

Postęp w chirurgii kręgosłupa stymulowany rozwojem nowoczesnej technologii NA BLOKU OPERACYJNYM

Zastosowanie nowoczesnych technik w chirurgii kręgosłupa poprawia wprawdzie wyniki operacyjne, istotnie skraca okres rekonwalescencji i niezdolności do pracy, ale wymaga inwestycji w nowoczesny sprzęt operacyjny. Taka inwestycja w nowoczesne technologie na bloku operacyjnym może jednak dać istotne oszczędności na dalszych etapach leczenia.

Zjemy w epoce niezwykle intensywnego rozwoju technologicznego dotyczącego każdego aspektu życia. Widzimy to szczególnie wyraźnie we wzrastających możliwościach obliczeniowych komputerów, które obecnie umożliwiają przetwarzanie, a następnie prezentowanie obrazów w czasie rzeczywistym. To właśnie dzięki szybkim procesorom było możliwe stworzenie nawigacji śródoperacyjnej (1), będącej jednym z największych przełomów neurochirurgii i chirurgii kręgosłupa ostatnich dwóch dekad. Natomiast miniaturyzacja umożliwiła wprowadzenie do sal operacyjnych i praktyki operacyjnej takie technologie, jak tomografia komputerowa czy rezonans magnetyczny, które jeszcze niedawno wymagały dedykowanych pomieszczeń i osobnego personelu.

Olbrymie zasługi dla rozwoju ortopedii i chirurgii kręgosłupa ma nieustanne wprowadzanie nowych i doskonalenie dostępnych implantów. Postęp dotyczy przede wszystkim ich przestrzennego projektowania, także z wykorzystaniem drukarek 3D, które pozwalają tworzyć implanty indywidualnie dla pacjenta. Zmieniają się również materiały, z jakich są wykonane, w szczególności stopy metali i tworzywa sztuczne. Spójrzmy więc, w jaki sposób wspomniane techniki pomagają w codziennej praktyce operacyjnej.

■ Obrazowanie śródoperacyjne

Planowanie poszczególnych etapów zabiegu na podstawie badań obrazowych, takich jak RTG i tomografia komputerowa (TK), jest niezwykle ▶

DR N. MED.
PIOTR DEFORT,
DR N. MED.
PAWEŁ JARMUŻEK

Kliniczny Oddział
Neurochirurgii,
Wojewódzki
Szpital Kliniczny
im. K. Marcinkowskiego
w Zielonej Górze

Title: Progress in spine surgery stimulated by the development of modern technologies at the operating theatre

Streszczenie

Rozwój nowych technologii i geometryczny wzrost mocy obliczeniowej komputerów nie pozostał bez wpływu na środowisko sali operacyjnej. Jedną z najprężniej rozwijających się specjalności zabiegowych jest chirurgia kręgosłupa. Korzysta ona w pełni z nowych możliwości obrazowania śródoperacyjnego (TK), co zapewnia bieżącą weryfikację przebiegu zabiegu. Jednak prawdziwym przełomem w minimalizowaniu dostępów operacyjnych, a co za tym idzie – liczby powikłań, czasu zabiegu i hospitalizacji, było wprowadzenie systemu neuronawigacji. Dużą rolę odgrywa rozwój technologii materiałowych implantów oraz ich projektowania. Pierwsze kroki w neurochirurgii i chirurgii kręgosłupa stawia także robotyka. Już dostępny jest system umożliwiający wykonanie sekwencji powtarzalnych czynności operacyjnych z pre-

cyzją porównywalną do tych wykonywanych ludzką ręką. Wydaje się, że kolejną technologią, która zostanie zaadaptowana do chirurgii, jest wirtualna rzeczywistość. Może ona oddać nieocenione usługi w procesie kształcenia i doskonalenia technik operacyjnych.

Słowa kluczowe
neuronawigacja, obrazowanie śródoperacyjne, małoinwazyjna chirurgia kręgosłupa

Summary

The development of new technologies and an exponential increase in computing power have a substantial impact on the operating theatre environment. Spine surgery is one of the fastest evolving operative specialties, which benefits to the full extent from the possibilities of intraoperative imaging allowing for the constant monitoring of the procedure progression. However, the

true breakthrough in minimising surgical approach and in consequence decreasing the number of complications, operation time and hospital days was the introduction of neuronavigation. Additionally, new material technologies and the design of implants play an important role in the further progression of results. Robotics also takes its first steps in neurosurgery and spine surgery. A system enabling to perform a sequence of reproducible operative movements with equal to human hand precision is already commercially available. It seems that the next in a queue of technologies to adopt in surgery is virtual reality, which may become indispensable in the training and perfection of operative techniques.

