



# Jak dobrze zaplanować terapię w urządzeniu Gamma Knife

## How to plan your therapy with Gamma Knife

Anna Mitek, Katarzyna Antończyk-Szewczyk

Exira Gamma Knife, ul. Ceglana 35, 40-514 Katowice, tel. +48 501 593 211, e-mail: a.mitek@exira.pl

### Streszczenie

Leczeniu metodą radiochirurgii stereotaktycznej w urządzeniu Leksell Gamma Knife Perfexion w Katowicach poddawani są głównie pacjenci z nerwiakami, oponiakami i guzami przerzutowymi do mózgu, ale także z innymi schorzeniami, jak np. hamartoma, paraganglioma, neuralgia nerwu trójdzielnego. Leczenie radiochirurgiczne odbywa się w kilku etapach i polega na napromienieniu pacjenta wysoką dawką w jednej frakcji. Zabieg jest przeprowadzany przez zespół składający się z neurochirurga, radioterapeuty, radiologa, fizyka medycznego i pielęgniarkę. Procedurę rozpoczyna założenie ramy stereotaktycznej, następnymi etapami są badania obrazowe RM i TK, planowanie leczenia i ostatecznie napromienianie. Liczba zmian, ich rodzaj, całkowita objętość oraz dawka terapeutyczna determinują czas napromieniania, który waha się od kilkunastu minut do kilku godzin. Cała procedura odbywa się w ciągu jednego dnia. Planowanie leczenia odbywa się z pomocą Gamma Plan 10.1.1, a obliczenia oparte są na badaniach obrazowych (TK, RM, angiografia).

Niewątpliwą zaletą leczenia radiochirurgicznego metodą Gamma Knife jest jego precyzja, osiągnięta dzięki ramie stereotaktycznej Leksell'a i promieniowaniu pochodzącym z 192 źródeł kobaltu-60, formowanym przez kolimatory o średnicy 4 mm, 8 mm i 16 mm. Inne zalety leczenia metodą Gamma Knife to wysoka konformalność napromieniania, możliwie duża liczba napromienianych zmian, stosunkowo wysoka ochrona narządów krytycznych, minimalne dawki poza obszarem napromieniania oraz fakt, iż całość leczenia odbywa się w ciągu zaledwie jednego dnia.

Jako wady wskazać można stosunkowo inwazyjną metodę zakładania ramy stereotaktycznej, czas napromieniania i ograniczony do głowy i górnego odcinka szyjnego obszar zastosowania.

**Słowa kluczowe:** Gamma Knife, rama stereotaktyczna, radiochirurgia

### Abstract

The method of stereotactic radiosurgery realised with the use of Leksell Gamma Knife Perfexion in Katowice concerns mainly patients with acoustic neuroma, meningioma, brain metastases and also others, like hamartoma, paraganglioma, trigeminal neuralgia.

Gamma Knife radiosurgical procedure is a few steps treatment preparing patients to high-dose radiation therapy in a single fraction. The procedure is performed by a group of specialists including a neurosurgeon, radiooncologist, radiologist, medical physicist and nurse. The treatment starts with stereotactic frame fixation, next steps are CT and MRI imaging, contouring, computer treatment planning and finally irradiation. The total volume, number of lesions and type of target determine the time of patient's irradiation, which fluctuates from minutes to hours. The whole procedure takes place during one day. Treatment planning is prepared with the use of GammaPlan 10.1.1 and the calculations are based on diagnostic imaging (CT, MRI, angiography).

The most crucial advantage of GK radiosurgery is its remarkable accuracy achieved due to Leksell stereotactic frame and irradiation coming from 192 Co-60 sources formed by 16 mm, 8 mm and 4 mm collimators. Other advantages of Gamma Knife treatment include high irradiation conformity, possibly high number of irradiated lesions, relatively high critical organ protection, minimal doses outside the irradiated area and the fact that the whole treatment takes place in just one day.

