

Praca poglądowa/Review paper

# Porównanie jakości obrazowania systemu HyperSight CBCT i konwencjonalnego kV-CBCT na akceleratorze TrueBeam z wykorzystaniem fantomu Catphan

## Comparison of the imaging quality of the HyperSight CBCT system and conventional kV-CBCT on the TrueBeam accelerator using the Catphan phantom

Karolina Sanocka<sup>1</sup>, Olga Jankowiak<sup>1</sup>, Ewelina Nowak<sup>1</sup>, Zuzanna Wróblewicz<sup>1</sup>,  
Sebastian Gajny<sup>1</sup>, Bartosz Pawałowski<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Zakład Fizyki Medycznej, Wielkopolskie Centrum Onkologii, Poznań

---

### Streszczenie

Celem pracy była ilościowa ocena jakości obrazowania systemu HyperSight CBCT w porównaniu z konwencjonalnym kV-CBCT, z wykorzystaniem protokołów Head, Pelvis i Thorax.

**Materialy i metody:** Fantom Catphan obrazowano na dwóch akceleratorach TrueBeam - wyposażonych odpowiednio w system HyperSight CBCT i konwencjonalnym kV-CBCT. Oceniono rozdzielczość wysokokontrastową i niskokontrastową, szum obrazu, stosunek sygnału do szumu, jednorodność oraz zgodność wartości HU dla standardowych wkładek materiałowych.

**Wyniki:** W porównaniu z konwencjonalnym kV-CBCT system HyperSight CBCT wykazywał niższy szum, wyższy SNR oraz lepszą jednorodność obrazu we wszystkich analizowanych protokołach. W protokole Head uzyskano również lepszą rozdzielczość wysokokontrastową oraz korzystniejszą widoczność obiektów niskokontrastowych dla kontrastu 1,0%. Analiza wartości HU wykazała różnice w odwzorowaniu poszczególnych materiałów, przy czym konwencjonalny kV-CBCT zwykle uzyskiwał wyższe wartości HU, szczególnie dla Teflonu i Delrinu. Rozdzielczość niskokontrastowa zależała od zastosowanego protokołu.

**Wnioski:** HyperSight CBCT poprawia wybrane parametry jakości obrazu względem konwencjonalnego kV-CBCT, zwłaszcza szum, SNR, jednorodność oraz część parametrów rozdzielczości. Zakres poprawy zależał od protokołu akwizycji i ocenianego parametru, co potwierdza potrzebę osobnej oceny każdego protokołu klinicznego.

### Abstract

The aim of this study was to quantitatively evaluate the imaging quality of the HyperSight CBCT system compared to conventional kV-CBCT, using the Head, Pelvis, and Thorax protocols.

**Materials and Methods:** The Catphan phantom was imaged on two TrueBeam accelerators-equipped with the HyperSight CBCT system and a conventional kV-CBCT system, respectively. High-contrast and low-contrast

resolution, image noise, signal-to-noise ratio, uniformity, and consistency of HU values for standard material inserts were assessed.

**Results:** Compared to conventional kV-CBCT, the HyperSight CBCT system demonstrated lower noise, higher SNR, and better image uniformity in all analyzed protocols. The Head protocol also achieved better high-contrast resolution and improved visibility of low-contrast objects at 1.0% contrast. Analysis of HU values revealed differences in the imaging of individual materials, with conventional kV-CBCT typically achieving higher HU values, particularly for Teflon and Delrin. Low-contrast resolution depended on the protocol used.

**Conclusions:** HyperSight CBCT improved selected image quality parameters compared to conventional kV-CBCT, particularly noise, SNR, uniformity, and some resolution parameters. The extent of improvement depended on the acquisition protocol and the parameter assessed, confirming the need for separate evaluation of each clinical protocol.

