–98.
<https://doi.org/10.25270/wnds/22097>.

33. Sadowska M., Narbutt J., Lesiak A. Blue Light in Dermatology. *Life (Basel)*. 2021. 11(7). 670. <https://doi.org/10.3390/life11070670>.

34. Faulkner S. M., Bee P. E., Meyer N., Dijk D. J., Drake R. J. Light therapies to improve sleep in intrinsic circadian rhythm sleep disorders and neuro-psychiatric illness: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Medicine Reviews*. 2019. 46. P. 108–123. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2019.04.012>.

35. Feehan J., Tripodi N., Fraser S., Mikkelsen K., Thewlis A., Kiatos D., et al. Polarized light therapy: Shining a light on the mechanism underlying its immunomodulatory effects. *Journal of biophotonics*. 2020. 13(3). e201960177. <https://doi.org/10.1002/jbio.201960177>.

36. Гуляр С. А. Профілактика та допоміжне лікування гострих респіраторних захворювань дітей і дорослих за допомогою біотрон-пайлер-світла. *Медична інформатика та інженерія*. 2019. №4. С. 26–39. <https://doi.org/10.11603/mie.1996-1960.2019.4.11016>.

37. Гуляр С. А. Біоптрон-світлотерапія і ресурси її застосування в хірургії. *Фітобіологія та фотомедицина*. 2012. Т. 9. №1,2. С. 16–30.

38. Leguina-Ruzzi A., Raichura K. R., Tonks S. K., Kwabi S., Leitner C. Treatment of non-atopic dermatitis with polarized UV-free polychromatic light: A case report. *International Journal of Clinical Practice*. 2019. 9(3). 1161. <https://doi.org/10.4081/cp.2019.1161>.

39. Bahrami H., Moharrami A., Mirghaderi P., Mortazavi J. Low-Level Laser and Light Therapy After Total Knee Arthroplasty Improves Postoperative Pain and Functional Outcomes: A Three-Arm Randomized Clinical Trial. *Arthroplast Today*. 2022. 19. 101066. <https://doi.org/10.1016/j.artd.2022.10.016>.

40. Karin Amrein, Mario Scherkl, Magdalena Hoffmann, Stefan Neuwersch-Sommeregger, Markus Köstenberger, Adelina Tmava Berisha, Gennaro Martucci, Stefan Pilz and Oliver Malle. Vitamin D deficiency 2.0: an update on the current status worldwide. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2020. 74(11). P. 1498–1513.

<https://doi.org/10.1038/s41430-020-0558-y>.

41. Hedlund L., Jensen P. Incubation and hatching conditions of laying hen chicks explain a large part of the stress effects from commercial large-scale hatcheries. *Poultry Science*. 2021. 100(1). P. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.10.015>.

42. Wijnen H. J., Molenaar R., van Roovert-Reijrink I.A.M., van der Pol C.W., Kemp B., van den Brand H. Effects of incubation temperature pattern on broiler performance. *Poultry Science*. 2020. 99(8). P. 3897–3907. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.05.010>.

43. Page J. L, Nord A., Dominoni D. M, McCafferty D. J. Experimental warming during incubation improves cold tolerance of blue tit (*Cyanistes caeruleus*) chicks. *Journal of Experimental Biology*. 2022. 15. 225(10). <https://doi.org/10.1242/jeb.243933>.

44. Costalunga G., Kobylkov D., Rosa-Salva O., Vallortigara G., Mayer U. Light-incubation effects on lateralisation of single unit responses in the visual Wulst of domestic chicks. *Brain Structure and Function*. 2022. 227(2). P. 497–513. <https://doi.org/10.1007/s00429-021-02259-y>.

45. Sasha A. S., Bédécarrats G. Y. Diurnal and seasonal dynamics affecting egg production in meat chickens: A review of mechanisms associated with reproductive dysregulation. Bédécarrats. *Animal Reproduction Science*. 2020. 213. 106257 <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2019.106257>.