Keywords

neuronavigation, intraoperative imaging, minimally invasive spine surgery



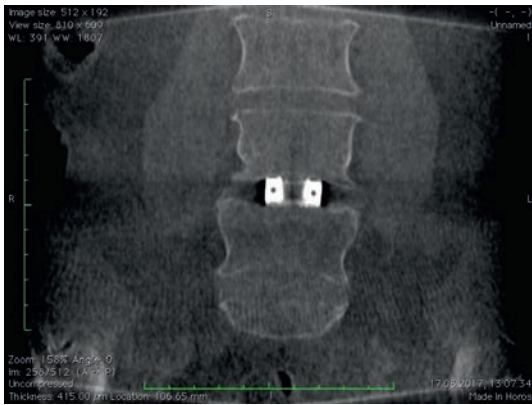
Fot. 1. O-arm

► istotne w każdej specjalności zabiegowej. Jednak w przypadku chirurgii kręgosłupa ma to kardynalne znaczenie. Zadaniem chirurgii kręgosłupa jest zawsze przywrócenie warunków najbardziej zbliżonych do fizjologicznych w zakresie biomechaniki kręgosłupa, co wymaga stałego monitorowania postępu zabiegu. Do niedawna kontrola korekcji, np. skoliozy lub kręgozmyku, mogła odbywać się tylko z zastosowaniem ramienia C, dającego sumaryczny, dwuwymiarowy obraz operowanych struktur. Wprowadzenie mobilnego zestawu do tomografii komputerowej (2) (O-arm – fot. 1), zintegrowanego ze stacją roboczą z zainstalowanym oprogramowaniem do przetwarzania obrazu, umożliwia analizę uzyskanego efektu operacyjnego w każdej płaszczyźnie (fot. 2a i 2b), a także uzyskanie modelu 3D (fot. 3). Niezwykle przydatną i często wykorzystywaną funkcją w chirurgii kręgosłupa jest możliwość analizy położenia implantów w odniesieniu do bardzo blisko leżących struktur nerwowych, także w aspekcie ich przewidywanej funkcji biomechanicznej. Przykładem może być weryfikacja położenia śruby w nasadzie trzonu podczas zabiegu stabilizacji przeznasadowej (fot. 4). Ma to znaczenie nie tylko dla ochrony struktur nerwowych, w tym przypadku głównie nerwu rdzeniowego położonego w otworze międzykręgowym, ale także dla wytrzymałości biomechanicznej całej stabilizacji. Zastosowanie tego rodzaju obrazowania daje chirurgowi praktyczną pewność położenia implantów, poprawia możliwości korekcji krzywizn kręgosłupa, skracając długość operacji, oraz minimalizuje traumatyzację sąsiadujących tkanek.

Najnowsza koncepcja minimalnie inwazyjnej chirurgii kręgosłupa (*Minimally Invasive Spine Surgery – MISS*) opiera się właśnie na wyeliminowaniu konieczności rozpoznawania ważnych elementów anatomicznych poprzez ich chirurgiczne odsłonięcie. Wizualizacja śródoperacyjna umożliwiła niemal perfekcyjne położenie implantów z dojść przezskórnych, co istotnie skraca pobyt w szpitalu oraz okres rekonwalescencji pooperacyjnej (3).

Śródoperacyjny rezonans magnetyczny (fot. 5) nie znalazł tak powszechnego miejsca w codziennej praktyce chirurgii kręgosłupa jak tomograf komputerowy. Wykorzystywany jest jednak w wyspecjalizowanych ośrodkach w zabiegach neuroonkologicznych do lokalizacji oraz oceny doszczętności resekcji guzów rdzenia kręgowego, a także rozlanych nacieków nowotworowych obejmujących struktury kręgosłupa, jak i tkanki przykręgosłupowe.

