

projekt
INTRA-DOSE



IntraLine

medyczny akcelerator
elektronów do radioterapii
śródoperacyjnej

PROJEKT INTRA-DOSE

Śródoperacyjna radioterapia elektronami

W krajach Unii Europejskiej nowotwory złośliwe to druga – po chorobach układu krążenia – najpowszechniejsza przyczyna zgonów: obecnie są wykrywane już u kilku milionów osób rocznie.

Do niszczenia komórek nowotworowych w organizmie pacjenta używa się m.in. różnych odmian promieniowania jonizującego, głównie fotonów i elektronów, ostatnio coraz częściej także protonów i ciężkich jonów. Promieniowanie rozrywa łańcuchy DNA komórek i rozkłada wodę na wolne rodniki, które utleniają cząsteczki chemiczne niezbędne komórkom dla utrzymania procesów życiowych.

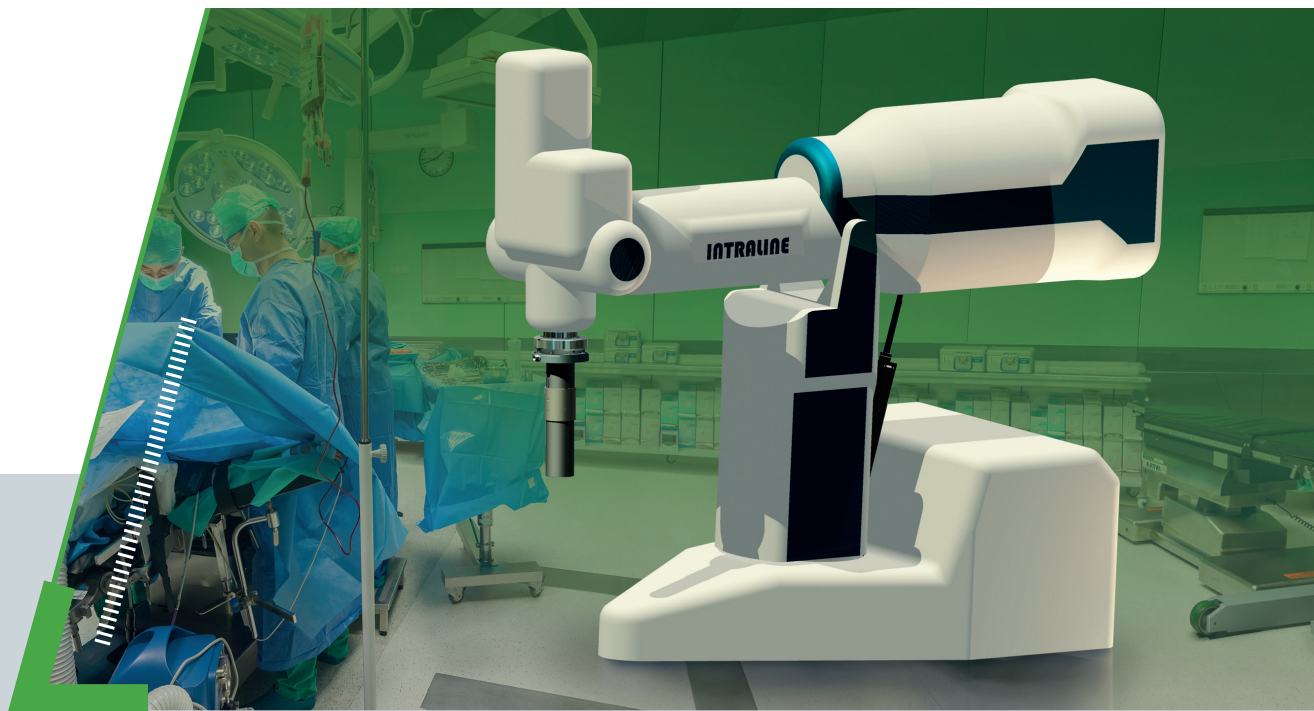
Promieniowanie jonizujące zabija zarówno komórki nowotworowe, jak i zdrowe. Dlatego napromieniania prowadzi się ostrożnie, do minimum ograniczając ich wpływ na inne zdrowe tkanki. Kluczowe znaczenie ma tu staranny dobór rodzaju cząstek i ich energii oraz formowanie promieniowania w wiązkę o precyzyjnie kontrolowanych rozmiarach i właściwościach.

