



ННЦ «ІНСТИТУТ БІОЛОГІЇ»
Київського національного університету імені Тараса
Шевченка

РАДІОБІОЛОГІЯ

д.б.н., професор кафедри
біофізики

Мартинюк Віктор Семенович



Київ
2014

© В.С. Мартинюк



РАДІОБІОЛОГІЯ



Кафедра Біофізики

- **Доза і основні одиниці вимірювання іонізуючого випромінювання. Основні типи дозових залежностей в радіобіології. Види опромінення. Гостре, пролонговане, фракціоноване, хронічне опромінення.**
- **Первинні механізми біологічної дії іонізуючого випромінювання. Пряма і непряма дія іонізуючої радіації. Радіоліз води і водних розчинів. Основні активні форми кисню, що утворюються при радіолізі води. Радіоліз органічних сполук.**



РАДІОБІОЛОГІЯ



Доза і основні одиниці вимірювання дози іонізуючого випромінювання

Доза випромінювання – це енергія іонізуючого випромінювання, що поглинається об'єктом у розрахунку на одиницю маси цього об'єкта.

Доза випромінювання – це основна величина, що визначає радіаційний вплив на фізичний або біологічний об'єкт.

Величина дози залежить від:

- виду випромінювання;
- інтенсивності;
- енергії частинок або фотонів;
- часу опромінення;
- елементного складу об'єкта.

У процесі опромінення доза з часом накопичується.

Поглинена доза в одиницю часу називається *потужністю дози*.



РАДІОБІОЛОГІЯ



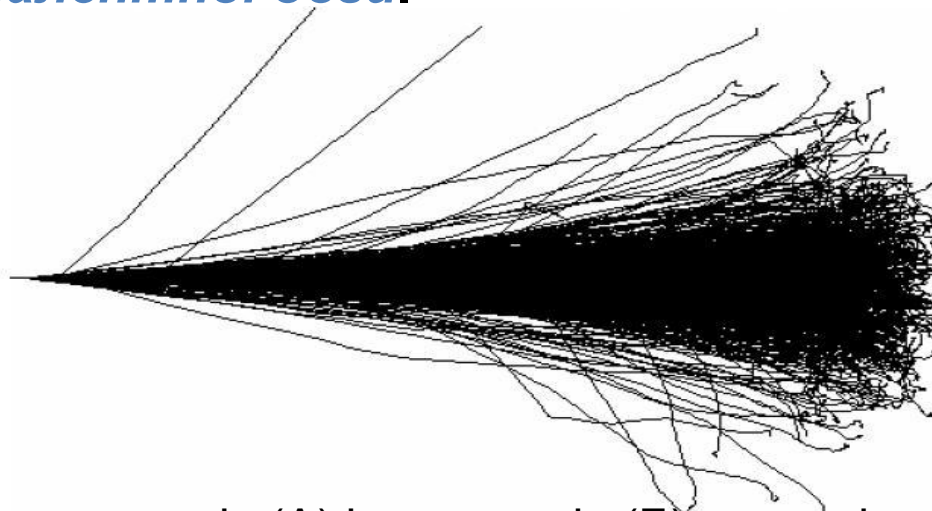
Експозиційна доза визначає іонізуючу здатність рентгенівських і гамма-променів і визначає енергію випромінювання, що перетворюється в кінетичну енергію заряджених частинок (іонів) в одиниці маси атмосферного повітря. В системі СІ одиницею вимірювання експозиційної дози є кулон, поділений на кілограм (Кл / кг).

Позасистемна одиниця - **рентген** (Р), $1 \text{ Кл/кг} = 3880 \text{ Рентген}$.

Поглинена доза показує кількість енергії випромінювання, що поглинається одиницею маси будь-якої речовини і визначається відношенням поглиненої енергії іонізуючого випромінювання до маси речовини.

За одиницю вимірювання поглиненої дози в системі СІ прийнятий **грей** (Гр). 1 Гр - це така доза, при якій масі 1 кг передається енергія іонізуючого випромінювання 1 Дж . Позасистемною одиницею поглиненої дози є **рад**. $1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$.

