



Вінницький національний медичний університет ім.  
М.І. Пирогова  
Кафедра променевої діагностики, променевої терапії  
та онкології

# **Інноваційна променева терапія в онкології. Кібер-ніж та томотерапія: сучасні можливості**

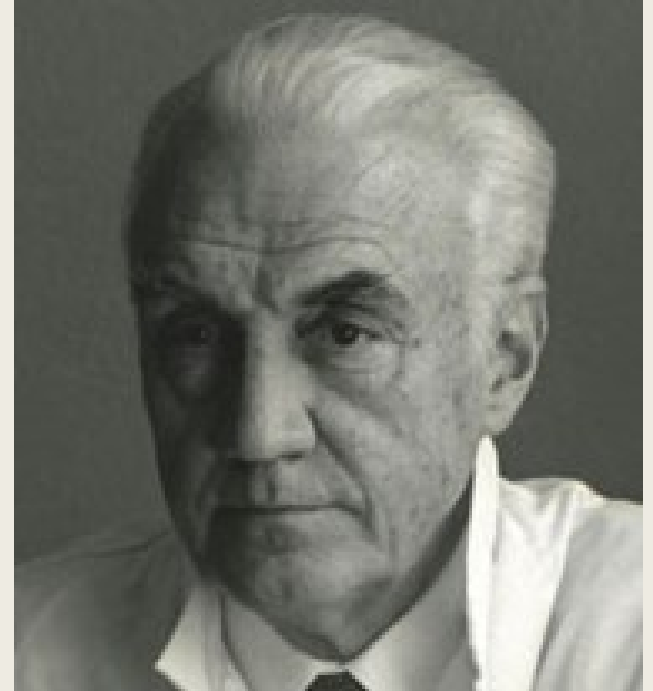
**Викладач:**  
**д.мед.н., проф**  
**Лисенко Сергій Андрійович**

# Радіохірургія

- Радіохірургія — це метод неінвазивного лікування, при якому на патологічне утворення діє висока доза іонізуючого випромінювання, спрямована з великою точністю, без хірургічного розрізу.
- Не потребує наркозу чи відкритої операції
- Мета — зруйнувати клітини пухлини, зберігаючи здорові тканини

# Історія розвитку

- 1951 р. — шведський нейрохірург Ларс Лекселл створив першу систему Gamma Knife.
- 1960–70-ті — поширення методу для лікування внутрішньочерепних пухлин.
- 1980–90-ті — поява лінійних прискорювачів (LINAC) і систем CyberKnife.
- XXI ст. — розвиток роботизованих систем і комп'ютерного планування.




# Принцип дії

1. Формування високоенергетичного пучка ( $\gamma$ -промені, рентгенівські чи протонні).
2. Точне наведення на патологічний осередок за допомогою навігаційних систем.
3. Одноразове опромінення високою дозою (20–90 Гр) в одному сеансі.
4. Результат — руйнування ДНК клітин у зоні опромінення → загибель пухлини.

# Gamma Knife (Гамма-ніж)

- Джерело випромінювання: ізотоп кобальт-60 (Co-60)
- Використовує кілька сотень  $\gamma$ -променів, що сходяться в одній точці
- Застосовується переважно для внутрішньочерепних пухлин (менінгіоми, невриноми, метастази, АВМ)
- Надзвичайно висока точність (до 0,2 мм)
- Не підходить для великих або позачерепних утворень





# CyberKnife (Кібер-ніж)

- Джерело випромінювання: лінійний прискорювач рентгенівського випромінювання
- Роботизована система, що автоматично коригує напрям променів під час рухів пацієнта
- Підходить як для внутрішньочерепних, так і позачерепних пухлин (легені, хребет, печінка тощо)
- Висока точність без потреби у фіксуючій рамці

# Як працює кібер-ніж?

1. Роботизована рука апарату рухається навколо пацієнта, прицільно опромінюючи пухлину з різних кутів під контролем комп'ютера та системи навігації.
2. За рахунок вбудованої технології відстеження рухів, система автоматично коригує напрямок променя, навіть якщо пацієнт випадково поворухнеться або пухлина зміститься під час дихання.
3. В результаті тканини мозку отримують мінімальне опромінення, а пухлинні клітини - руйнівну для них дію.