As disadvantages we may mention a relatively invasive method of frame fixation, time of treatment and its only intracranial possibility of use.

**Key words:** GammaKnife, stereotactic localization frame, radiosurgery

otrzymano / received:

24.04.2018

poprawiono / corrected:

09.05.2018

zaakceptowano / accepted:

16.05.2018



## Wprowadzenie

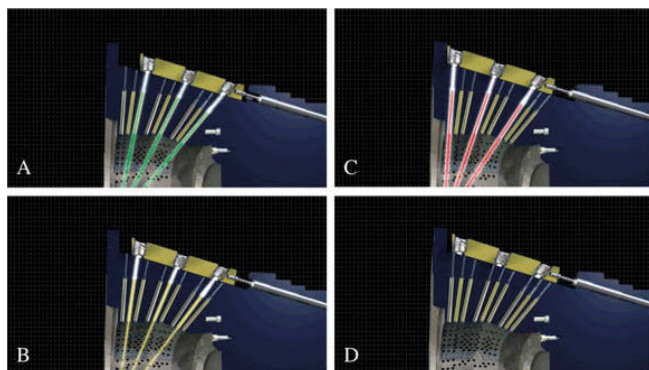
Radiochirurgia stereotaktyczna z użyciem Gamma Knife to metoda radioterapii, umożliwiająca dostarczenie zaplanowanej dawki promieniowania do precyzyjnie wyznaczonego obszaru w obrębie głowy i górnego odcinka szyjnego. W leczeniu tą metodą wykorzystuje się techniki lokalizacji stereotaktycznej, a dawkę promieniowania dostarcza się najczęściej w jednej frakcji (leczenie jednorazowe) [1].

Procedury z użyciem Gamma Knife stały się standardem opieki medycznej. Wysoka skuteczność i precyzja przeprowadzanych zabiegów sprawia, że efekty mogą być porównywane z klasycznymi technikami operacyjnymi. Jednocześnie nienaruszenie ciągłości tkanek minimalizuje ryzyko komplikacji po zabiegu.

Wskazaniem do radiochirurgii stereotaktycznej Gamma Knife są: guzy przerzutowe do mózgu, niektóre glejaki, oponiaki mózgu, nerwiaki nerwów czaszkowych, czaszko gardłaki, przyzwójaki, guzy przysadki, hamartoma, guzy gałki ocznej, neuralgie, naczyniaki, choroba Parkinsona, padaczka.

## Gamma Knife Perfexion

Urządzenie Leksell Gamma Knife Perfexion posiada 192 źródła kobaltu Co-60. Średnia wartość energii kobaltu to 1,25 MeV, a czas połowicznego rozpadu wynosi 5,25 lat. Źródła promieniowania umieszczone są w odpowiednich osłonach, dzięki czemu urządzenie jest bezpieczne dla pacjentów oraz personelu. Źródła kobaltu znajdują się w 8 sektorach, po 24 źródła w każdym sektorze i skupiają się w jednym punkcie izocentrum. Podczas leczenia dla każdego sektora można wybrać kolimator o wielkości 16 mm, 8 mm, 4 mm lub pozycję blokowania, czyli wyłączenia sektora (Rys. 1).



**Rys. 1** Umieszczenie źródeł w jednej z czterech pozycji: kolimator o rozmiarze 8 mm (A), 4 mm (B), 16 mm (C) lub pozycji blokowania/wyłączenia sektora (D)  
Źródło: [2].

Rozmiar kolimatora określa wielkość wiązki promieniowania gamma. W trakcie leczenia wiązki promieniowania gamma skupiają się w wyznaczonym podczas planowania obszarze zmiany. Leczenie jest bardzo precyzyjne, z dokładnością do 0,15 mm. Dawka promieniowania jest wystarczająca do skutecznego leczenia wyznaczonego obszaru, ale nie uszkadza okolicznych tkanek.