Wysokoenergetyczne fotony (rentgenowskie lub gamma) przenikają przez ciało niszcząc komórki wzdłuż całej drogi wiązki w organizmie. Protony są precyzyjniejsze, ponieważ zaczynają silnie oddziaływać z tkanką od pewnej głębokości i tylko na określoną głębokość wnikania. Elektrony zachowują się jeszcze inaczej: oddziałują z komórkami zaraz po wniknięciu w tkankę (jak fotony), ale wyłącznie na **ograniczonym dystansie**, zależącym od ich energii (a zatem podobnie jak protony).

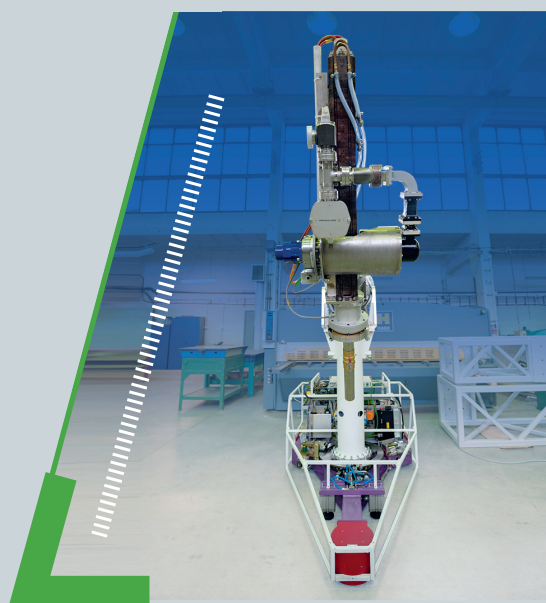
Radioterapia śródoperacyjna polega na napromienieniu podczas zabiegu chirurgicznego łóża po usuniętym nowotworze. Chirurg dostarcza wiązkę cząstek bezpośrednio w zagrożone miejsce, bez konieczności napromieniania zdrowych tkanek. Realizowana z użyciem **elektronów**, metoda daje rezultaty zbliżone do otrzymywanych za pomocą wielokrotnie droższych zabiegów z użyciem protonów czy ciężkich jonów.

Radioterapia śródoperacyjna elektronami to jedna z **najnowocześniejszych** i najszybciej upowszechniających się metod walki z nowotworami.



*Wyjątkowa mobilność**Wysoka jakość wiązki promieniowania**Niski poziom promieniowania ubocznego*

Akcelerator **IntraLine**



Akcelerator medyczny IntraLine zbudowano w ramach projektu INTRA-DOSE. Urządzenie, przystosowane do pracy w warunkach sterylności, służy do napromieniania tkanek i organów jednorodną przestrzennie i stabilną w czasie wiązką elektronów o dużej energii i intensywności, podawaną bezpośrednio w otwarte pole operacyjne. Zadaniem aparatu jest zniszczenie – jeszcze na etapie zabiegu chirurgicznego – tych komórek nowotworowych, które mogły pozostać w organizmie pacjenta mimo przeprowadzonej ekstrakcji guza.

Wyjątkowa mobilność głowicy akceleratora IntraLine pozwala szybko i wygodnie doprowadzić wiązkę terapeutyczną bezpośrednio w obszar zagrożony. Zdrowe tkanki i organy pozostają poza główną wiązką, w polu silnie ograniczonego, rozproszonego promieniowania. Tak przeprowadzone napromienienie charakteryzuje się zwiększoną efektywnością, redukuje ryzyko powikłań i skraca leczenie nawet o kilka tygodni.

Dzięki **integracji** głowicy z mobilnym manipulatorem akcelerator IntraLine można z łatwością dosunąć do standardowego stołu operacyjnego, wyłączając go na czas zabiegu radioterapeutycznego.