• **ПРОМЕНЕВА ТЕРАПІЯ** НА КІБЕРНОЖІ ФАКТИЧНО ЗАМІНЮЄ ХІРУРГІЧНЕ ВТРУЧАННЯ У ВІДПОВІДНИХ ПОКАЗАХ ДО КІБЕРНОЖА. ХОЧА СЛОВО “НІЖ” У НАЗВІ, НАСПРАВДІ НІЯКОГО РОЗРІЗУ НЕМАЄ – “СКАЛЬПЕЛЕМ” ВИСТУПАЄ ФОТОННИЙ ПРОМІНЬ. ЗАВДЯКИ ЦЬОМУ **РАДІОХІРУРГІЯ CYBERKNIFE** ПОЗБАВЛЕНА ТАКИХ РИЗИКІВ, ЯК КРОВОТЕЧА, ІНФЕКЦІЯ ЧИ ТРИВАЛА РЕАБІЛІТАЦІЯ ПІСЛЯ ОПЕРАЦІЇ .

• ПАЦІЄНТ НЕ ВІДЧУВАЄ БОЛЮ ПІД ЧАС ПРОЦЕДУРИ І НЕ ПОТРЕБУЄ НАРКОЗУ АБО ПЕРЕБУВАННЯ В СТАЦІОНАРІ. ЗАЗВИЧАЙ ЛІКУВАННЯ СКЛАДАЄТЬСЯ З 1–5 СЕАНСІВ ТРИВАЛІСТЮ БЛИЗЬКО 15–40 ХВИЛИН КОЖЕН, ЗАЛЕЖНО ВІД РОЗМІРУ ТА ТИПУ ПУХЛИНИ. ПІСЛЯ КУРСУ РАДІОХІРУРГІЇ ПУХЛИНА ПОСТУПОВО ЗМЕНШУЄТЬСЯ (РОЗПАДАЄТЬСЯ) В РОЗМІРАХ АБО ПЕРЕСТАЄ РОСТИ, А ПАЦІЄНТ ШВИДКО ПОВЕРТАЄТЬСЯ ДО ЗВИЧНОГО ЖИТТЯ.