**Słowa kluczowe:** HyperSight, CBCT, Catphan, jakość obrazu, IGRT

**Keywords:** HyperSight, CBCT, Catphan, image quality, IGRT

---

Adres do korespondencji  
Karolina Sanocka  
Zakład Fizyki Medycznej,  
Wielkopolskie Centrum Onkologii  
karolina.sanocka@wco.pl

## Wstęp

Radioterapia sterowana obrazem (IGRT) jest obecnie nieodłącznym elementem nowoczesnego leczenia onkologicznego, ponieważ umożliwia ocenę położenia pacjenta i anatomii bezpośrednio przed frakcją napromieniania. Jedną z najczęściej stosowanych metod obrazowania weryfikacyjnego jest tomografia stożkowa (CBCT), która jest zintegrowana z akceleratorem liniowym. Pomimo szerokiego zastosowania tej technologii w praktyce klinicznej, obrazy uzyskiwane za pomocą CBCT charakteryzują się zazwyczaj wyższym poziomem szumu, mniejszą jednorodnością, a także niższą stabilnością wartości jednostek Hounsfielda w porównaniu do konwencjonalnej tomografii komputerowej. Czynniki te mogą istotnie ograniczać użyteczność obrazów CBCT w bardziej zaawansowanych zastosowaniach klinicznych, które wykraczają poza samo pozycjonowanie pacjenta [1]. System HyperSight CBCT reprezentuje nową generację technologii obrazowania kV-CBCT, wyróżniającą się szybszym czasem akwizycji, rozszerzonym polem widzenia oraz lepszą jakością obrazu w porównaniu do tradycyjnych systemów CBCT. Przeprowadzone badania potwierdzają znaczną poprawę takich parametrów jak kontrast, jednorodność obrazu, redukcja szumów oraz stabilność wartości HU, co podkreśla potencjał tego systemu do szerszego zastosowania w codziennej praktyce radioterapeutycznej [2,3,4]. Ocena jakości obrazu powinna brać pod uwagę nie tylko parametry samego systemu obrazującego, ale również zastosowany protokół akwizycji. Protokoły takie jak *Head*, *Pelvis* czy *Thorax* mają różne wymagania dotyczące rozdzielczości, kontrastu oraz poziomu szumów, co sprawia, że ich parametry mogą się różnić, nawet w przypadku tego samego urządzenia.

Celem niniejszej pracy była techniczna ocena jakości obrazowania systemu HyperSight CBCT w porównaniu z konwencjonalnym kV-CBCT z wykorzystaniem fantomu Catphan. Analizę przeprowadzono dla protokołów *Head*, *Pelvis* i *Thorax*, oceniając rozdzielczość wysokokontrastową i niskokontrastową, szum, stosunek sygnału do szumu, jednorodność oraz zgodność wartości HU.

## Materiały i metody

**Aparatura i protokoły obrazowania.** Badanie przeprowadzono z wykorzystaniem dwóch akceleratorów liniowych TrueBeam (Varian Medical Systems, Palo Alto, CA, USA), z których jeden był wyposażony w system HyperSight CBCT, a drugi w konwencjonalny system obrazowania kV-CBCT (Rycina 1). System HyperSight wykorzystywał panel obrazujący RTI4343iL o wymiarach 43 cm × 43 cm, natomiast konwencjonalny system kV-CBCT był wyposażony w płaski detektor PaxScan 4030CB (Varex Imaging, Salt Lake City, UT, USA) o wymiarach 397 mm × 298 mm, co odpowiada polu obrazowania wynoszącemu 40 cm × 30 cm [5].



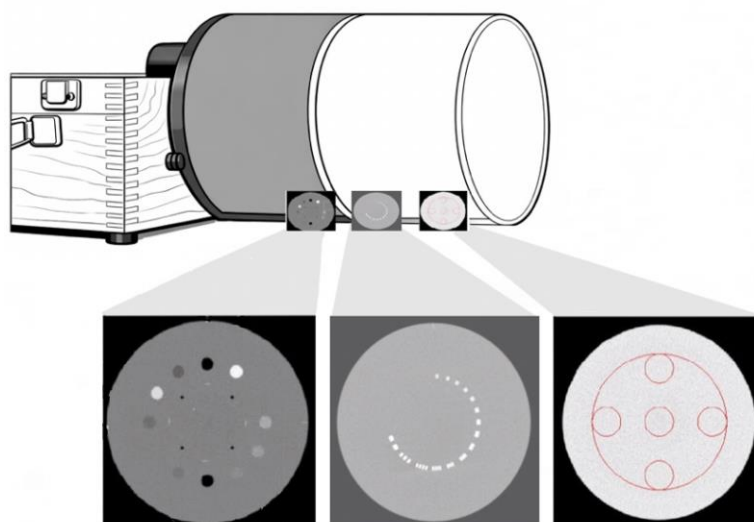
**Rycina 1.** Ustawienie fantomu Catphan 604 na akceleratorze TrueBeam podczas obrazowania CBCT.