Stałym elementem wyposażenia neurochirurgicznych sal operacyjnych jest mikroskop operacyjny (fot. 6). Nie jest to nowe narzędzie dla neurochirurgów, ale szybko rozwijająca się w ostatnich 2 dekadach chirurgia kręgosłupa także nie może się bez niego obyć. Zapewnia bardzo dobre, równomierne oświetlenie pola, powiększenie operowanych struktur przy zachowanej głębi ostrości, a co za tym idzie – dokładne rozpoznanie struktur anatomicznych (mimo czasem trudnych warunków śródoperacyjnych). To właśnie dzięki tym zaletom mikroskopu operacyjnego możliwe są precyzyjne operacje poprzez niewielkie cięcia przy wykorzystaniu rozwieraczy tubularnych. Są to zalety, które trudno przecenić, w szczególności



Fot. 2a. Przekrój strzałkowy (po umieszczeniu implantu międzykręgowego)



Fot. 2b. Przekrój strzałkowy (po umieszczeniu implantu międzykręgowego)

w bardzo pręźnie rozwijających się technikach mało-inwazyjnych. Jednak współczesne mikroskopy operacyjne to nie tylko doskonała wizualizacja pola, to także możliwość tworzenia dokumentacji obrazowej w postaci zdjęć i filmów do ewentualnej późniejszej analizy. Nowoczesne mikroskopy umożliwiają integrację w polu widzenia operatora danych z innych systemów wizualizacji, np. systemu nawigacji lub obrazów z endoskopu.

Neuronawigacja

Dynamiczny rozwój chirurgii kręgosłupa, w szczególności w zakresie technik przezskórnych, nie byłby

możliwy bez zaadaptowania do jej potrzeb znanej już wcześniej w neurochirurgii neuronawigacji (4). Pierwsze systemy opierały się na obrazie tomografii komputerowej uzyskanym w dniach poprzedzających zabieg, nie odwzorowywały więc rzeczywistej anatomii po ułożeniu pacjenta do zabiegu, w szczególności gdy samym ułożeniem dążymy do korekcji nieprawidłowości krzywizn kręgosłupa. Inną opcją było prowadzenie nawigacji na obrazie uzyskanym już po ułożeniu pacjenta, ale był to obraz dwuwymiarowy z podglądu RTG. Jednak prawdziwym przełomem było wprowadzenie mobilnych urządzeń TK i prowadzenie nawigacji na podstawie informacji w trzech płaszczy-

R E K L A M A



MEDICOM
Spółka z o.o.

41-819 Zabrze
ul. M. Cürie-Skłodowskiej 34
tel./fax 32 271 76 66
e-mail: firma@medicom.com.pl
www.medicom.com.pl

medicom

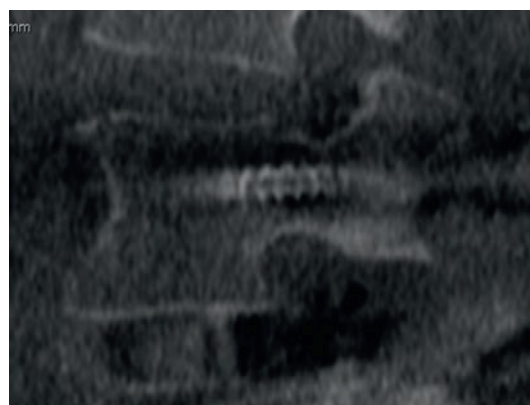
APARATURA I SPRZĘT MEDYCZNY

Firma Medicom Spółka z o.o., wyłączny dystrybutor czołowych światowych producentów sprzętu medycznego (KLS Martin, Schmitz & Söhne, Philips, CareFusion, Truphatek i innych), oferuje sprzęt na wyposażenie sal operacyjnych i hybrydowych, m.in.:

- lampy operacyjne oraz zabiegowe
- system kamer medycznych z możliwością rejestracji oraz przesyłania obrazu
- stoły operacyjne
- diatermie chirurgiczne z systemem zamykania dużych naczyń
- instrumenty chirurgiczne
- kontenery sterylizacyjne
- wyposażenie sal operacyjnych i gabinetów zabiegowych



Fot. 3. Obraz 3D



Fot. 4. Przekrój strzałkowy – weryfikacja położenia śrub przeznaczonych

- ▼ znach uzyskanych u pacjenta znieczulonego i ułożonego do zabiegu.

Stało się to możliwe dzięki zintegrowaniu modułu TK z systemem neuronawigacji i zautomatyzowaniu procesu rejestracji pacjenta. Po chirurgicznym przygotowaniu pola operacyjnego do niemobilnych struktur kostnych operowanego odcinka kręgosłupa, np. wyrostka kolczystego lub talerza kości biodrowej, przymocowana zostaje ramka referencyjna (fot. 7). Z kolei gantra modułu TK, w której znajduje się pacjent, zawiera swoją, na stałe wbudowaną ramkę referencyjną.