## Leczenie w urządzeniu Gamma Knife

Leczenie w radiochirurgii stereotaktycznej składa się z kilku etapów. Pierwszym etapem jest założenie przez neurochirurga ramy stereotaktycznej. Ramę zakłada się w znieczuleniu miejscowym. Na tym etapie należy tak założyć ramę i dobrać rodzaje słupków przednich i tylnych, aby podczas terapii nie doszło do konfliktu, czyli dotknięcia obudowy Gamma Knife przez elementy ramy stereotaktycznej, np. jeżeli zmiana znajduje się skrajnie w lewej skroni, to ramę należy przesunąć jak najbardziej w prawo.

Drugim etapem leczenia jest wykonanie diagnostyki. Najczęściej wykonuje się badanie TK głowy i RM głowy. Przed wykonaniem badania TK i RM na ramę stereotaktyczną zakłada się indykator TK lub RM (Rys 2). Indykatory posiadają system znaczników, które zapewniają, że na obrazach widoczne są punkty charakterystyczne. Położenie zestawów punktów na obrazie przedstawia względną pozycję czaszki pacjenta w przestrzeni stereotaktycznej [3].



**Rys. 2** Indykator TK i indykator RM  
Źródło: [4].

Pacjenta z ramą i założonym na nią indykatorem umieszcza się w specjalnym holderze. Dzięki stosowaniu holderów mamy powtarzalność ułożenia pacjenta oraz zaplanowanych warstw badania. Duże znaczenie ma także przygotowanie indykatorów przed badaniem. Indykator TK musi być wypoziomowany względem układu laserowego TK, a w przypadku indykatora RM



należy pamiętać o uzupełnianiu kapilar płynem, tak aby nie było w nich pęcherzyków powietrza.

Ważny jest dobór sekwencji w badaniu RM (obrazowanie w czasie T1, T2, gr. warstwy ok. 1 mm, 3D, badanie przed i po kontraście) oraz w badaniu TK odpowiedni dobór parametrów (kV, mAs, grubość warstwy ok. 1 mm, filtry std i bone).

W przypadku leczenia malformacji naczyniowych należy wykonać także badanie angiograficzne naczyń mózgowych w ramie stereotaktycznej.

Trzecim etapem jest przygotowanie planu leczenia. Terapię planuje się w systemie Leksell Gamma Plan 10.1.1. Po wykonaniu badań diagnostycznych, w systemie planowania definiuje się te badania. Im mniejszy błąd definicji, tym dokładniejsza terapia. Średnia wartość błędów definicji ramy zamieszczona jest w tabeli nr 1.

Tabela 1 Średnie wartości błędów definiowania badań diagnostycznych

	Błąd średni	Błąd max.
Badanie tomografii komputerowej	0,2	0,4
Badanie rezonansu magnetycznego	0,8	1,0

Źródło: Opracowanie własne.

Przed rozpoczęciem planowania terapii należy zdefiniować czaszkę oraz matrycę. Czaszkę można zdefiniować na dwa sposoby: z pomiarów głowy lub wykorzystując obrazy tomografii komputerowej. Matryca to sześcienna siatka obliczeniowa, która posiada w każdym kierunku po 31 punktów obliczeniowych. Wielkość matrycy wpływa na dokładność obliczeń. Im mniejsza matryca, tym obliczenia są bardziej dokładne. Jeżeli jest kilka zmian, to każda zmiana powinna mieć swoją siatkę obliczeniową i nie powinny one na siebie nachodzić. Przy definiowaniu matrycy definiuje się także dawkę oraz izodozę terapeutyczną. Dawka zależy od rodzaju zmiany, jej objętości. Przykładowe dawki pokazane są w tabeli 2.

Tabela 2 Przykładowe wartości dawek terapeutycznych stosowanych w Gamma Knife

Rodzaj zmiany	Dawka terapeutyczna
oponiaki	12-16 Gy w izodozie 50%
nerwiaki	12 Gy w izodozie 50%
przerzuty do mózgu	16-24 Gy w izodozie 50%-80%
Hamartoma	12-20 Gy w izodozie 50%
Paraganglioma	16-20 Gy w izodozie 50%
Neuralgia	85-90 Gy w izodozie 100%
Choroba Parkinsona	130 Gy w izodozie 100%

Źródło: Opracowanie własne.