W badaniu zastosowano trzy protokoły obrazowania: *Head*, *Pelvis* i *Thorax*, odpowiadające odpowiednio obrazowaniu okolicy głowy, miednicy i klatki piersiowej. Podczas akwizycji na obu akceleratorach fantom był ustawiony w izocentrum za pomocą laserów pozycjonujących. Dla obu systemów CBCT wykonano po pięć powtórzeń każdego protokołu. Parametry akwizycji zastosowane w analizie przedstawiono w tabeli 1.

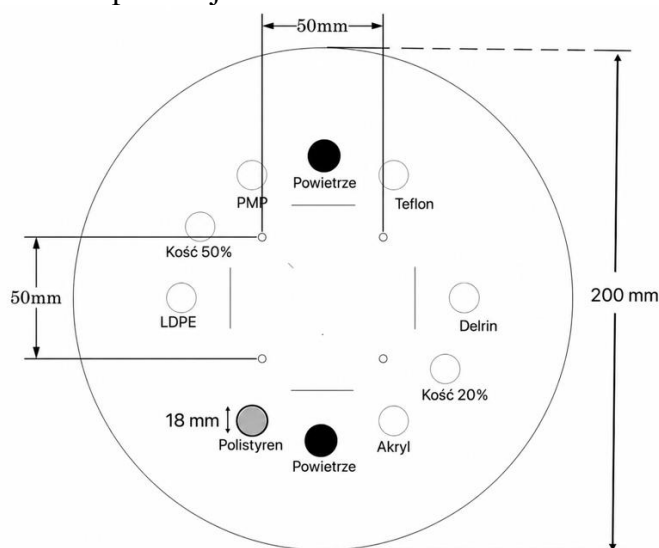
| System obrazowania              | Protokół | Napięcie lampy [kV] | Efektywne [mAs] | CTDIvol [mGy] | Grubość warstwy [mm] | Prędkość obrotu gantry [°/s] |
|---------------------------------|----------|---------------------|-----------------|---------------|----------------------|------------------------------|
| TrueBeam HyperSight CBCT        | Head     | 100                 | 149.7           | 3.16          | 2.0                  | 9.0                          |
|                                 | Pelvis   | 125                 | 1060.8          | 15.70         | 2.0                  | 9.0                          |
|                                 | Thorax   | 125                 | 265.2           | 3.92          | 2.0                  | 9.0                          |
| TrueBeam konwencjonalny kV-CBCT | Head     | 100                 | 150.3           | 3.17          | 2.0                  | 6.0                          |
|                                 | Pelvis   | 125                 | 1074.0          | 15.90         | 2.0                  | 6.0                          |
|                                 | Thorax   | 125                 | 268.5           | 3.97          | 2.0                  | 6.0                          |

**Tabela 1.** Podstawowe parametry akwizycji protokołów obrazowania.

**Fantom i analiza obrazów.** Do oceny jakości obrazu zastosowano fantom Catphan 604 (The Phantom Laboratory, Nowy Jork, NY, USA), który jest wielomodułowym urządzeniem przeznaczonym do kompleksowej kontroli jakości obrazowania tomograficznego i CBCT. Schemat modułów fantomu wykorzystanych w analizie przedstawiono na rycinie 2. W module służącym do oceny wartości HU znajdują się wkładki wykonane z materiałów o różnych właściwościach pochłaniania promieniowania. Do zastosowanych materiałów należą LDPE, PMP, polistyren, akryl, Delrin, Teflon oraz powietrze [6]. Rozmieszczenie tych wkładek w przekroju poprzecznym modułu zaprezentowano na rycinie 3.



**Rycina 2.** Fantom Catphan stosowany do ilościowej oceny jakości obrazowania kV-CBCT - schemat modułów fantomu oraz przykładowe ROI w przekroju.



