

CHIRURGIA NAWIGOWANA OBRAZOWANIEM

prof. dr hab. med. Antoni Krzeski
lek. Norbert P. Górski

IMAGE-GUIDED SURGERY

The advent of endoscopic techniques and modern imaging modalities has revolutionized the surgical approaches to the sinus surgery since the introduction of the computed tomography and magnetic resonance imaging. While these advances were revolutionary they still had limited value in the management of complicated and revision sinus surgical procedures. Now with the introduction of the image guided surgery the endoscopic view and CT view have been combined and can provide three-dimensional, triplanar perspective to the surgical operating area. Image guided surgery can never replace the knowledge regarding the paranasal – sinus and nasal anatomy, it provides the confirmation and correlation to anatomy. It can be crucial in anatomic regions surrounded by sensitive structures.

KEY WORDS:

image-guided surgery, computer-aided surgery, computer-assisted surgery

Mag. ORL, 2003, II, 1 (5), 6-11

PRACA RECENZOWANA

Katedra i Klinika Otolaryngologii AM w Warszawie,
p.o. kierownika: prof. dr hab. med. Antoni Krzeski,
ul. Banacha 1 a, 02-097 Warszawa

„Bezpieczeństwo w żegludze morskiej zależy w ogromnym stopniu od dobrej praktyki morskiej oraz doświadczenia kapitanów i oficerów, ale w równym stopniu od prawidłowo i umiejętnie prowadzonej nawigacji”

(Kaszowski, 1989)

Nawigacja (łac. *navigatio* – żegluga) jest sztuką bezpiecznego prowadzenia okrętu. W nawigacji oceanicznej nie ma znaków lądowych ani pław na wodzie porozstawianych dla wygody żeglarza. Na oceanie żeglarz określa swoją pozycję względem Słońca lub Księżycy i gwiazd. Starożytni Grecy mogli żeglować wyłącznie wzdłuż linii brzegowej, albowiem obca była im sztuka nawigacji. W nowoczesnej nawigacji zasadniczą rolę odgrywa system satelitów krążących wokół Ziemi, dzięki którym określenie pozycji statku na morzu czy samolotu w powietrzu jest szybkie i dokładne.

Koncepcja precyzyjnego ustalania pozycji względem znanych punktów odniesienia została przeniesiona na pole medyczne. Minimalnie inwazyjne techniki chirurgiczne, takie jak np. chirurgia endoskopowa zatok przynosowych, stwarzają szansę na precyzyjne przeprowadzenie zabiegu operacyjnego przy znacznie zmniejszonej traumatyzacji tkanek, do której dochodzi przede wszystkim podczas wytwarzania drogi dostępu do chorobowo zmienionego ogniska. W tych przypadkach zastosowanie nawigacji w polu operacyjnym umożliwia bezpieczne i precyzyjne prowadzenie instrumentów chirurgicznych i minimalizuje uszkodzenie tkanek operowanego rejonu. Możliwość taka powstała między innymi dzięki rozwojowi współczesnych technik obrazowania, takich jak tomografia komputerowa (TK) czy rezonans magnetyczny

(MR). Cyfrowy zapis wyników tych badań umożliwia zastosowanie go w systemie nawigacji operacyjnej jako mapy operatora, dzięki czemu istnieje możliwość określania na niej w czasie rzeczywistym pozycji instrumentu chirurgicznego w tkankach pacjenta względem określonych struktur anatomicznych. Zabiegi operacyjne przeprowadzane z zastosowaniem systemu nawigacji określa się w piśmiennictwie anglojęzycznym jako „*image-guided surgery*”, co można nazwać po polsku chirurgią nawigowaną obrazowaniem (ChNO), oraz jako „*computer-assisted surgery*” (chirurgia wspomagana komputerowo, ChWK). W piśmiennictwie obu tych terminów używa się wymiennie, jednakże ChWK jest pojęciem szerszym.