При однакових поглинених дозах різні види радіації чинять неоднаковий біологічний вплив на живі організми. Це обумовлено тим, що більш важка частинка (наприклад, протон) продукує на одиницю довжини шляху в тканини більше іонів, порівняно з легкими (наприклад, електрон). При одній і тій же поглиненої дозі радіобіологічний руйнівний ефект тим вище, чим щільніше іонізація. Щоб врахувати цей ефект, введено поняття *еквівалентної дози*.



Треки протонів (А) і електронів (Б) з енергією 1 МеВ в пластинці свинцю



РАДІОБІОЛОГІЯ



Еквівалентна доза відображає біологічний ефект опромінення. Це поглинена доза в органі чи тканині, помножена на коефіцієнт якості даного виду випромінювання, що відображає його здатність ушкоджувати тканини організму.

В одиницях системи СІ еквівалентна доза вимірюється в джоулях, нормованих на кілограм (Дж/кг) і має спеціальну назву - **зіверт** (Зв).

Величина 1 Зв дорівнює еквівалентній дозі будь-якого виду випромінювання, поглиненої в 1 кг біологічної тканини і викликає такий же біологічний ефект, як і поглинена доза в 1 Гр фотонного випромінювання.

Раніше використовували позасистемну одиницю - **бер** (1 бер = 0,01 Зв) .



РАДІОБІОЛОГІЯ



Еквівалентна доза розраховується шляхом множення значення поглиненої дози на спеціальний коефіцієнт - **коефіцієнт відносної біологічної ефективності (ВБЕ)** або **коефіцієнт якості**.

Вид випромінювання	Коефіцієнт ВБЕ
Рентгенівське і гамма-випромінювання	1
Бета-випромінювання	1
Нейтрони (менш 20 кеВ)	3
Нейтрони (менш 0.1-10 МеВ)	10
Протони (менш 10 МеВ)	10
Альфа-випромінювання (менш 10 МеВ)	20
Важкі ядра віддачі	20

Величина 1 Зв дорівнює еквівалентній дозі будь-якого виду випромінювання, поглиненої в 1 кг біологічної тканини і викликає такий же біологічний ефект, як і поглинена доза в 1 Гр фотонного випромінювання.



РАДІОБІОЛОГІЯ



Ефективна доза – це величина, що використовується як міра ризику виникнення віддалених наслідків опромінення всього тіла людини та окремих його органів і тканин з урахуванням їх радіочутливості.

Ефективна доза розраховується як сума добутків еквівалентної дози в органах і тканинах на відповідні вагові коефіцієнти.

Зважені коефіцієнти встановлюють емпірично і розраховують таким чином, щоб їх сума для всього організму становила одиницю.

Одиниці виміру ефективної дози збігаються з одиницями вимірювання еквівалентної дози. Вона також вимірюється в **зівертах** або **берах**.



РАДІОБІОЛОГІЯ



Зважені коефіцієнти встановлюють емпірично і розраховують таким чином, щоб їх сума для всього організму становила одиницю.

Тканина або орган	Коефіцієнт
Гонади	0,2
Кістковий мозок	0,12
Товстий кишечник	0,12
Шлунок	0,12
Легені	0,12
Сечовий міхур	0,05
Печінка	0,05
Стравохід	0,05
Щитовидна залоза	0,05
Шкіра	0,01
Клітини кісткових поверхонь	0,01
Головний мозок	0,025
Інші тканини	0,05



РАДІОБІОЛОГІЯ



Фіксована ефективна еквівалентна доза (CEDE - the committed effective dose equivalent) - це оцінка дози радіації, що діє на людину в результаті інгаляції або вживання певної кількості радіоактивної речовини.

CEDE виражається в *берах* або *зівертах* (Зв) і враховує радіочутливість різних органів і час, протягом якого речовина залишається в організмі протягом усього життя.

Залежно від ситуації, CEDE можна використовувати до дози опромінення певного органу.



РАДІОБІОЛОГІЯ



Колективна доза – це сума індивідуальних ефективних доз у цій групі людей за даний проміжок часу.