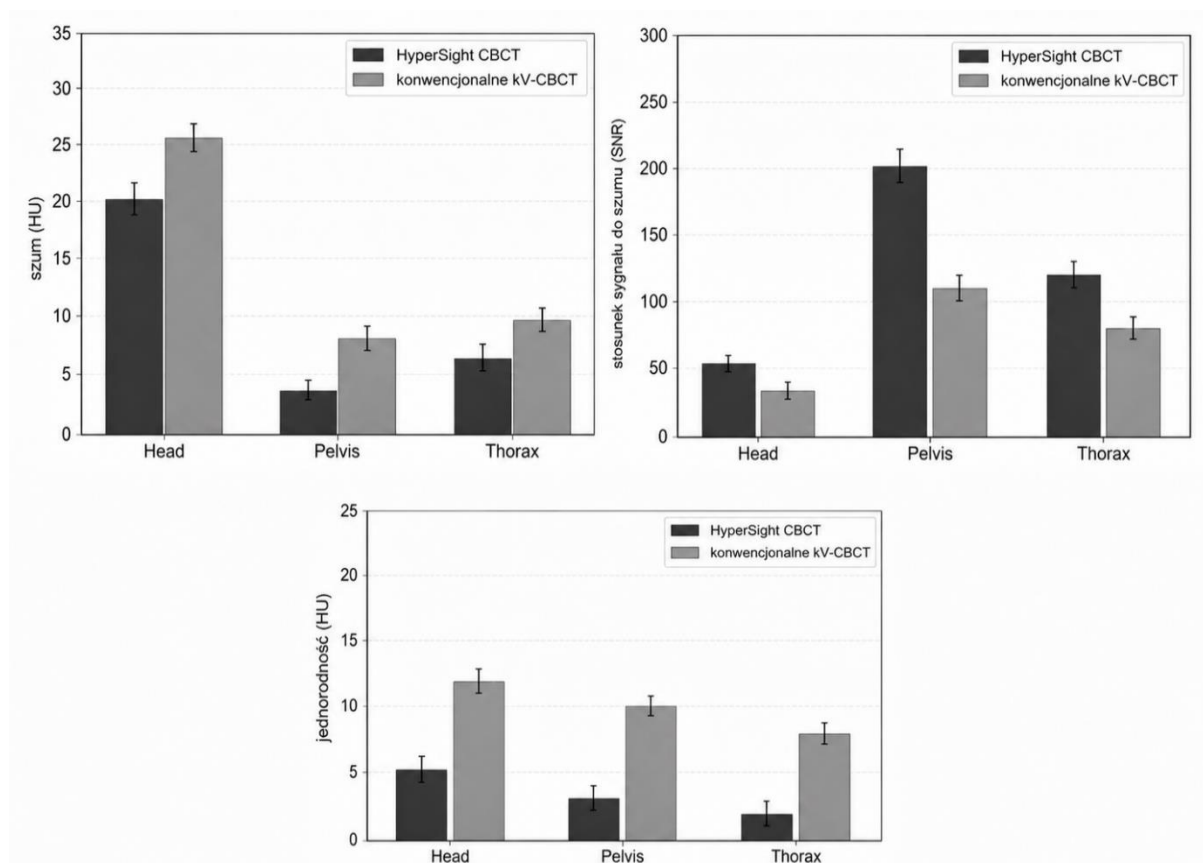
**Rycina 3.** Przekrój poprzeczny modułu pomiarowego fantomu Catphan604 z rozmieszczeniem wkładek materiałowych.

Po zebraniu danych, obrazy zostały zaimportowane do oprogramowania ARTISCAN Radiotherapy, gdzie przeprowadzono analizę jakości na podstawie określonych struktur fantomu. Oceniano takie parametry jak: rozdzielczość wysokokontrastowa [lp/cm], rozdzielczość niskokontrastowa dla kontrastów 1,0%, 0,5% i 0,3%, poziom szumu obrazu [HU], stosunek sygnału do szumu (SNR), jednorodność obrazu [HU], a także zgodność wartości HU dla standardowych wkładek materiałowych: akryl, powietrze, polistyren, teflon, woda, derlin, PMP i LDPE. We wszystkich seriach pomiarowych stosowano jednolite kryteria określania obszarów zainteresowania (ROI), co pozwoliło na bezpośrednie porównanie wyników między analizowanymi systemami obrazowania.

**Analiza statystyczna.** Wyniki parametrów ilościowych przedstawiono jako średnią i odchylenie standardowe, natomiast rozdzielczość niskokontrastową opisano poprzez medianę najmniejszej widocznej średnicy obiektu oraz zakres zaobserwowanych wartości. Wartości HU oceniono na podstawie średnich wartości uzyskanych dla standardowych wkładek materiałowych fantomu Catphan, porównując charakterystykę ich odwzorowania pomiędzy systemem HyperSight CBCT i konwencjonalnym kV-CBCT. Powtarzalność pomiarów oceniano na bazie odchylenia standardowego oraz współczynnika zmienności (CV) dla takich parametrów jak: rozdzielczość wysokokontrastowa, poziom szumu, stosunek sygnału do szumu (SNR) oraz jednorodność obrazu. Całość analizy przeprowadzono niezależnie dla protokołów dotyczących głowy, miednicy i klatki piersiowej.