Chirurgię nawigowaną obrazowaniem stosuje się obecnie w neurochirurgii, otolaryngologii, a ostatnio w traumatologii i ortopedii. Coraz powszechniejsze zastosowanie znajduje w rynchirurgii oraz chirurgii podstawy przedniego dołu czaszki jako konsekwencja rozwoju dokonującego się w chirurgii endoskopowej zatok przynosowych.

Czym jest chirurgia nawigowana obrazowaniem?

Nawigacja operacyjna umożliwia chirurgowi dokładne śródoperacyjne określenie miejsca w tkankach pacjenta, w którym znajduje się aktualnie używany instrument chirurgiczny.

System nawigacji operacyjnej składa się z:

- satelitów – głowic monitorujących, umieszczonych w sali operacyjnej
- wskaźników referencyjnych – lokalizatorów (ang. *patient markers*) umieszczonych na ciele pacjenta
- wskaźników referencyjnych – lokalizatorów (ang. *passive markers*) umieszczonych na narzędziach chirurgicznych.

Wzajemne położenie obu wskaźników referencyjnych – lokalizatorów jest rejestrowane w czasie rzeczywistym przez satelity – głowice monitorujące systemu nawigacji (ryc. 1). Dzięki cyfrowemu opracowaniu dokonywanemu przez system komputerowy uzyskane informacje są integrowane z cyfrowym zapisem wykonanych wcześniej badań obrazowych i prezentowane na monitorze. Pozwala to chirurgowi określić umiejscowienie instrumentu chirurgicznego w tkankach pacjenta w każdym momencie operacji. Dzięki temu możliwe jest jej precyzyjne przeprowadzenie, a obrazowanie położenia używanego instrumentu w stosunku do krytycznych struktur anatomicznych

istotnie zwiększa bezpieczeństwo zabiegu chirurgicznego (Luxenberger i in. 1999, Joseph i in. 2003).

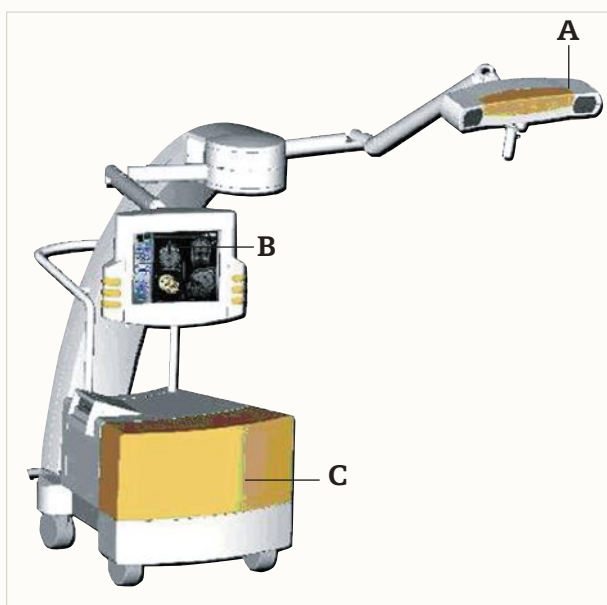
Przygotowanie i prowadzenie zabiegu z zastosowaniem nawigacji operacyjnej

Wdrożenie systemu nawigacji do operacji wymaga szczególnych przygotowań już na etapie diagnostyki obrazowej, w czasie której konieczne jest wykonanie badań obrazowych z umieszczonymi na ciele pacjenta wskaźnikami referencyjnymi, które później zostaną wykorzystane jako jeden z elementów systemu nawigacyjnego. Wskaźnik referencyjny – lokalizator jest przyrządem, którego zastosowanie umożliwia zintegrowanie zapisu cyfrowego badania obrazowego wykonanego przed operacją z ułożeniem głowy (ciała) pacjenta podczas operacji.

Istnieją różne rodzaje wskaźników referencyjnych – lokalizatorów:

- pasek ze wskaźnikiem referencyjnym – lokalizatorem umieszczany na głowie pacjenta,
- nakładka na głowę z tworzywa sztucznego z wkładkami usznymi,
- implant mocowany bezpośrednio do czaszki pacjenta.