Колективну дозу можна підрахувати для населення окремого села, міста, адміністративно-територіальної одиниці, держави, географічного регіону.

Розраховують як добуток середньої ефективної дози і загальної кількості людей, які перебували під впливом випромінювання.

Одиницею виміру колективної дози є людино-зіверт (люд.-Зв.), позасистемна одиниця - людино-бер (люд.-бер).

Колективна доза може накопичуватися протягом тривалого часу, навіть не одного покоління, охоплюючи декілька наступних поколінь.



РАДІОБІОЛОГІЯ



ІНШІ ДОЗИ:

Коммітментна - очікувана доза, півстолітня доза. Застосовується в радіаційного захисту та гігієни при розрахунку поглинених, еквівалентних і ефективних доз від інкорпорованих радіонуклідів.

Порогова доза – це доза, нижче якої не спостерігаються ефекти опромінення.

Гранично допустимі дози (ГДД) – це найбільші значення індивідуальної еквівалентної дози за календарний рік, при якій рівномірне опромінення протягом 50 років не може викликати в стані здоров'я несприятливих змін, які виявляються сучасними методами.

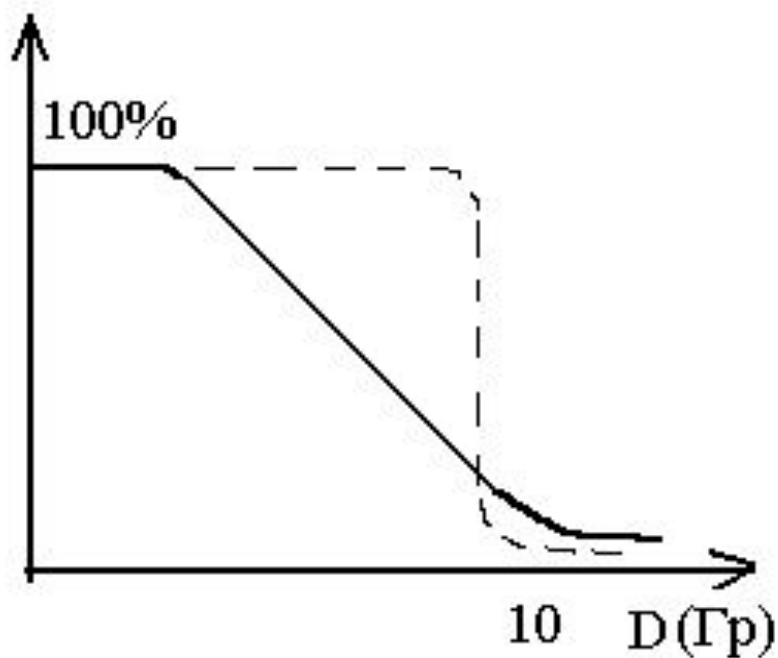
Запобігаюча доза – це прогнозована доза при радіаційній аварії, яка може бути зменшена захисними заходами.



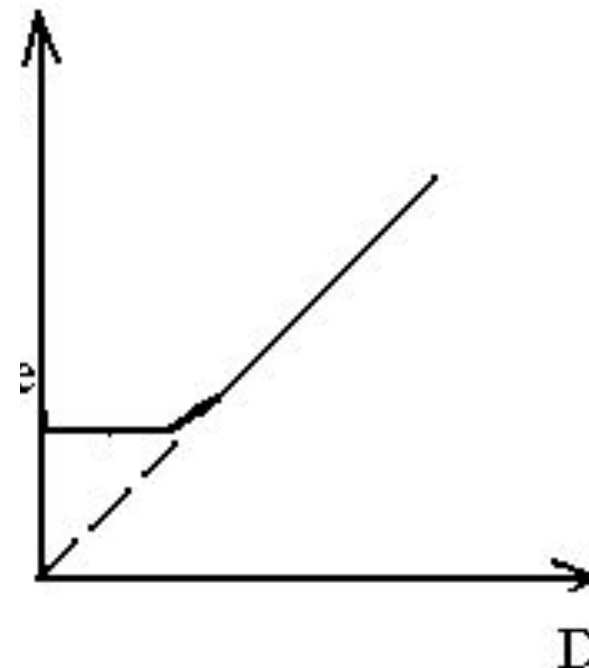
РАДІОБІОЛОГІЯ



Основні типи дозових залежностей в радіобіології.