# ЯКІ ПЕРЕВАГИ МАЄ КІБЕРНІЖ?

---

**Висока точність:** дозволяє лікувати пухлину навіть у важкодоступних місцях.

**Неінвазивність:** відсутність хірургічного втручання знижує ризик ускладнень і скорочує час відновлення.

**Ефективність:** забезпечує високу ефективність лікування з мінімальним пошкодженням навколишніх здорових тканин.

**Зручність:** зазвичай лікування складається з кількох сеансів, які тривають від 30 до 90 хвилин.

# КІБЕРНІЖ МОЖНА ВИКОРИСТОВУВАТИ ДЛЯ ЛІКУВАННЯ ДОБРОЯКІСНИХ І ЗЛОЯКІСНИХ ПУХЛИН:

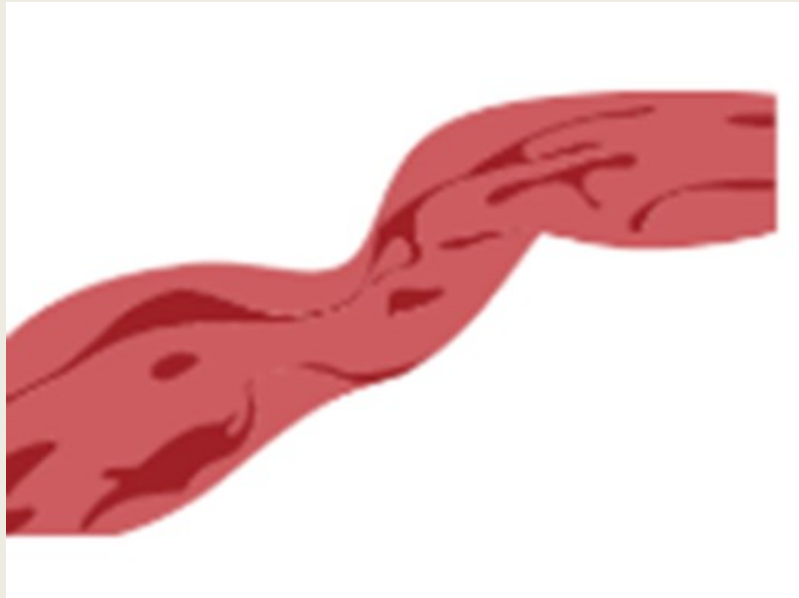
---

- ГОЛОВНОГО МОЗКУ (ПЕРВИННІ ПУХЛИНИ МОЗКУ І МЕТАСТАЗИ, НЕВРИНОМА СЛУХОВОГО НЕРВА, МЕНІНГІОМА, АНГІОМА І АРТЕРІОВЕНОЗНА МАЛЬФОРМАЦІЯ, НЕВРАЛГІЯ ТРІЙЧАСТОГО НЕРВА, АДЕНОМА ГІПОФІЗА);
- ЛЕГЕНІ (КАРЦИНОМА ЛЕГЕНІ ТА БРОНХІВ, СОЛІТАРНІ (ОКРЕМІ) МЕТАСТАЗИ В ЛЕГЕНЯХ);
- ПЕЧІНКИ (МЕТАСТАЗИ В ПЕЧІНЦІ, КАРЦИНОМА ПЕЧІНКИ);
- ПІДШЛУНКОВОЇ ЗАЛОЗИ (КАРЦИНОМА ПІДШЛУНКОВОЇ ЗАЛОЗИ);
- ХРЕБТА (СПІНАЛЬНА ПУХЛИНА І МЕТАСТАЗИ, МЕНІНГІОМА, РЕЦИДИВНА ПУХЛИНА);
- ПРОСТАТИ (ПЕРВИННИЙ І РЕЦИДИВУЮЧИЙ РАК ПЕРЕДМІХУРОВОЇ ЗАЛОЗИ);
- КІСТОК (В ГРУДНІЙ КЛІТИНІ, ХРЕБТІ, КІСТКАХ ЧЕРЕПА);
- НИРКИ (МЕТАСТАЗИ, КАРЦИНОМА НИРКИ).

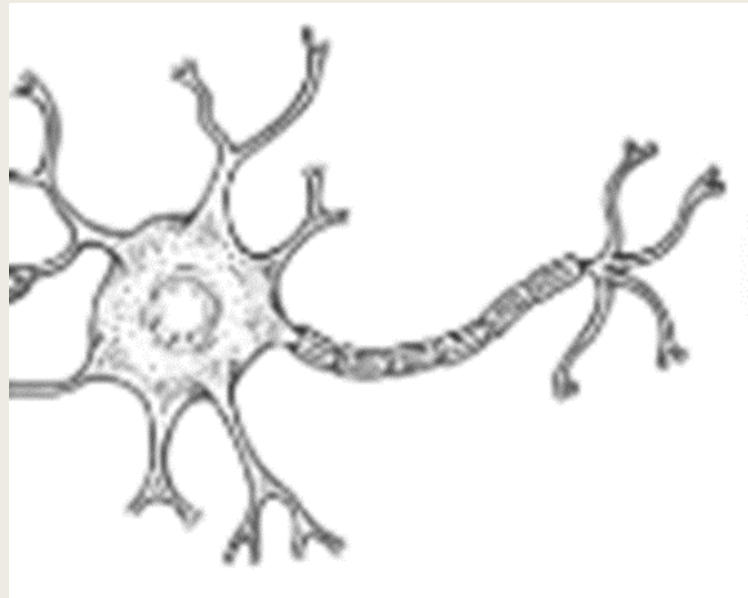
# КІБЕРНІЖ МОЖНА ВИКОРИСТОВУВАТИ ТАКОЖ ДЛЯ ЛІКУВАННЯ ІНШИХ НЕОНКОЛОГІЧНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ:

---

ПАТОЛОГІЯ КРОВОНОСНИХ СУДИН,  
НАПРИКЛАД, АРТЕРІОВЕНОЗНІ  
МАЛЬФОРМАЦІЇ (ПОРУШЕННЯ БУДОВИ  
І СТРУКТУРИ СТІНОК СУДИН)



НЕВРАЛГІЯ ТРІЙЧАСТОГО  
НЕРВА (КОРОТКІ БОЛІ У  
ДІЛЯНЦІ ОБЛИЧЧЯ)



НАЙКРАЦІ РЕЗУЛЬТАТИ ЛІКУВАННЯ  
ОЧІКУЮТЬСЯ, ЯКЩО РОЗМІР  
ПУХЛИНИ МЕНШЕ НІЖ 3 СМ В  
ДІАМЕТРІ, А ТАКОЖ В РАЗІ  
МЕТАСТАТИЧНИХ ПУХЛИН В ОДНОМУ  
ОРГАНІ, АЛЕ НЕ БІЛЬШЕ ТРЬОХ  
МЕТАСТАЗІВ.