Wyniki badań obrazowych po opracowaniu są wpisywane do pamięci komputerowego systemu nawigacyjnego. Wybór rodzaju badania obrazowego, który zostanie wykorzystany do

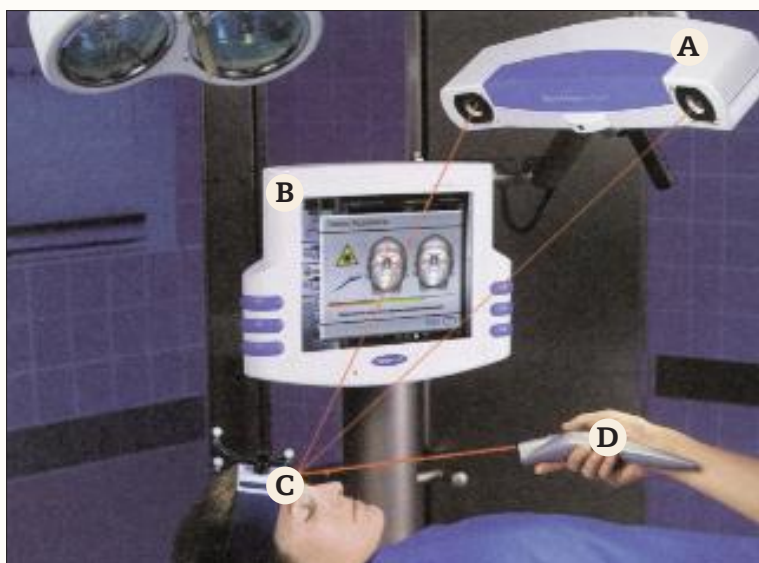


Ryc. 1. Zestaw do chirurgii nawigowanej obrazowaniem firmy BrainLAB

- A – satelita – głowica monitorująca;
- B – dotykowy ekran systemu nawigacyjnego;
- C – moduł główny systemu nawigacyjnego (system komputerowy)

Ryc. 2. Rejestracja pacjenta w systemie nawigacyjnym sali operacyjnej:

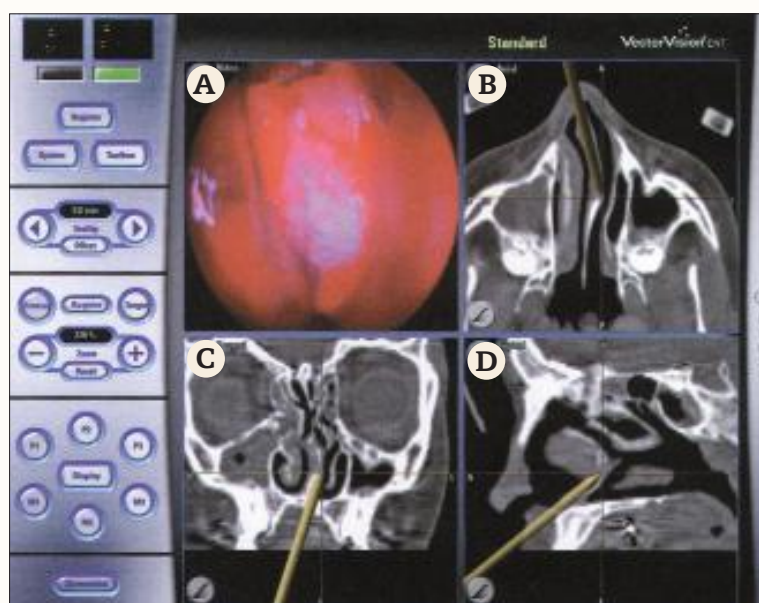
- A – satelita – głowica monitorująca;
- B – dotykowy ekran systemu nawigacyjnego;
- C – wskaźnik referencyjny – lokalizator umieszczony na głowie pacjenta;
- D – wskaźnik laserowy używany w celu rejestracji pacjenta w systemie nawigacyjnym



Ryc. 3. Endoskopowa operacja wewnętrzna z zastosowaniem systemu nawigacji – widok sali operacyjnej