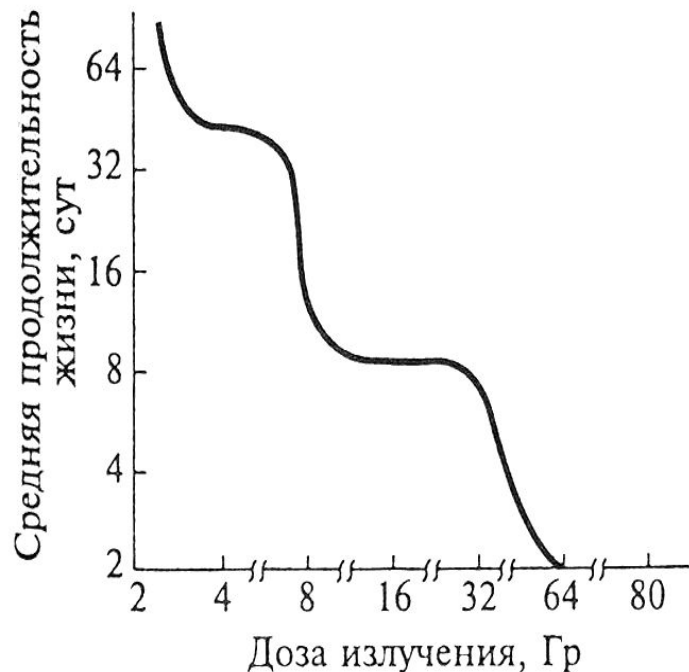


Дозова залежність виживаності клітин

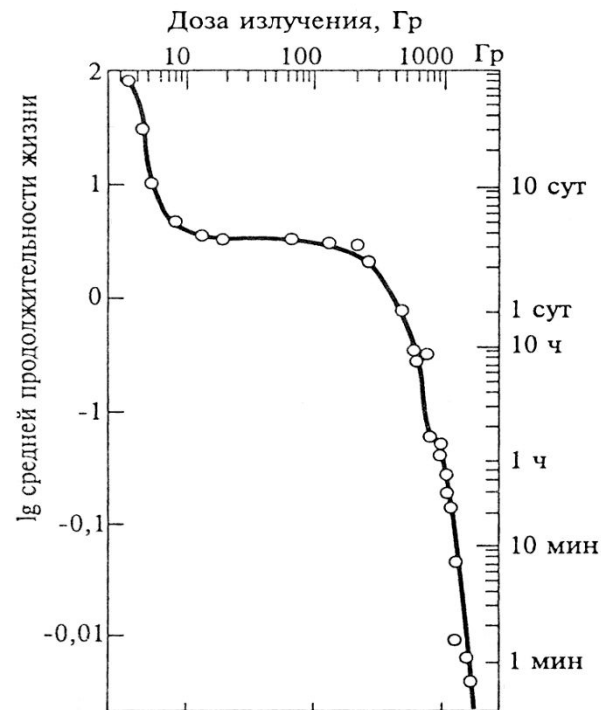


Дозова залежність частоти мутацій

Основні типи дозових залежностей в радіобіології.



Дозова залежність виживаності людинни



Дозова залежність тривалості життя мишей



РАДІОБІОЛОГІЯ



ВИДИ ОПРОМІНЕННЯ

В залежності від джерела:

- зовнішнє опромінення;
- внутрішнє опромінення.

В залежності від часу дії:

- гостре опромінення (секунди, хвилини, години);
- пролонговане (протягом декілька діб, місяців, років);
- хронічне (тривалий при низькій потужності дози опромінення);
- фракціоноване (багаторазове опромінення тривалістю від декількох секунд, хвилин, годин протягом однієї або декількох діб, місяців).