## Wyniki

**Szum, stosunek sygnału do szumu i jednorodność obrazu.** Na rycinie 4 przedstawiono wyniki szumu, stosunku sygnału do szumu (SNR) oraz jednorodności obrazu uzyskane dla systemów HyperSight CBCT oraz konwencjonalnego kV-CBCT w protokołach *Head*, *Pelvis* i *Thorax*.



**Rycina 4.** Porównanie szumu obrazu, stosunku sygnału do szumu, jednorodności oraz średniego bezwzględnego błędu HU dla badanych systemów obrazowania.

W porównaniu z konwencjonalnym kV-CBCT system HyperSight CBCT charakteryzował się niższym poziomem szumu, wyższym SNR oraz niższymi wartościami wskaźnika jednorodności we wszystkich analizowanych protokołach. Największe różnice między systemami obserwowano w protokołach Pelvis i Thorax, natomiast w protokole Head przewaga HyperSight CBCT była mniej wyraźna, ale nadal widoczna dla wszystkich trzech analizowanych parametrów.

**Rozdzielczość wysokokontrastowa i niskokontrastowa.** Wyniki rozdzielczości wysokokontrastowej oraz niskokontrastowej przedstawiono w tabeli 2.

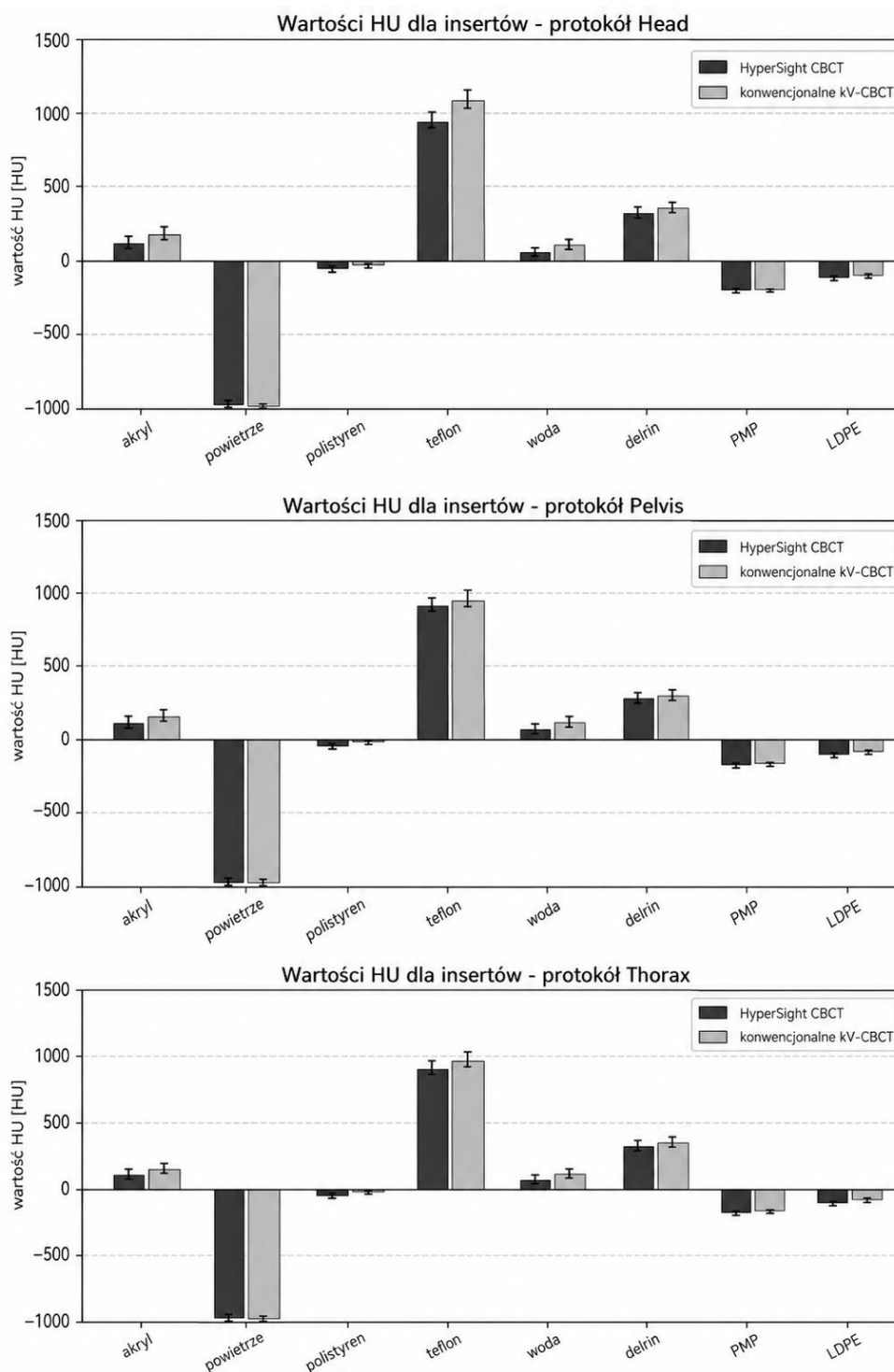
| System obrazowania              | Protokół | Rozdzielczość wysokokontrastowa [lp/cm] | Rozdzielczość niskokontrastowa [mm] |                |                |
|---------------------------------|----------|-----------------------------------------|-------------------------------------|----------------|----------------|
|                                 |          |                                         | kontrast 1.0 %                      | kontrast 0.5 % | kontrast 0.3 % |
|                                 |          | średnia ± SD                            | mediana (zakres)                    |                |                |
| TrueBeam HyperSight CBCT        | Head     | 5.81 ± 0.16                             | 7 (6-7)                             | 15             | ND*            |
|                                 | Pelvis   | 3.77 ± 0.02                             | 4                                   | 4 (4-5)        | 15             |
|                                 | Thorax   | 3.85 ± 0.07                             | 4 (3-5)                             | 9 (4-15)       | 15             |
| TrueBeam konwencjonalny kV-CBCT | Head     | 5.47 ± 0.10                             | 9 (7-9)                             | ND             | ND             |
|                                 | Pelvis   | 3.91 ± 0.03                             | 4 (3-4)                             | 7 (7-8)        | 12 (9-15)      |
|                                 | Thorax   | 3.92 ± 0.05                             | 4 (2-7)                             | 8 (7-15)       | 15             |