Kolejnym krokiem jest wykonanie tomografii komputerowej operowanego odcinka. Obraz jest automatycznie przesyłany do systemu nawigacji i dzięki możliwości ustalenia przestrzennej relacji między ramką modułu TK a ramką referencyjną, a więc pośrednio strukturami kręgosłupa, dokonuje się automatyczna rejestracja anatomii pacjenta. Od tego

momentu system jest w stanie zlokalizować w przestrzeni i przedstawić na ekranie wczytany odcinek kręgosłupa (fot. 8). Kolejnym krokiem jest rejestracja narzędzi, które dzięki przymocowanym dedykowanym ramkom są rozpoznawane przez system, a ich ruch w polu operacyjnym w odniesieniu do struktur kręgosłupa jest odwzorowywany na ekranie (fot. 9). I tu neuronawigacja wpisuje się doskonale w koncepcję MISS, powodując, że tego typu operacje stają się coraz bezpieczniejsze dla pacjenta.

Łatwo można sobie wyobrazić, że taki system umożliwia prowadzenie wielu operacji minimalnie inwazyjnych, także przezskórnych, gdzie wprowadzenie implantów może odbywać się z niewielkiego nacięcia skóry bez konieczności szerokiego odsłonięcia operowanych struktur. Klasycznym przykładem takiego zastosowania jest bardzo często wykonywana w chirurgii kręgosłupa stabilizacja



Fot. 5. Polestar – śródoperacyjny rezonans magnetyczny

przez nasadową (5) jako element operacji w chorobach zwyrodnieniowych, np. kręgosłupa zwyrodnieniowym, ale także w urazach kręgosłupa. Według badań prowadzonych w naszym ośrodku zastosowanie neuronawigacji skraca średni czas wykonania stabilizacji przez nasadowej o około 70% przy jednoczesnym zmniejszeniu incydentu przekroczenia nasady przez śrubę przez nasadową (*pedicle breach*) do około 3,4% (6). Ogromne znaczenie ma istotne zmniejszenie lub nawet wyeliminowanie ekspozycji radiologicznej personelu – na czas wykonywania skanu tomografii komputerowej, czyli około 20 sekund, personel zwykle wychodzi z sali operacyjnej. Oczywiście pozostaje kwestia ekspozycji i pochłoniętej dawki promieniowania przez pacjenta, i choć nie wydaje się ona wyraźnie większa niż przy klasycznej operacji z podglądem RTG, to nie ma jeszcze precyzyjnych danych na ten temat.

Endoskopia

Historia endoskopii w chirurgii kręgosłupa ma już ponad pół wieku. Coraz nowocześniejsze endoskopy, o lepszej wizualizacji i z wyspecjalizowanym instrumentarium, trafiają na salę operacyjną i znajdują swoich zwolenników wśród chirurgów kręgosłupa. Endoskopy znajdują zastosowanie głównie w operacjach przepuklin jąder miazdżystych odcinka lędźwiowego i szyjnego z dostępu tylnego, pozwalając na dalsze zmniejszenie cięcia skórniego i jeszcze większą minimalizację traumatyzacji tkanek, w szczególności mięśni przykręgosłupowych. Jednak pewną wadą technik endoskopowych jest wydłużona krzywa uczenia, co przy stosunkowo niewielkich różnicach w zakresie długości cięcia skórniego między techniką mikroskopową a właśnie techniką endoskopową powoduje, że nadal nie są powszechnie stosowane. Niemniej są wskazania, w których endoskopia daje olbrzymią przewagę, znacząco zmniejszając dostęp operacyjny. Jednym z nich jest przepuklina dalekoboczna odcinka lędźwiowego kręgosłupa (7). Kolejnym są operacje odcinka piersiowego, które standardowo wymagają torakotomii. Przykładem takiego wskazania jest złamanie trzonu lub guz obejmujący trzon, co wymaga jego usunięcia. Wieloportowy dostęp umożliwia wykonanie zabiegu szybciej, bez konieczności otwarcia klatki piersiowej, znacząco zmniejszając liczbę powikłań (8).