В залежності від зони ураження:

- локальне (регіональне) опромінення (малі площі);
- широке опромінення (великі площі);
- загальне (тотальне) опромінення (весь організм).



РАДІОБІОЛОГІЯ



- **Первинні механізми біологічної дії іонізуючого випромінювання.**
- **Пряма і непряма дія іонізуючої радіації.**
- **Радіоліз води і водних розчинів.**
- **Основні активні форми кисню, що утворюються при радіолізі води.**
- **Радіоліз органічних сполук.**



РАДІОБІОЛОГІЯ



Кафедра Біофізики

На першому етапі радіобіологічного пошкодження клітин, тканин або організму в цілому відбуваються первинні фізичні явища поглинання енергії випромінювання атомами і молекулами біологічного об'єкта, в результаті відбувається збудження електронних орбіталей, іонізація внаслідок втрати електронів і утворення вільних радикалів і вільних електронів.

Процес розкладання молекул речовини під впливом іонізуючого випромінювання називають *радіолізом*.

При радіолізі можуть утворюватися як іони і вільні радикали, так і окремі нейтральні молекули.

Радіоліз слід відрізнити від фотолізу, який формально приводить до тих же результатів, але для менш міцних хімічних зв'язків.



РАДІОБІОЛОГІЯ



На другому етапі відбуваються радіаційно-хімічні процеси.

Вільні радикали, що утворились внаслідок дії іонізуючої радіації, взаємодіють з органічними і неорганічними речовинами за типом окисно-відновних реакцій.

Вільнорадикальні реакції є ланцюговими реакціями, вони породжують нові ланцюги неконтрольованого вільнорадикального пошкодження біологічних структур, а також призводять до утворення токсичних низькомолекулярних сполук.



РАДІОБІОЛОГІЯ



На третьому етапі спостерігаються системні біологічні реакції, які призводять до змін функцій і структури клітин, органів і фізіологічних систем, що відбиваються функціональному стані цілісного організму.

Ці зміни зрештою визначають особливості розвитку і специфіку системних патологічних процесів в організмі.



РАДІОБІОЛОГІЯ



Кафедра Біофізики

Перший первинний механізм дії іонізуючої радіації обумовлений пошкодженням біологічної молекули-мішені в результаті безпосередньої взаємодії іонізуючого випромінювання з цією молекулою, тобто в результаті *прямої дії випромінювання*.

Другий механізм обумовлений пошкодженням молекули-мішені хімічно активними продуктами радіолізу (наприклад, вільними радикалами, що утворюються при радіолізі води), які утворились з інших молекул в результаті їх безпосередньої взаємодії з випромінюванням.

В цьому випадку пошкодження молекули-мішені відбувається в результаті *непрямої дії випромінювання*.



РАДІОБІОЛОГІЯ



В основі *радіаційно-хімічних змін* молекул можуть лежати два механізми:

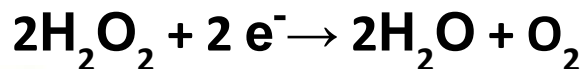
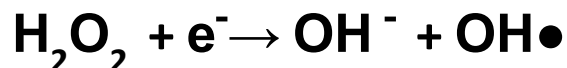
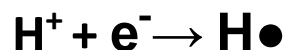
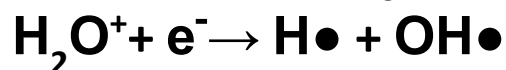
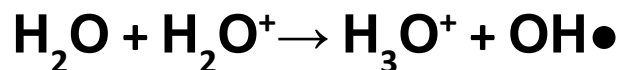
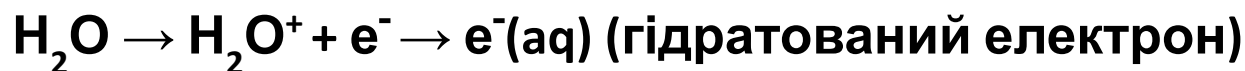
- 1) пряма дія, коли іонізація молекули відбувається безпосередньо при взаємодії з випромінюванням;
- 2) непряма дія, коли молекула безпосередньо не поглинає енергію іонізуючого випромінювання, але отримує її шляхом передачі від іншої молекули, радикала або іону.