IntraLine

akcelerator wyjątkowy

Nowatorskie rozwiązania techniczne układów przyspieszania elektronów, formowania wiązki i jej pozycjonowania, opracowane w NCBJ i objęte ochroną patentową, gwarantują wytworzenie jednorodnej i stabilnej wiązki terapeutycznej wysokiej jakości. Sama struktura przyspieszająca jest krótka i ma niewielką masę. Dostępne poziomy energii elektronów (4-12 MeV) pozwalają realizować praktycznie dowolne zabiegi przewidziane przez współczesną

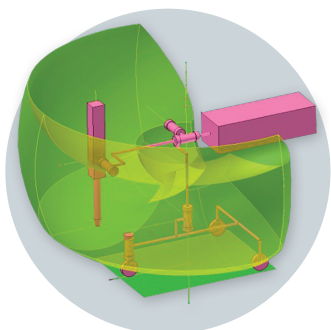
radioterapię śródoperacyjną. Profil wiązki, zweryfikowany w pomiarach dozymetrycznych, jest płaski w zakresie odpowiadającym normom krajowym i gwarantuje jednorodne naświetlanie tkanki w objętości walca o wysokości do 6 cm dawką promieniowania o dużej mocy (5 lub 10 Gy/min). Jednocześnie poziom ubocznego promieniowania rentgenowskiego jest aż 500 razy mniejszy od wymaganego przez stosowną normę.

Znakomita mobilność

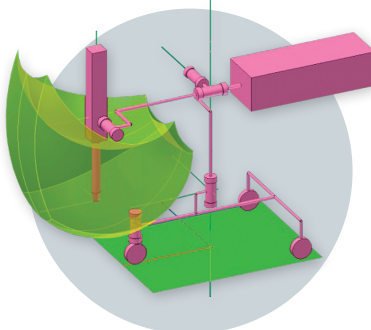
Zespół fizyków i inżynierów z NCBJ zaprojektował akcelerator IntraLine w sposób zapewniający jego wyjątkową mobil-

ność. W efekcie w trakcie zabiegu napromieniania głowica ma bardzo duży zakres ruchów:

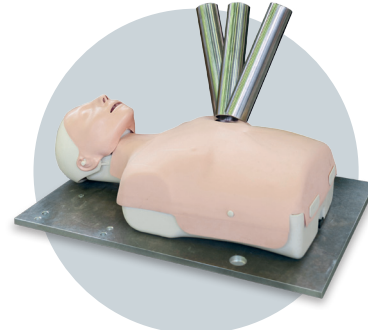
- ✓ wózek, będący integralną częścią akceleratora IntraLine, porusza się w przód i w tył oraz obraca w lewo i prawo
- ✓ zainstalowana na wózku kolumna podtrzymująca obraca się w zakresie $\pm 90^\circ$
- ✓ zrobotyzowane ramię z głowicą do napromieniania może się pochylać od $+30^\circ$ do -20° i skręcać w zakresie $\pm 45^\circ$
- ✓ głowica naświetlająca pochyla się w zakresie $\pm 60^\circ$



Przestrzeń robocza końcówki aplikatora przy unieruchomionym wózku.



Przestrzeń robocza końcówki aplikatora przy unieruchomionych wózku i kolumnie.



Pozycjonowanie stalowego aplikatora przy tułowie pacjenta.

Duża mobilność i wydajność wiązki akceleratora IntraLine ułatwia pracę operatorom, podnosi precyzję zabiegów i skraca

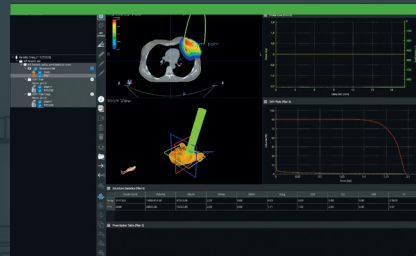
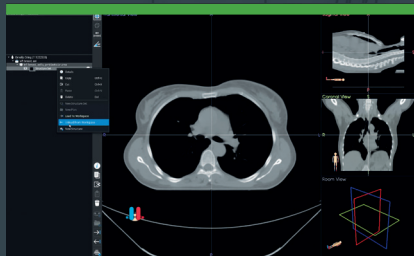
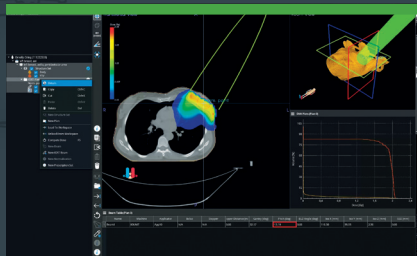
czas potrzebny na ich wykonanie. Umożliwia także napromienianie miejsc trudno dostępnych dla innych akceleratorów.