Robotyzacja

Wiele powtarzalnych, predefiniowanych czynności może być z całą pewnością szybciej i dokładniej wykonanych przez roboty. Nie jest więc zaskoczeniem, że do takich właśnie etapów zabiegu próbuje się znaleźć dla nich zastosowanie. Typowym przykładem, spełniającym wymienione kryteria, jest często stosowana w chirurgii kręgosłupa stabilizacja przez nasadową. Dostępnym komercyjnie robotem operacyjnym stosowanym w chirurgii kręgosłupa jest Mazor X (fot. 10). Tutaj, podobnie jak w przypadku



Fot. 6. Mikroskop operacyjny

neuronawigacji, wykonujemy skan operowanego segmentu kręgosłupa, jest on przesyłany do stacji roboczej nawigacji, następnie ustalany jest lub ładowany wcześniej przygotowany plan umieszczenia implantów. Kolejnym krokiem jest rejestracja ramienia robota w relacji przestrzennej do struktur kręgosłupa, które wprowadza implanty zgodnie z ustaloną trajektorią.

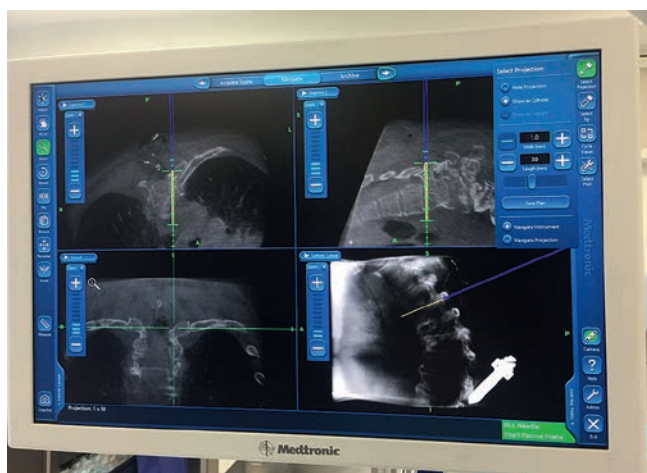
Wydaje się, że integracja urządzeń pozyskiwania i nakładania obrazu z MRI, TK i RTG z systemami nawigacyjnymi i zminiaturyzowanymi robotami będzie jednym z istotnych kierunków rozwoju.

Spojrzenie w przyszłość

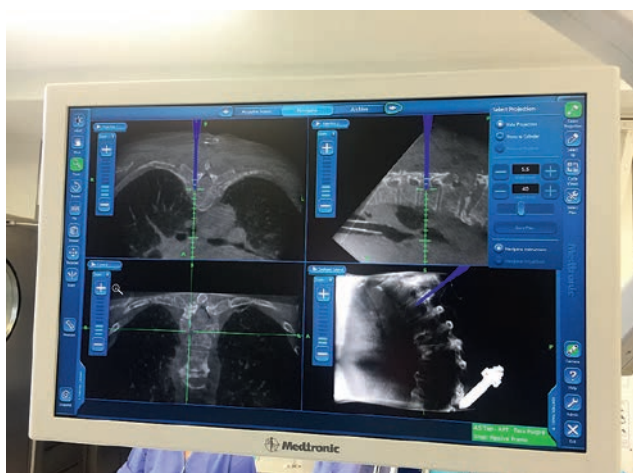
Nie tylko wysokospecjalistyczny sprzęt na bloku operacyjnym wspierany zaawansowaną elektroniką oraz komputerami jest elementem postępu, ale także ciągle ewoluujące istniejące już narzędzia chi- ▶



Fot. 7. Ramka referencyjna



Fot. 8. Widok wczytanego odcinka kręgosłupa



Fot. 9. Odzworowanie ruchu narzędzi w systemie

foto: archiwum autora

► rurgiczne, stoły operacyjne, wiertarki i wiele innych elementów wyposażenia sali operacyjnej. Narzędzia chirurgiczne dostosowują się do zmiany technik operacyjnych, zmieniając swoje kształty, konstruowane są z materiałów przeziernych w promieniach rentgenowskich lub kompatybilnych z silnym polem elektromagnetycznym przy zastosowaniu śródoperacyjnego MRI.