РАДІОБІОЛОГІЯ



Оскільки в середньому 70% маси біологічної тканини становить вода, вона є головною молекулярною мішенню іонізуючої радіації. Початкові процеси радіолізу води, що призводять до утворення вільних радикалів, представлені на схемі:



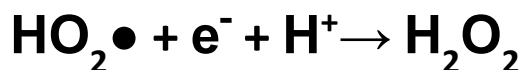
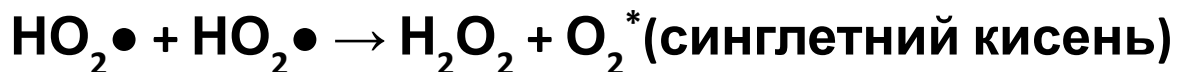
Радіоліз води



РАДІОБІОЛОГІЯ



Активні форми кисню





РАДІОБІОЛОГІЯ



Активні форми кисню

Наявність кисню в біологічних організмах є фактором, який сприяє посиленню біологічної дії іонізуючого випромінювання. Залежність радіобіологічних ефектів від концентрації кисню називають *кисневим ефектом*.

Вміст кисню в біологічних тканинах перед опроміненням є одним із факторів модифікації радіочутливості організму.

Кількісною характеристикою оцінки радіомодифікуючого ефекту кисню є коефіцієнт кисневого посилення (ККУ / Oxygen Enhancement Ratio – OER), який організму розраховується:

$$\text{ККУ} = \frac{\text{LD}_{50} \text{ в умовах аноксії (або гіпоксії)}}{\text{LD}_{50} \text{ в нормальних умовах}}$$

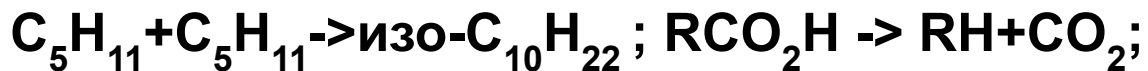
де LD_{50} – доза опромінення, що викликає загибель 50% особин за певний термін спостереження.