\*ND - obiekty niewykryte

**Tabela 2.** Rozdzielczość wysokokontrastowa oraz niskokontrastowa uzyskane dla fantomu Catphan.

Najwyższą rozdzielczość wysokokontrastową wśród protokołów CBCT uzyskano dla protokołu Head, przy czym HyperSight CBCT osiągnął wyższą wartość niż konwencjonalny kV-CBCT. Rozdzielczość niskokontrastowa zależała od protokołu akwizycji oraz poziomu kontrastu. W protokole Head HyperSight CBCT umożliwiał wykrycie mniejszych obiektów niskokontrastowych niż konwencjonalny kV-CBCT dla kontrastu 1,0%, a dla kontrastu 0,5% obiekt był widoczny jedynie w systemie HyperSight CBCT. Dla HyperSight CBCT najkorzystniejsze wyniki rozdzielczości niskokontrastowej uzyskano w protokole Pelvis, gdzie najmniejsza widoczna średnica obiektu wynosiła 4 mm dla kontrastów 1,0% i 0,5%. Przy kontraście 0,3% wyniki były ograniczone i zależne od protokołu, a w protokole Head obiektów nie wykryto w żadnym z systemów.

**Wartości HU.** Różnice wartości HU dla poszczególnych materiałów przedstawiono na rycinie 5.



**Rycina 5.** Wartości HU dla wkładek fantomu Catphan uzyskane w systemach HyperSight CBCT i konwencjonalnego kV-CBCT w protokołach Head, Pelvis i Thorax. Wyniki przedstawiono jako średnie wartości z pomiarów dla poszczególnych materiałów.