Ryc. 4. Ekran monitora systemu nawigacji umożliwia prezentację jednej lub trzech płaszczyzn badania obrazowego (TK) oraz równoczesną prezentację obrazu endoskopowego:

- A – obraz endoskopowy jamy nosowej;
- B – umiejscowienie endoskopu w obrazie TK w płaszczyźnie osiowej;
- C – umiejscowienie endoskopu w obrazie TK w płaszczyźnie czołowej;
- D – umiejscowienie endoskopu w obrazie TK w płaszczyźnie bocznej



planowania i prowadzenia zabiegu operacyjnego, zależy od charakteru zmiany chorobowej i jej umiejscowienia. Stosowane systemy nawigacji umożliwiają wykorzystanie następujących badań obrazowych:

- tomografia komputerowa (TK)
- rezonans magnetyczny (MR)
- badanie naczyniowe metodą rezonansu magnetycznego (angio-MR)
- czynnościowe obrazowanie metodą rezonansu magnetycznego (fMR)
- tomografia emisyjna pojedynczego protonu (SPECT)
- pozytonowa tomografia emisyjna (PET).

Wykonanie tych badań obrazowych z zastosowaniem wskaźników referencyjnych – lokalizatorów umieszczanych na głowie pacjenta podczas badania umożliwia, przy wykorzystaniu systemu komputerowego, wzajemne nakładanie się ich zapisów cyfrowych w systemie nawigacji. Daje to sposobność najbardziej kompetentnego uwidocznienia zarówno zmiany chorobowej, jak i otaczających ją struktur anatomicznych. Dzięki temu można tak zaplanować, a następnie wykonać dostęp operacyjny, aby w miarę możliwości uniknąć uszkodzenia ważnych struktur lub regionów anatomicznych (Anon 1998).

Przed rozpoczęciem zabiegu operacyjnego w metodzie tej konieczna staje się rejestracja pacjenta w systemie nawigacyjnym sali operacyjnej (ryc. 2). Istnieją różne techniki tej rejestracji:

- rejestracja w odniesieniu do charakterystycznych punktów anatomicznych
- rejestracja przez ponowne użycie wskaźników rejestracyjnych – lokalizatorów mocowanych do ciała pacjenta w tych samych punktach, w których były umieszczone podczas wcześniejszych badań obrazowych.
- rejestracja z użyciem wskaźnika laserowego.

Dzięki temu systemowi oraz dzięki umieszczonym na instrumencie chirurgicznym lokalizatorom możliwe jest określenie jego położenia w tkankach pacjenta względem struktur anatomicznych, które zostały rozpoznane w badaniach obrazowych i które podczas zabiegu uwidaczniane są na monitorze (ryc. 3). Możliwa jest prezentacja na monitorze jednej bądź wszystkich trzech płaszczyzn projekcji (ryc. 4).

Istnieją różne rodzaje systemów nawigacji operacyjnej. Ich wspólną cechą jest wykorzystywanie informacji z wykonanych wcześniej badań obrazowych, które są zawarte w pamięci systemu. Większość urządzeń umożliwia wprowadzenie danych z różnego rodzaju badań obrazowych, np. tomografii komputerowej czy rezonansu magnetycznego, oraz kompilacje tych

wyników na potrzeby przeprowadzanego zabiegu. W obecnie istniejących systemach wykorzystuje się różne metody określania pozycji narzędzia chirurgicznego względem ciała pacjenta:

- pozycjonowanie optyczne
 - bierne: satelita – głowica monitorująca umieszczona na sali operacyjnej rejestruje emitowane przez siebie promieniowanie podczerwone, które uległo odbiciu od wskaźników referencyjnych – lokalizatorów umocowanych na instrumencie chirurgicznym
 - aktywne: satelita – głowica monitorująca umieszczona na sali operacyjnej rejestruje promieniowanie podczerwone emitowane przez wskaźnik referencyjny – lokalizator umocowany na narzędziu chirurgicznym
- pozycjonowanie z wykorzystaniem generowanego pola elektromagnetycznego: satelita – głowica monitorująca rejestruje odchylenia pola elektromagnetycznego generowanego przez urządzenie umocowane na instrumencie chirurgicznym.