Oprogramowanie

Oprogramowanie do planowania przebiegu naświetleń śródoperacyjnych opracowała firma UJP Hitec Systems S.A. System korzysta z obrazów

tomografii komputerowej i oprócz typowych funkcji do optymalizowania pozycji i parametrów wiązki oraz analizy skutków napromieniowania

umożliwia korygowanie pierwotnych ustawień w trakcie operacji, adekwatnie do rzeczywistego przebiegu ekstrakcji guza.



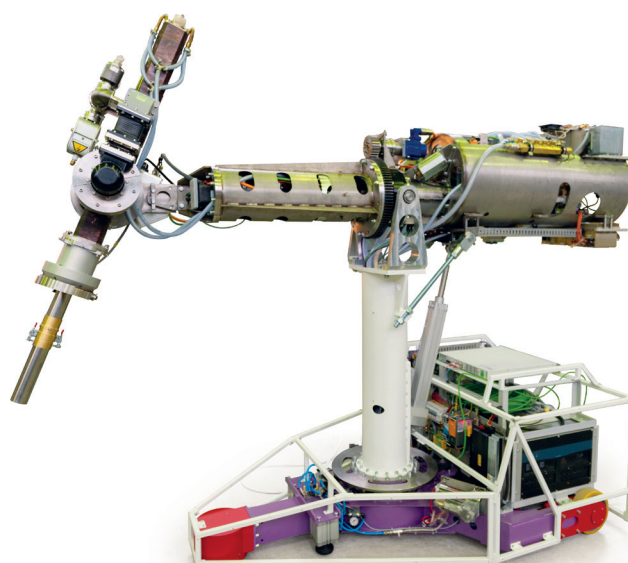
Operacja medyczna

Po ekstrakcji guza chirurg mocuje w ciele pacjenta krótki, stosunkowo lekki i łatwy do pozycjonowania stalowy aplikator. Obejmuje on całe pole przewidziane do napromienienia (dostępne są aplikatory o średnicy od 3 do 12 cm) i jest orientowany wzdłuż zaplanowanego kierunku wiązki elektronów. Kolejny krok to dosunięcie akceleratora IntraLine do stołu operacyjnego. Na tym etapie przeprowadza się dokowanie, polegające na współosiowym ustawieniu głowicy z aplikatorem. Wyjątkowa mobilność akceleratora ułatwia pozycjonowanie końcówki i redukuje czas trwania tej fazy przygotowań do zaledwie 2-5 minut*. Podczas napromieniania za stabilność połączenia między aplikatorem a końcówką głowicy odpowiada mechaniczny układ blokujący.

Moc promieniowania

Duża moc promieniowania powoduje, że typowe napromienianie za pomocą akceleratora IntraLine trwa nie dłużej niż dwie minuty. Ze względów bezpieczeństwa personel medyczny musi na czas napromieniania opuścić salę operacyjną. Sterowanie pracą wiązki odbywa się wtedy z sąsiedniego pomieszczenia i jest realizowane za pomocą precyzyjnego systemu zdalnej kontroli. Dedykowany system audiowizualny zapewnia lekarzom ciągłość obserwacji wzrokowej pacjenta oraz życiowych monitorów kolumny anestezyjologicznej i gwarantuje komunikację głosową podczas przygotowywania zabiegu.

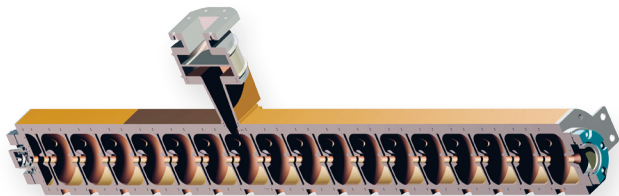
* W ramach projektu INTRA-DOSE powstał także prototypowy system podglądu pola napromieniania, ułatwiający dokowanie.