Można sobie wyobrazić, że kolejnym szerokim polem rozwoju będzie udoskonalanie technik wirtualnej rzeczywistości (VR – *virtual reality*). Już teraz są one wykorzystywane do nauki anatomii chirurgicznej, w szczególności aspektów wymagających doskonałej wyobraźni przestrzennej, np. anatomii naczyń mózgowych. Jednak dopiero VR w połączeniu z zaawansowaną symulacją percepcji dotykowej mogłoby znacząco ułatwić i przyspieszyć naukę chirurgii dla młodych adeptów i umożliwiłoby sprawniejszą naukę nowych dostępow dla bardziej doświadczonych.

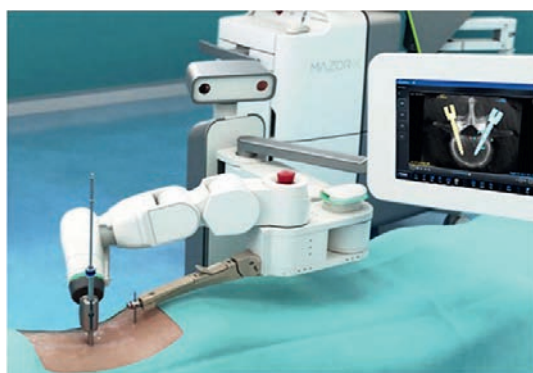
Wydawać by się mogło, że jesteśmy tylko krok przed wyparciem chirurga z sali operacyjnej. Jednak nasza zdolność uczenia, treningu poprzez dotyk i czucie mięśniowe, kumulacja doświadczeń, możliwość przewidywania i improwizacji, także w sytuacjach krytycznych, pozostanie nie do pokonania przez systemy komputerowe.

Niestety, stały postęp w technologiach medycznych wiąże się z dużym wzrostem kosztów leczenia.

Zastosowanie nowoczesnych technik w chirurgii kręgosłupa poprawia wprawdzie wyniki operacyjne, istotnie skraca okres rekonwalescencji i niezdolności do pracy, ale wymaga inwestycji w nowoczesny sprzęt operacyjny. Taka inwestycja w nowoczesne technologie na bloku operacyjnym może dać istotne oszczędności na dalszych etapach leczenia – i o tym powinno się pamiętać przy planowaniu nakładów finansowych na opiekę zdrowotną. □

Piśmiennictwo

- Moses Z.B., Mayer R.R., Strickland B.A., Kretzer R.M., Wolinsky J.P., Gokaslan Z.L., Baaj A.A.: *Neuronavigation in minimally invasive spine surgery*. „Neurosurg Focus”, 2013 Aug; 35 (2): E12.
- Houten J.K., Nasser R., Baxi N.: *Clinical assessment of percutaneous lumbar pedicle screw placement using the O-arm multidimensional surgical imaging system*. „Neurosurgery”, 2012 Apr; 70 (4): 990-5.
- Akinduro O.O., Kerezoudis P., Alvi M.A., Yoon J., Eluchie J., Murad H.M., Wang Z., Chen S.G., Bydon M.: *Open versus Minimally Invasive Surgery for Extraforaminal Lumbar Disk Herniation: A systematic review and meta-analysis*. „World Neurosurg”, 2017 Aug 9.
- Łątka D.: *Śródoperacyjne wspomaganie obrazem w neurochirurgii – zastosowanie nowoczesnych technologii*. „Ogólnopolski Przegląd Medyczny”, 2016, 11-12.
- De lure F., Cappuccio M., Paderni S., Bosco G., Amendola L.: *Minimally invasive percutaneous fixation of thoracic and lumbar spine fractures*. „Minim Invasive Surg Epub”, 2012 Jul 16.
- Kim T.T., Drazin D., Shweikeh F., Pashman R., Johnson J.P.: *Clinical and radiographic outcomes of minimally invasive percutaneous pedicle screw placement with intraoperative CT (O-arm) image guidance navigation*. „Neurosurg Focus”, 2014 Mar; 36 (3): E1.
- Liao Z., Chen W., Wang C.H.: *Transforaminal percutaneous endoscopic surgery for far lateral lumbar intervertebral disk herniation*. „Orthopedics”. 2014 Aug; 37 (8): e717-27.
- Johnson J.P., Drazin D., King W.A., Kim T.T.: *Image-guided navigation and video-assisted thoracoscopic spine surgery: the second generation*. „Neurosurg Focus”, 2014 Mar; 36 (3): E8.



Fot. 10. Robot Mazor X

foto: archiwum autora, źródło: Mazor Robotics