РАДІОБІОЛОГІЯ



Радіоліз органічних сполук



транс изомер



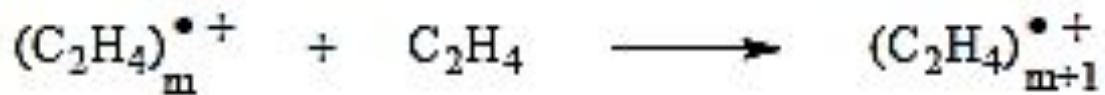
цис-изомер

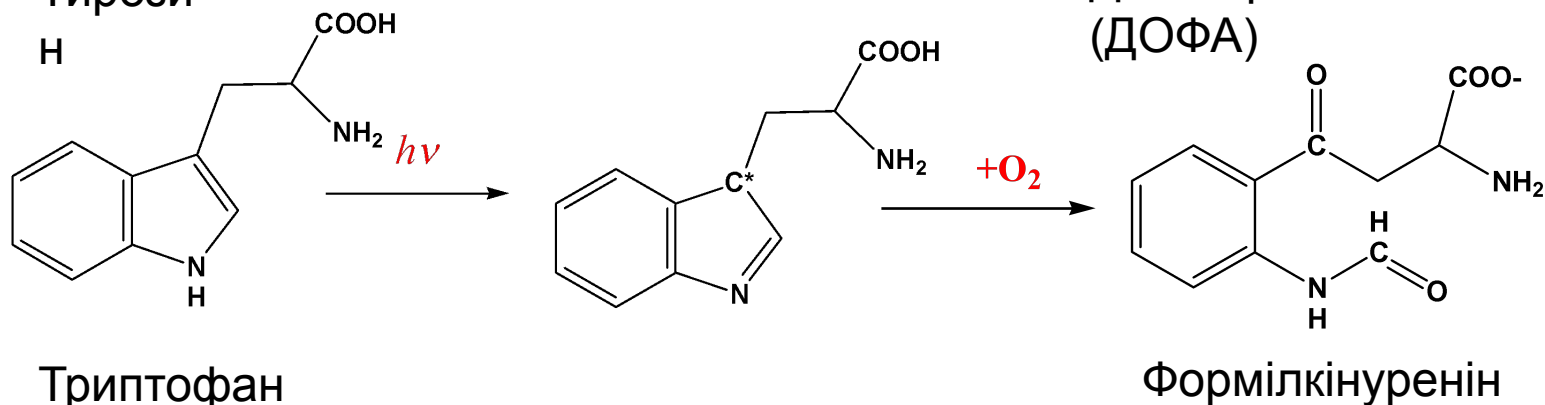
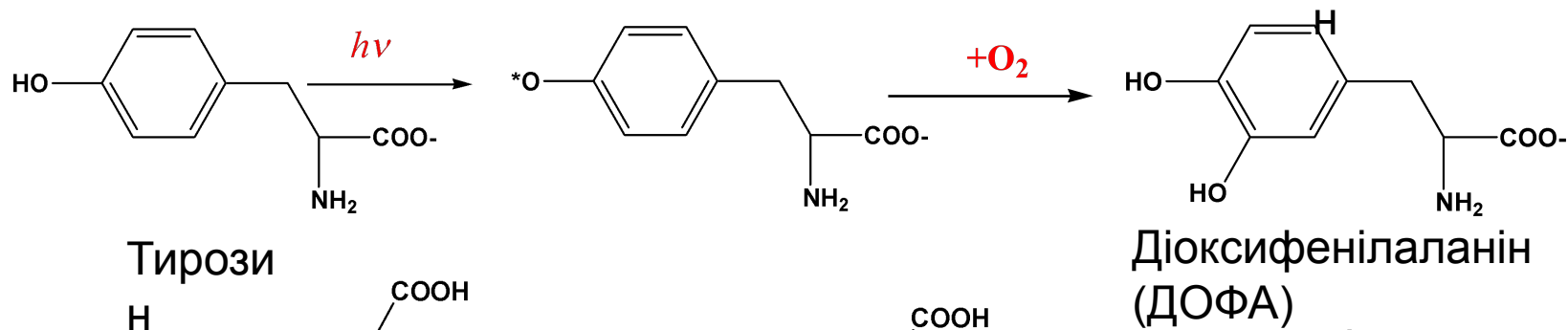
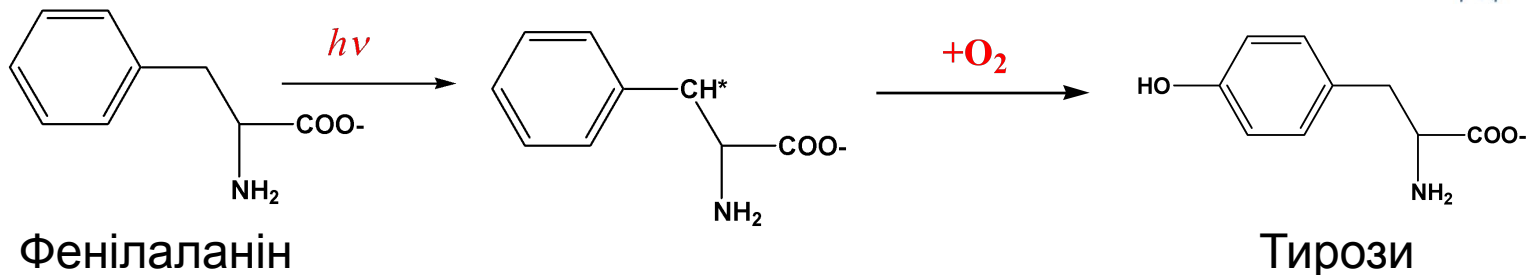