Od grzania do napromieniania

Źródłem elektronów w akceleratorze IntraLine jest element grzewczy (żarzona katoda w układzie triodowym). Emitowane przez nią elektrony są grupowane i kierowane do wnętrza struktury przyspieszającej złożonej z 18 wnęk rezonanso-

wych, tworzących falowód wypełniony polem elektrycznym o wielkiej częstotliwości. Porcje elektronów są wstrzeliwane do falowodu w odpowiednich momentach, tak by poruszając się z falą elektromagnetyczną były wciąż przyspieszane.



Przekrój przez strukturę przyspieszającą akceleratora IntraLine.

Intensywność wiązki terapeutycznej jest mierzona za pomocą dwóch niezależnych układów komór jonizujących. Generują

one sygnał referencyjny, używany do stabilizowania dawek promieniowania emitowanego przez akcelerator.

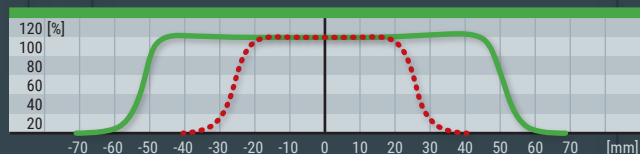
Profil wiązki

Profil wiązki elektronów opuszczających strukturę przyspieszającą przypomina dzwon. Tak ukształtowana wiązka nie nadaje się do celów terapeutycznych. Za spłaszczenie profilu i uformowanie wiązki terapeutycznej odpowiada specjalny układ folii rozpraszająco-filtrujących. Jest to oryginalne rozwiązanie, w całości opracowane przez naukowców Narodowego Centrum Badań Jądrowych w Świerku.

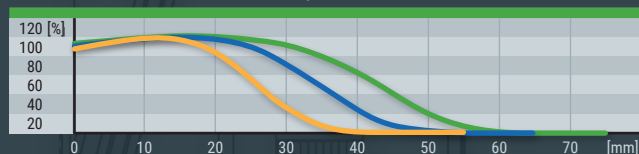


Energia 6 MeV —
Energia 8 MeV —
Energia 10 MeV —
Energia 12 MeV - - - - -

Pomiar profilów wiązki dla aplikatorów 10 i 5 cm



Dawka pochłonięta w funkcji głębokości dla energii wiązki



Prace badawcze

Pierwsze prace badawcze i konstrukcyjne nad akceleratorem śródoperacyjnym do napromieniania wysokiej jakości wiązką elektronów, obejmujące modelowanie dynamiki wiązki elektronów, symulacje Monte Carlo, projektowanie elektro-

niki sterującej oraz budowę układów mechanicznych, rozpoczęto w NCBJ w 2008 roku w projekcie Akceleratory i Detektory (AiD). Efektem zakończonego w 2014 roku projektu była wersja demonstracyjna akceleratora.

Parametry techniczne

PARAMETRY FIZYCZNE

zgodne z zaleceniami normy IEC 60977

energia	4-12 MeV
impulsowy prąd wiązki elektronów	≤ 5 mA
średnica aplikatorów	3-12 cm
symetria dla wszystkich pól	$\leq 102\%$
płaskość	≤ 10 mm
moc dawki	5 oraz 10 Gy/min (aplikator $\varnothing = 10$ cm)
odległość SSD	60 cm
proporcjonalność	$\pm 3\%$

PARAMETRY MECHANICZNE

ruchy	dane
obrót kolumny	$\pm 90^\circ$
pochylenie głowicy od/do kolumny	$45^\circ / 30^\circ$
pochylenie głowicy na boki	$\pm 45^\circ$
maksymalna wysokość aparatu w pozycji pracy/złożonej	3 m / 2 m
maksymalna szerokość	1,15 m
wymiary (w pozycji złożonej)	1,15 x 2 x 2,2 m
waga	<900 kg (rozłożona na pow. 1,5 m ²)
maksymalna prędkość ruchów na sali operacyjnej	≤ 10 cm/s $\leq 7^\circ$ /s
stół operacyjny	nie wymaga dedykowanego stołu operacyjnego