# РОЗМІРИ НОВОУТВОРЕНЬ ДЛЯ ЛІКУВАННЯ КІБЕРНОЖЕ М:

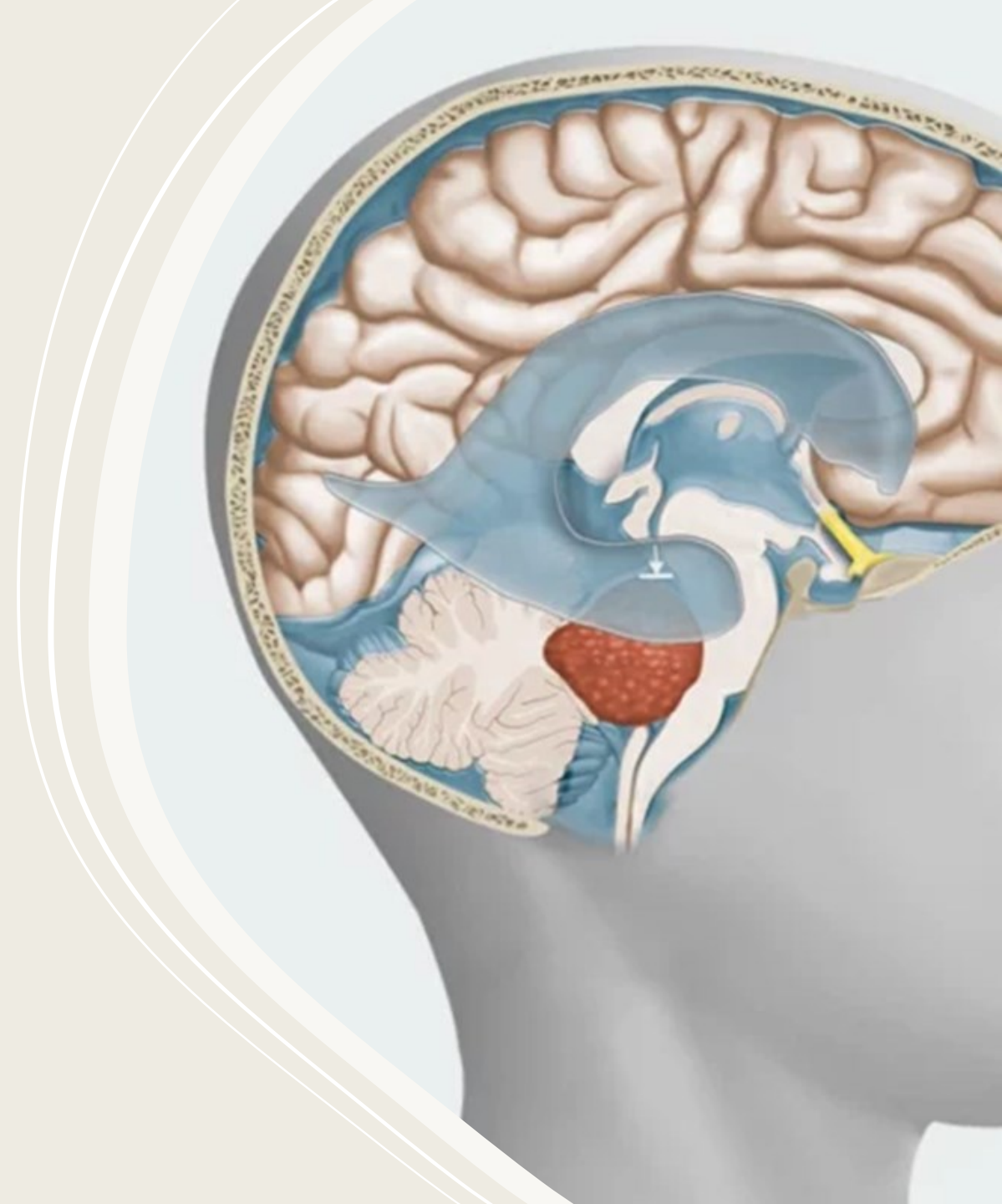
---

КІБЕРНІЖ ЗАСТОСОВУЄТЬСЯ ДЛЯ ЛІКУВАННЯ ПУХЛИН ГОЛОВНОГО МОЗКУ РОЗМІРОМ ВІД 5 ММ ДО 6 СМ. ВОДНОЧАС МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМИЙ РОЗМІР ПУХЛИНИ ВИЗНАЧАЄТЬСЯ ІНДИВІДУАЛЬНО НЕЙРОХІРУРГОМ ТА РАДІОЛОГОМ — ЗАЛЕЖНО ВІД ЇЇ РОЗТАШУВАННЯ, ТИПУ ТА БЛИЗЬКОСТІ ДО КРИТИЧНИХ СТРУКТУР МОЗКУ. ДЛЯ ПРИКЛАДУ:

- **ДЛЯ ПУХЛИН (ЯК ПРАВИЛО МЕТАСТАЗИ РАКУ ПРЯМОЇ КИШКИ) У СТОВБУРІ ГОЛОВНОГО МОЗКУ** (ДЕ ПРОХОДЯТЬ ЖИТТЄВО ВАЖЛИВІ НЕРВОВІ ЦЕНТРИ) ОПТИМАЛЬНИМ ВВАЖАЄТЬСЯ РОЗМІР **ДО 2,5 СМ.**
- **У ЛОБНІЙ АБО СКРОНЕВІЙ ЧАСТЦІ** МОЗКУ, ДЕ Є БІЛЬШЕ РЕЗЕРВНОГО ПРОСТОРУ, **МОЖНА БЕЗПЕЧНО ОПРОМІНЮВАТИ ПУХЛИНИ ДО 5–6 СМ.**
- У ВИПАДКУ ДОБРОЯКІСНОЇ **АДЕНОМИ ГІПОФІЗА**, ОСОБЛИВО ПРИ БЛИЗЬКОСТІ ДО ЗОРОВОГО ПЕРЕХРЕСТА, **ДОПУСТИМИЙ РОЗМІР ЗАЗВИЧАЙ НЕ ПЕРЕВИЩУЄ 3 СМ.**

# ПЕРЕД РАДІОХІРУРГ І ЄЮ:

• ПЕРЕД ЗАСТОСУВАННЯМ КІБЕРНОЖА ПРИ ПУХЛИНАХ ГОЛОВНОГО МОЗКУ ВАЖЛИВО ПРОВЕСТИ ХІРУРГІЧНУ БІОПСІЮ АБО ХОЧА Б ЧАСТКОВЕ ВИДАЛЕННЯ ПУХЛИНИ. ЦЕ ДОЗВОЛЯЄ ОТРИМАТИ ЗРАЗОК ТКАНИНИ ДЛЯ ГІСТОЛОГІЧНОГО ТА ІМУНОГІСТОХІМІЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ — ТОБТО ТОЧНО ВСТАНОВИТИ, ЩО САМЕ ЛІКУЄТЬСЯ: ГЛІОМА, МЕТАСТАЗ, ДОБРОЯКІСНЕ ЧИ ЗЛОЯКІСНЕ НОВОУТВОРЕННЯ. БЕЗ ЦЬОГО ДІАГНОЗ СТАВИТЬСЯ ЛИШЕ ЗА ДАНИМИ МРТ АБО ПЕТ-КТ, А ЦЕ НЕ ДАЄ ПОВНОГО РОЗУМІННЯ СТРУКТУРИ ПУХЛИНИ, ЇЇ МУТАЦІЙ ТА ЧУТЛИВОСТІ ДО ХІМІОТЕРАПІЇ.



• **КІБЕРНІЖНЕ ЗАВЖДИ ВИКЛЮЧАЄ ХІРУРГІЮ**, АЛЕ ЧАСТО ДОЗВОЛЯЄ ЇЇ УНИКНУТИ. ОСТАТОЧНИЙ ВИБІР МЕТОДУ ЗАЛЕЖИТЬ ВІД БАГАТЬОХ ФАКТОРІВ: ТИП ТА РОЗМІР ПУХЛИНИ, ЇЇ РОЗТАШУВАННЯ, СТАН ЗДОРОВ'Я, НАЯВНІСТЬ ПОПЕРЕДНЬОГО ЛІКУВАННЯ. НАПРИКЛАД, ПРИ ПУХЛИНАХ МОЗКУ МАЛОГО РОЗМІРУ АБО РОЗТАШОВАНИХ ГЛИБОКО В СТРУКТУРАХ МОЗКУ, РАДІОХІРУРГІЯ МОЖЕ СТАТИ АЛЬТЕРНАТИВОЮ СКАЛЬПЕЛЮ. ЯКЩО Ж НОВОУТВОРЕННЯ ВЕЛИКЕ ЧИ ЗДАВЛЮЄ МОЗОК – СПОЧАТКУ ВИКОНУЄТЬСЯ ОПЕРАЦІЯ, А ЗАЛИШКОВІ ФРАГМЕНТИ ЛІКУЮТЬ КІБЕРНОЖЕМ. КОЖЕН КЛІНІЧНИЙ ВИПАДОК УНІКАЛЬНИЙ ТА ІНДИВІДУАЛЬНИЙ