Na rycinie przedstawiono wartości HU uzyskane dla wkładek fantomu Catphan w systemach HyperSight CBCT i konwencjonalnym kV-CBCT. We wszystkich analizowanych protokołach obserwowano różnice w odwzorowaniu wartości HU pomiędzy badanymi systemami. Konwencjonalny kV-CBCT wykazywał tendencję do uzyskiwania wyższych wartości HU dla większości materiałów, szczególnie dla wkładek o większej gęstości, takich jak Teflon i Delrin. HyperSight CBCT charakteryzował się niższymi wartościami HU dla tych materiałów oraz bardziej umiarkowanym zakresem wartości pomiędzy wkładkami. Wyniki te wskazują, że charakterystyka odwzorowania HU zależy zarówno od systemu obrazowania, jak i od zastosowanego protokołu oraz rodzaju materiału.

**Powtarzalność pomiarów.** W tabeli 3 przedstawiono współczynniki zmienności (CV) dla analizowanych parametrów jakości obrazu.

| System obrazowania              | Protokół | Rozdzielczość wysokokontrastowa | Szum | SNR  | Jednorodność |
|---------------------------------|----------|---------------------------------|------|------|--------------|
| TrueBeam HyperSight CBCT        | Head     | 1.80                            | 2.23 | 2.13 | 10.36        |
|                                 | Pelvis   | 0.64                            | 2.25 | 2.45 | 20.00        |
|                                 | Thorax   | 1.89                            | 2.70 | 1.78 | 8.37         |
| TrueBeam konwencjonalny kV-CBCT | Head     | 1.88                            | 2.34 | 2.24 | 12.49        |
|                                 | Pelvis   | 0.87                            | 2.72 | 2.79 | 21.24        |
|                                 | Thorax   | 1.21                            | 6.11 | 5.87 | 9.75         |

**Tabela 3.** Powtarzalność parametrów jakości obrazu wyrażona jako współczynnik zmienności CV [%].

Wyniki dla rozdzielczości wysokokontrastowej, szumu oraz SNR wykazywały dobrą powtarzalność, przy czym współczynnik zmienności dla tych parametrów nie przekraczał 6,11%. W przypadku jednorodności obrazu wartości CV były bardziej zróżnicowane, co należy interpretować ostrożnie ze względu na niskie wartości średnie tego parametru.

## Dyskusja

W przeprowadzonym badaniu system HyperSight CBCT wykazał korzystniejsze parametry jakości obrazu niż konwencjonalny kV-CBCT, szczególnie w zakresie szumu, SNR oraz jednorodności obrazu. Zakres tej poprawy zależał jednak od analizowanego parametru oraz zastosowanego protokołu akwizycji. Uzyskane wyniki pozostają zgodne z wcześniejszymi doniesieniami, w których dla systemów nowej generacji opisywano redukcję szumu, poprawę kontrastu oraz stabilniejsze odwzorowanie wartości HU w porównaniu z konwencjonalnym kV-CBCT [1,2].

**Szum, SNR i jednorodność:** We wszystkich analizowanych protokołach HyperSight CBCT charakteryzował się niższym poziomem szumu, wyższym SNR oraz niższymi wartościami wskaźnika jednorodności niż konwencjonalny kV-CBCT. Najbardziej wyraźne różnice między systemami obserwowano w protokołach Pelvis i Thorax, natomiast w protokole Head przewaga HyperSight była mniej wyraźna, ale nadal widoczna. Może to wynikać z cech technicznych systemu, w tym większego panelu obrazującego oraz zmodyfikowanych metod akwizycji i rekonstrukcji obrazu.

**Rozdzielczość:** Wyniki rozdzielczości potwierdziły odmienną charakterystykę poszczególnych protokołów. Najwyższą rozdzielczość wysokokontrastową uzyskano w protokole Head, przy czym HyperSight CBCT osiągnął wyższą wartość niż konwencjonalny kV-CBCT. W zakresie rozdzielczości niskokontrastowej wyniki zależały zarówno od protokołu akwizycji, jak i od poziomu kontrastu. Dla HyperSight CBCT najkorzystniejsze wyniki uzyskano w protokole Pelvis, natomiast w protokole Head system ten umożliwiał lepszą widoczność obiektów niskokontrastowych przy kontraście 1,0% niż konwencjonalny kV-CBCT.