PARAMETRY ELEKTRYCZNO-ELEKTRONICZNE

działo elektronowe	trioda
długość impulsu promieniowania	≤ 4 μ s
częstotliwość repetycji	≤ 30 Hz
wyłączniki awaryjne	3
sterowanie ruchami	za pomocą kasety sterowniczej
sterowanie urządzeniem	szafa sterująca z pulpitem, system sterowania oparty na jednostkach PLC

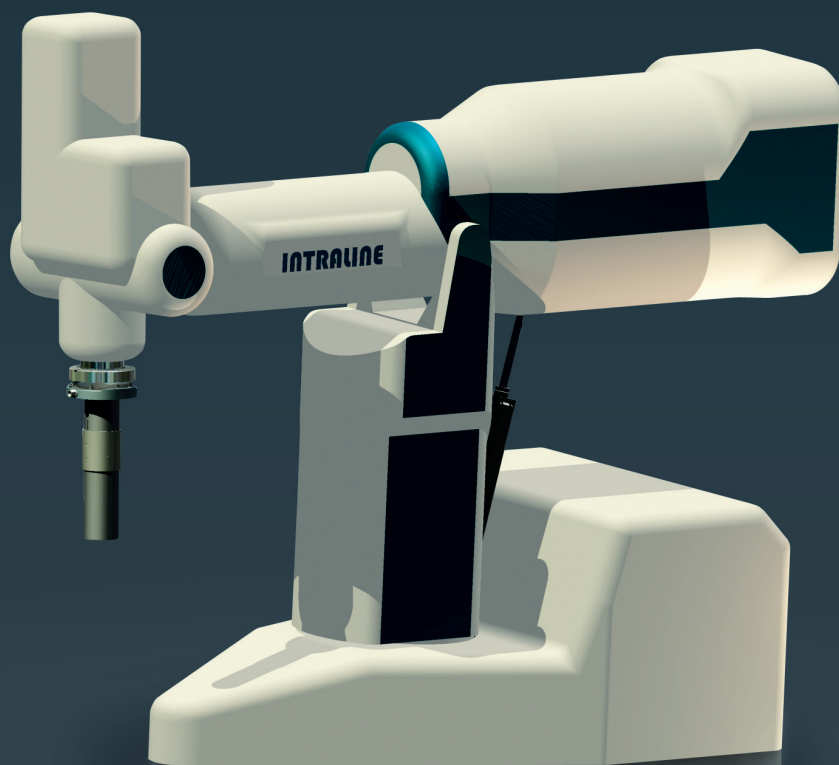
Zespół

W powstanie akceleratora IntraLine był zaangażowany zespół fizyków, inżynierów i onkologów liczący ponad 50 osób. W projekcie zastosowano cztery wynalazki opatentowane przez NCBJ oraz szereg innowacyjnych rozwiązań technicznych.



Projekt INTRA-DOSE

Akcelerator śródoperacyjny IntraLine zbudowano w ramach projektu INTRA-DOSE, realizowanego przez konsorcjum złożone z Narodowego Centrum Badań Jądrowych w Świerku, Wielkopolskiego Centrum Onkologii w Poznaniu oraz partnerów przemysłowych: UJP Hitec Systems S.A. i firmy Jarosław Kołcun. Projekt był dofinansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach Programu Badań Stosowanych w ścieżce B.



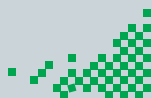
IntraLine

medyczny akcelerator
elektronów do radioterapii
śródooperacyjnej



Narodowe Centrum
Badań Jądrowych
Świerk

Narodowe Centrum Badań Jądrowych
ul. Andrzeja Sołtana 7
05-400 Otwock
tel.: +48 22 2731001, fax: +48 22 7793481
e-mail: ncbj@ncbj.gov.pl
www.ncbj.gov.pl



wielkopolskie centrum onkologii

Wielkopolskie Centrum Onkologii
im. Marii Skłodowskiej-Curie
ul. Garbary 15
61-866 Poznań
tel.: +48 61 8850500, fax: +48 61 8521948
www.wco.pl

Kontakt



Narodowe Centrum
Badań i Rozwoju

Projekt współfinanso-
wany przez Narodowe
Centrum Badań i Roz-
woju w ramach Progra-
mu Badań Stosowanych
w ścieżce B.