## КІБЕРНІЖ

ПРОТИ МЕТАСТАЗІВ  
В ГОЛОВНИЙ  
МОЗОК



# ЛІКУВАННЯ В УКРАЇНІ

В УКРАЇНІ ЦЯ ТЕХНОЛОГІЯ  
ДОСТУПНА В ДЕКІЛЬКОХ  
СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ОНКОЛОГІЧНИХ  
ЦЕНТРАХ, ТАКИХ ЯК КЛІНІКА  
СПІЖЕНКА ТА ОНКОЛОГІЧНА  
КЛІНІКА "ІННОВАЦІЯ", ЩО РОБИТЬ  
ЇЇ ДОСТУПНОЮ ДЛЯ УКРАЇНСЬКИХ  
ПАЦІЄНТІВ.



## LINAC (лінійний прискорювач)

- Створює пучок високоенергетичних фотонів або електронів
- Може застосовуватись для будь-якої частини тіла
- Використовується у системах Novalis, TrueBeam, Varian, Elekta
- Дає можливість проведення як радіохірургії, так і радіотерапії

# Протонна радіохірургія

- Використовує протонний пучок, який має унікальну властивість, де максимальна доза випромінювання зосереджується в кінці траєкторії (ефект Брега)
- Дає змогу мінімізувати пошкодження здорових тканин
- Особливо ефективна у дитячій онкології та при пухлинах, розташованих поблизу критичних структур



## Нейтронна та іонна радіохірургія (експериментальні методи)

- Використовують важкі частинки (нейтрони, вуглецеві іони)
- Мають вищу біологічну ефективність, але складні у технічному виконанні
- Поки що застосовуються у дослідницьких центрах



# Підготовка пацієнта

- Проведення МРТ/КТ для планування.
- Створення 3D-моделі пухлини.
- Фіксація голови (рамка або маска).
- Комп'ютерне розрахування траєкторій променів.
- Виконання процедури (1–3 години).



# Протипоказання

---

- ⊘ Великі розміри пухлини (>3,5 см)
- ⊘ Тяжкий загальний стан пацієнта
- ⊘ Відсутність точних координат (неможливість точної локалізації)
- ⊘ Попереднє надмірне опромінення в цій ділянці

# Переваги

---

- ✓ Без кровотечі і без розрізів
- ✓ Одноденна процедура
- ✓ Висока точність (до 0,2 мм)
- ✓ Мінімальні побічні ефекти
- ✓ Збереження оточуючих тканин
- ✓ Може застосовуватись у недооперабельних випадках

# Недоліки / Ускладнення

---

- ⚠ Затримана реакція пухлини — ефект через кілька місяців
- ⚠ набряк навколишніх тканин
- ⚠ Радіонекроз (рідко)
- ⚠ Тимчасові неврологічні порушення

# Порівняння радіохірургії з традиційною хірургією

## Тип втручання:

---

- Радіохірургія — неінвазивна, без розрізів.
- Класична хірургія — інвазивна, потребує відкритої операції.

## Анестезія:

- Радіохірургія — зазвичай не потребує, іноді місцева.
- Класична хірургія — потребує загальної або місцевої анестезії.

## Больові відчуття:

- Радіохірургія — мінімальні або відсутні.
- Класична хірургія — помітні під час і після операції.

## Тривалість процедури:

- Радіохірургія — 1–3 години, зазвичай 1 або кілька сеансів.
- Класична хірургія — від кількох годин до кількох днів.

# Приклад (клінічний випадок)

## Пацієнт:

Жінка, 54 роки.

## Діагноз:

Менінгіома правої лобної частки, розмір 2,5 см

## Метод лікування:

Радіохірургія за допомогою системи Gamma Knife

## Хід процедури:

- Виконано МРТ для планування.
- Побудовано тривимірну модель пухлини.
- Проведено одноразове опромінення дозою 25 Гр.
- Процедура тривала 2 години, без анестезії.