Planowanie polega na pokryciu zadanej zmiany (targetu) izodozą terapeutyczną. Na panelu do planowania znajduje się informacja o strzałach (współrzędne strzału, waga strzału, wielkość kolimatora). Każdy sektor oddzielnie może mieć inny kolimator. Wielkości kolimatora to: 4 mm, 8 mm, 16 mm lub pozycję blokowania. Jeżeli w pobliżu targetu znajduje się narząd krytyczny, np. ślimak słuchowy, nerw wzrokowy, pień mózgu, to można skorzystać z narzędzia dynamic shaping. Narzędzie to podpowiada, które sektory można zablokować, by uzyskać mniejszą dawkę na narządach krytycznych.

Przy ocenie planu leczenia patrzy się na następujące parametry:

- gradient
- selektywność
- pokrycie
- czas napromieniania
- dawki maksymalne (izodozy 90%)
- dawki na narządy krytyczne.

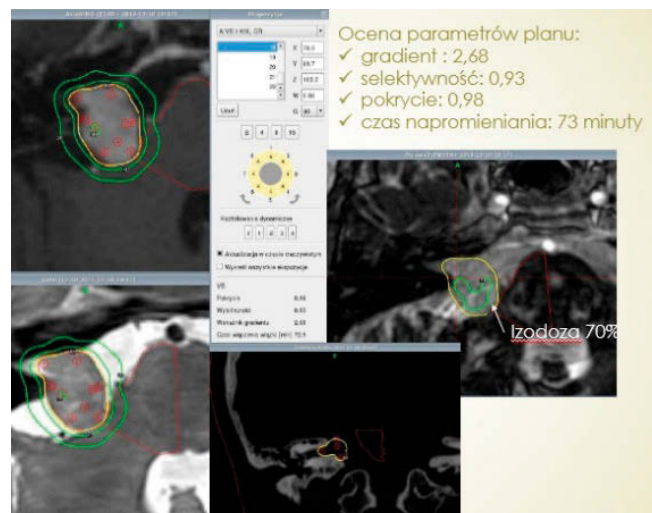
Pokrycie to objętość targetu, która pokryta jest izodozą 50% lub izodozą, na którą jest przypisywana dawka/objętość całego targetu. Pokrycie między 0,95-1,0 jest wartością akceptowaną w planie leczenia.

Selektywność to objętość, jaką pokrywa izodoza 50% w targecie w stosunku do objętości, jaką obejmuje izodoza 50%. Selektywność między 0,85-1,0 jest wartością akceptowaną w planie leczenia.

Gradient to objętość, jaką obejmuje izodoza 25% do objętości, jaką obejmuje izodoza 50%.

Czas napromieniania zależy od objętości guza, dawki zadanej oraz wartości mocy dawki, która maleje wraz z upływającym czasem połowicznego rozpadu źródeł kobaltu.

Podczas planowania staramy usuwać tzw. hot spoty, czyli obszary, gdzie znajduje się izodoza 90%. Zakładamy, że na jeden target może być jedna izodoza 90%.



Rys. 3 Przykładowy plan nerwiaka nerwu słuchowego

Źródło: [5].

Dawki na narządy krytyczne oceniamy na histogramie. Oceniamy maksymalne wartości dawek oraz dawkę w objętości. Przykładowe wartości dawek na narządy krytyczne znajdują się w tabeli 3.

Plan akceptowany jest przez lekarza neurochirurga, lekarza radioterapeutę oraz fizyka medycznego.