РАДІОБІОЛОГІЯ

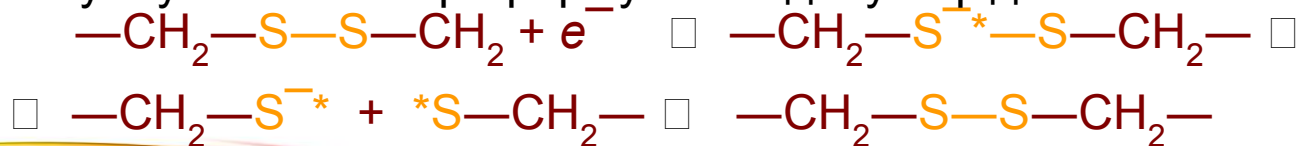


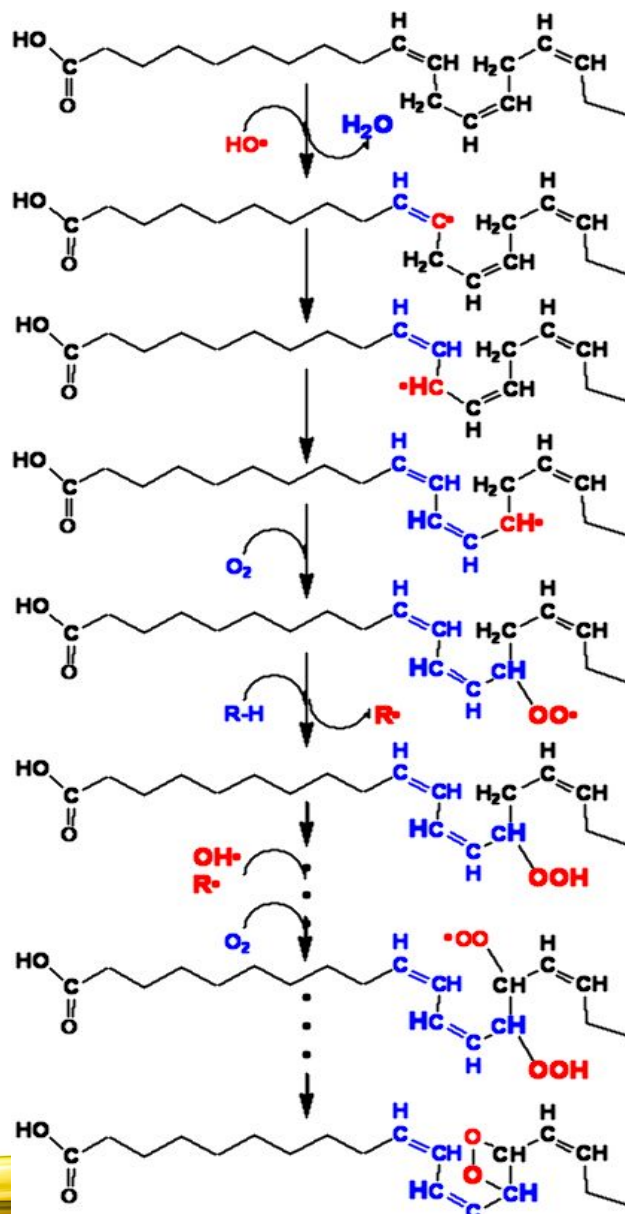
Радіоліз органічних сполук





Руйнування та переформування дисульфідних зв'язків



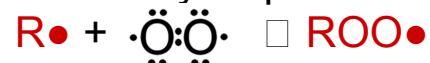


Жирнокислотний залишок реагує із вільним радикалом з утворенням органічного радикалу і води:



Внутрішньомолекулярна перебудова з утворенням дієнового кон'югату

Органічний вільний радикал реагує з молекулою кисню з утворенням перекисного радикалу:



Перекисний радикал реагує з іншою молекулою ліпиду (RH) з утворенням гідроперекису ліпиду :



Подальше вільнорадикальне окиснення призводить до створення епоксидів, які розпадаються з утворенням альдегідів та кетонів.

A silhouette of a person stands in the center of the frame, facing forward. Behind them, numerous bright green laser beams radiate outwards in all directions, creating a starburst effect against a dark background. The beams are sharp and vibrant, contrasting with the dark surroundings.

Дякую за увагу