**Wartości HU:** Analiza wartości HU dla wkładek fantomu Catphan wykazała różnice w charakterystyce odwzorowania HU pomiędzy systemami HyperSight CBCT i konwencjonalnym kV-CBCT. Konwencjonalny kV-CBCT wykazywał tendencję do uzyskiwania wyższych wartości HU dla większości analizowanych materiałów, szczególnie dla wkładek o większej gęstości, takich jak Teflon i Delrin. HyperSight CBCT charakteryzował się niższymi wartościami HU dla tych materiałów oraz bardziej umiarkowanym zakresem wartości pomiędzy wkładkami. Oznacza to, że ocena wartości HU powinna uwzględniać nie tylko sam system obrazowania, lecz także zastosowany protokół oraz rodzaj analizowanego materiału [1,4].

**Powtarzalność:** Dla rozdzielczości wysokokontrastowej, szumu i SNR uzyskano dobrą powtarzalność wyników, a wartości współczynnika zmienności nie przekraczały 6,11%. W przypadku jednorodności obrazu wartości CV były bardziej zróżnicowane, dlatego należy je interpretować ostrożnie. Wynika to z niskich wartości średnich tego parametru, przy których nawet niewielkie różnice bezwzględne mogą prowadzić do relatywnie wysokich wartości CV.

**Ograniczenia:** Ograniczeniem pracy jest jej fantomowy charakter, wykorzystanie jednego modelu fantomu oraz brak oceny obrazów klinicznych. Mimo to uzyskane wyniki stanowią użyteczną lokalną charakterystykę techniczną badanych systemów i potwierdzają zasadność niezależnej oceny jakości obrazu dla każdego protokołu akwizycji. Wieloośrodkowe badania HyperSight również podkreślają znaczenie systematycznej oceny jakości obrazu przy wdrażaniu nowych rozwiązań CBCT do praktyki klinicznej [3].

## **Wnioski**

System HyperSight CBCT uzyskał korzystniejsze wartości wybranych parametrów jakości obrazu niż konwencjonalne kV-CBCT, przede wszystkim w zakresie szumu, SNR oraz jednorodności obrazu. Poprawa była obserwowana we wszystkich analizowanych protokołach, jednak jej zakres zależał od protokołu akwizycji i ocenianego parametru. W protokole Head HyperSight CBCT wykazywał wyższą rozdzielczość wysokokontrastową, natomiast rozdzielczość niskokontrastowa była zależna od poziomu kontrastu i ustawień protokołu. Analiza wartości HU wykazała odmienne odwzorowanie materiałów w obu systemach, szczególnie dla wkładek o większej gęstości. Wyniki wskazują, że po wdrożeniu HyperSight CBCT konieczna jest niezależna, protokołowa ocena jakości obrazu oraz lokalna charakterystyka odwzorowania HU.

## **Bibliografia**

1. Kim E, Park YK, Zhao T, Laugeman E, Zhao XN, Hao Y, et al. Image quality characterization of an ultra-high-speed kilovoltage cone-beam computed tomography imaging system on an O-ring linear accelerator. *J Appl Clin Med Phys* 2024;25(5): e14337. doi: 10.1002/acm2.14337.
2. Lustermans D, Fonseca GP, Taasti VT, van de Schoot A, Petit SF, van Elmpt WJC, et al. Image quality evaluation of a new high-performance ring-gantry cone-beam computed tomography imager. *Phys Med Biol*. 2024;69(10):105018. doi: 10.1088/1361-6560/ad3cbo.
3. Agulles-Pedrós L, MacDonald RL, Cherpak AJ, Dixit N, Dong L, Zhao T, et al. Multi-institutional study on image quality for a novel CBCT solution on O-ring linac. *J Appl Clin Med Phys* 2025;26(6): e70023. doi: 10.1002/acm2.70023.
4. Zhao H, Nelson G, Sarkar V, Oare C, Szegedi M, St James S, et al. Comprehensive image quality evaluation and motion phantom studies of an ultra-fast 6-second cone-beam computed tomography imaging system on a ring gantry linear accelerator. *Adv Radiat Oncol* 2025;10(2):101681. doi: 10.1016/j.adro.2024.101681.
5. Arsenault TH, Arrue J, Gregg K, Baydoun A, Rezai A, Langmack C, et al. Characterization of a prototype rapid kilovoltage x-ray image guidance system designed for a linear accelerator radiation therapy unit. *J Appl Clin Med Phys*. 2025;26: e70060. doi: 10.1002/acm2.70060.
6. Phantom Laboratory. Catphan 604 Product Guide (CTP604). Greenwich, NY: Phantom Laboratory; 2025. (22-January-2025).