## Результат:

Через 6 місяців — зменшення об'єму пухлини на 40%, відсутність неврологічного дефіциту, пацієнтка повернулася до роботи.



1. Діагностика  
(МРТ/КТ)



2. Планування  
траєкторій променів



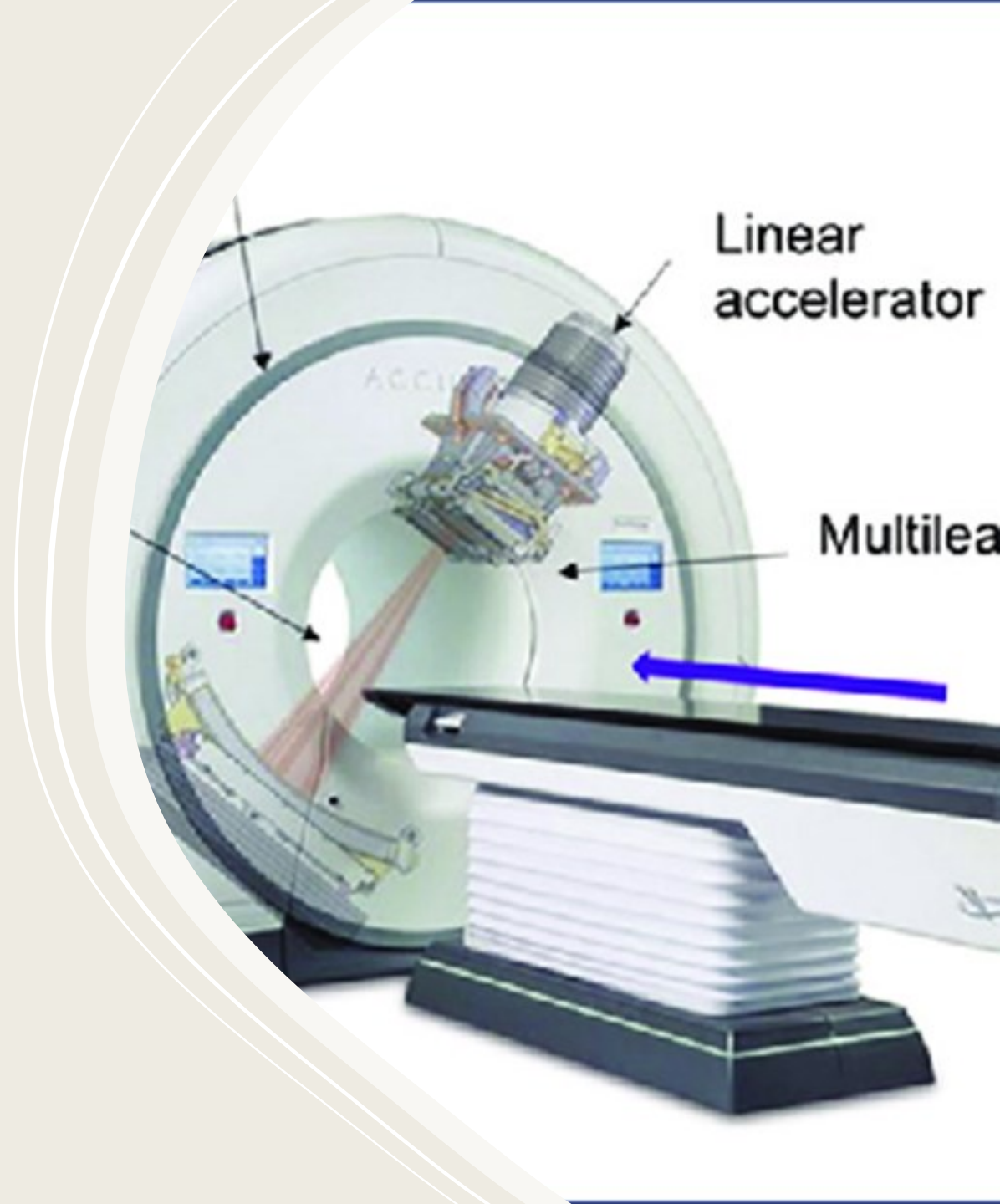
3. Сфокусоване  
опромінення (Гзона)



4. Руїнування  
клітин пухлини

# Томотерапія

Томотерапія — це метод променевої терапії, який ґрунтується на поєднанні спірального томографа кругового охоплення з бінарним багатопелюстковим коліматором, який безперервно зондує потрібну область спрямованими променями радіації, забезпечуючи терапію з більш точною модуляцією інтенсивності опромінення, відбувається опромінення пухлини у всіх напрямках з розворотом на  $360^\circ$  і з поділом на безліч шарів. Вбудований пристрій візуалізації визначає і перевіряє локалізацію пухлинної тканини, яка в подальшому піддається високоточному опроміненню, мінімізуючи вплив на здорові тканини і органи.