Na końcu dawki zaplanowanej w terapii należy zweryfikować w Gamma Plan Mu-Check. Jest to system, który przelicza dawki w zadanych punktach. Do weryfikacji podajemy dawki w punkcie dla izodozy 95%, 90%, 80% i 50%. Różnica między wyliczoną dawką w systemie a dawką z planu nie może przekroczyć 5%.



reklama



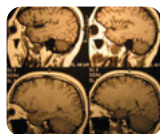
OŚRODEK BADAŃ i ANALIZ „PP”

Marek Zając i Artur Zając s.c.

ul. prof. Michała Bobrzyńskiego 23A/U2, 30-348 KRAKÓW,  
fax: +48 12 202 04 77, tel.: +48 603 18 77 88,  
e-mail: ppmz@interia.pl

POSIADAMY AKREDYTACJĘ NR AB 286

## POMIARY



### WYKONUJEMY:

testy specjalistyczne aparatury rentgenowskiej (stomatologia, radiografia, fluoroskopia, mammografia, tomografia komputerowa) • **pomiary dozymetryczne** w środowisku pracy i w środowisku w otoczeniu aparatów rtg • **projekty pracowni rtg** wraz z obliczaniem osłon stałych • **szkolenia** z zakresu wykonywania testów podstawowych • **opracowujemy dokumentację** Systemu Jakości w pracowniach rtg.



### PONADTO WYKONUJEMY POMIARY:



**natężenia** pola elektromagnetycznego (m.in. rezonans magnetyczny) • **hałasu** i drgań • **natężenia i równomierności oświetlenia** na stanowiskach pracy i oświetlenia awaryjnego • **promieniowania optycznego** nielaserowego (180–3000 nm): nadfioletowe, widzialne (w tym niebieskie), podczerwone • **promieniowania laserowego** • **pobieranie prób powietrza** oraz oznaczanie zawartości pyłu całkowitego i respirabilnego.

[www.ppkraow.pl](http://www.ppkraow.pl)

Tabela 3 Przykładowe wartości dawek max. na narządy krytyczne

Narząd krytyczny	Dawka max. [Gy]
Ślimak	4,5 Gy
Nerw wzrokowy	8 Gy
Skrzyżowanie nerwu wzrokowego	8 Gy
Przysadka mózgowa	15 Gy
Nerw twarzowy	12 Gy
Pień mózgu	15 Gy
Soczewka	0,8 Gy

Źródło: Opracowanie własne.

Po akceptacji i weryfikacji planu leczenia pacjent rozpoczyna terapię. Podczas terapii pacjent może słuchać radia, może mieć także krótką przerwę.

## Podsumowanie

Zaletą leczenia radiochirurgicznego metodą Gamma Knife jest jego precyzja, osiągnięta dzięki ramie stereotaktycznej Leksell'a i promieniowaniu pochodzącym z 192 źródeł kobaltu-60, formowanym przez kolimatory o średnicy 4, 8 i 16 mm. Inne zalety leczenia metodą Gamma Knife to wysoka konformalność napromieniania, możliwie duża liczba napromienianych zmian, stosunkowo wysoka ochrona narządów krytycznych, minimalne dawki poza obszarem napromieniania oraz fakt, iż całość leczenia odbywa się w ciągu zaledwie jednego dnia.

Jako wady wskazać można stosunkowo inwazyjną metodę zakładania ramy stereotaktycznej, czas napromieniania i ograniczony do głowy i górnego odcinka szyjnego obszar zastosowania.

## Literatura

1. R. Liscak: *Gamma Knife Radiosurgery*, 2013, 8-10.
2. Elekta, Leksell Gamma Knife Perfexion High, <https://www.elekta.com/radiosurgery/leksell-gamma-knife-perfexion.html>
3. Elekta. Leksell Gamma Plan., 2011, 114-119.
4. Elekta. Leksell Gamma Plan., 2011, 4.
5. C.A. Goller, J.A. Fiedler, G.J. Gagnon, I. Paddick: *Radiosurgical Planning Gamma Trick and Cyber Pick*, Wiley-Blackwell, 2009.