# Історія

---

Техніка томотерапії була розроблена на початку 1990-х років в Університеті Вісконсін-Медісон професорами Томасом Роквеллом Макі та Полом Реквердтом.

Першим застосуванням томотерапії була система Corvus, з першим пацієнтом, який отримував лікування в квітні 1994 року. Оригінальна система, призначена виключно для використання на головному мозку, включала в себе жорстку систему фіксації. Але деякі користувачі відмовилися від системи фіксації і застосували цю техніку до пухлин у багатьох різних частинах тіла.

17 червня 2015 р. у Кропивницькому, на базі Обласного онкологічного диспансеру, відбулося урочисте відкриття Українського центру томотерапії, в якому вперше в країні реалізовано європейську модель приватно-державного партнерства в онкологічній галузі. Там використовують радіотерапевтичну систему томотерапії «TomoTherapy®»

# Принцип роботи

---

Система складається з лінійного прискорювача, вбудованого в гентрі, який обертається навколо пацієнта, подібно до комп'ютерного томографа. Під час обертання гентрі пацієнт повільно рухається крізь апарат на кушетці, і пучок випромінювання проходить спірально, рівномірно охоплюючи пухлину. Пучок розділяється на багато дрібних сегментів, доза яких точно регулюється комп'ютером, щоб максимально вразити пухлину і зберегти здорові тканини. Перед кожним сеансом проводиться КТ-сканування для перевірки положення пухлини. Це дозволяє коригувати план опромінення в реальному часі. Окрім цього всього лікувальна система створює індивідуальний 3Д-план, який визначає оптимальні кути, дозу і час опромінення

# П е р е в а г и м е т о д у

---

- 1.Зменшення впливу випромінювання на здорові тканини та органи, що мінімізує ризик розвитку вторинних вогнищ і побічних ефектів
- 2.Опромінення націлене відповідно до розміру, форми та розташування пухлини конкретно в цей час.
- 3.Можливість точно опромінити все тіло з тривимірним візуалізаційним контролем
- 4.Швидкість.
- 5.Безперервна модуляція з великою кількістю кутів.
- 6.Можливість опромінити пухлини, що розташовуються у важкодоступних місцях

# Недоліки методу

---

1. Висока вартість обладнання і лікування.

Обладнання: від 300 000\$ б/в; від 3 млн \$

Лікування: від 12 000\$ в Україні, 7 000\$ в Туреччині, 30 000\$ в Австрії

2. Доступність. В Україні лікування проводиться тільки в двох клініках.

3. Складність технічного обслуговування

4. Високі вимоги до планування. Створення плану лікування займає багато часу, потребує досвіду і спеціального програмного забезпечення.

5. Можливе виникнення побічних ефектів як і при інших видах променевої терапії (хоч і рідше): Слабкість, втома, головні болі, підвищення температури тіла, шкірні реакції.



# Показання

Томотерапія особливо ефективна при пухлинах у дітей, двосторонніх пухлинах молочної залози, пухлинах голови та шиї, пухлинах гортані та порожнини носа, мезотеліомах, пухлинах головного та спинного мозку, складних променевиx процедурах та захисті важливих органів, одночасному опроміненні множинних пухлин, пухлинах кісткового мозку та опроміненні всього тіла за допомогою методу ПТМІ з ВК, опроміненні множинних метастазів

Томотерапія – одна з найсучасніших технологій у сфері променевої терапії і її потенціал далеко не вичерпаний. Якщо інтегрувати її з новими біотехнологіями, ШІ і персоналізованою медициною, а також підвищити доступність методу, то метод із простого точного опромінення перейде до інтелектуальної біологічно орієнтованої терапії, що потенційно розпочне нову епоху в лікуванні онкологічних захворювань.

Радіохірургія — високотехнологічний, ефективний і безпечний метод лікування пухлин, що замінює традиційні операції у багатьох випадках.

Основна перевага — точність і мінімальна травматичність.

---

Дякую за увагу !