W niektórych systemach nawigacji istnieje możliwość wykorzystywania aktualnie posiadanych narzędzi chirurgicznych. W tych przypadkach nie bez znaczenia jest fakt, że chirurg może operować swoim ulubionym instrumentarium, do którego przywykł, co jest dość istotne podczas zabiegu prowadzonego w małym polu operacyjnym. Używanie posiadanego aktualnie instrumentarium w systemie nawigacji staje się możliwe dzięki uniwersalnym adapterom ze wskaźnikami referencyjnymi, które mocowane są na narzędziu na czas operacji.

W innych systemach istnieje konieczność zakupu wraz z systemem nawigacji zestawu narzędzi chirurgicznych specjalnie dla niego zaprojektowanych. Stosowanie innych narzędzi może powodować zakłócenia ich lokalizacji, a tym samym może mieć wpływ na dokładność pracy systemu. Ma to miejsce w systemach nawigacyjnych opartych na technologii generowanego pola magnetycznego (Fried i in. 1997, Javer i in. 2000). Wiąże się to również z dodatkowym kosztownym zakupem specjalnych narzędzi oraz dokonywaniem ich niezbędnej wymiany, wynikającej ze zużycia wskaźników referencyjnych (Cartellieri i in. 2001).

Sterowanie systemem nawigacji przez operatora zapewniają różnego rodzaju moduły sterujące. Podstawowym warunkiem stawianym tym urządzeniom i oprogramowaniu jest przede wszystkim łatwość użytkowania i prostota obsługi. W większości systemów funkcje oprogramowania zainstalowanego w stacji nawigacyjnej obsługuje się za pomocą monitora dotykowego.

Systemy nawigacji stosowane w chirurgii endoskopowej zatok stwarzają możliwość zintegrowania na monitorze obrazu z endoskopu z obrazami z badań obrazowych. Taka integracja polega nie tylko na współpracy systemu nawigacji i endoskopu przez pozycjonowanie endoskopu w przestrzeni operacyjnej, ale również na używaniu monitora stacji nawigacyjnej jako monitora do prezentacji obrazów z endoskopu. System umożliwia bowiem projekcję obrazów bądź tylko z endoskopu, bądź w połączeniu z obrazami systemu nawigacji. Każda z tych opcji może być wyświetlana pojedynczo na całym ekranie lub wszystkie mogą być zaprezentowane jednocześnie na ekranie podzielonym. W czasie zabiegu operator może wybrać obraz stosowny do potrzeb zabiegu przez proste użycie ekranu dotykowego.

Zastosowanie chirurgii nawigowanej obrazowaniem w laryngologii

Endoskopowe techniki operacyjne w połączeniu z nowoczesnymi badaniami obrazowymi zrewolucjonizowały metody operacyjne w zakresie operacji zatok przynosowych. Stało się to możliwe od czasu wprowadzenia tomografii komputerowej i rezonansu magnetycznego. Zastosowanie tych rewolucyjnych technik operacyjnych przyniosło wiele ułatwień w diagnostyce i planowaniu zabiegów. Jednakże samo przeprowadzenie tych operacji, a zwłaszcza skomplikowanych reoperacji, stanowi znaczny problem chirurgiczny. Wprowadzenie ChNO, która łączy zalety technik endoskopowych i badań obrazowych, umożliwiło uzyskanie trójwymiarowej, trzyplaszczynowej orientacji anatomicznej w polu operacyjnym.

Systemy nawigacji operacyjnej znajdują w otolaryngologii wiele zastosowań (Freysinger i in. 1997). Ich szczególne zalety potwierdzają się w szczególnie skomplikowanych przypadkach, takich jak na przykład:

- endoskopowe reoperacje zatok przynosowych, zwłaszcza okolicy zachyłku czołowego
- chirurgia podstawy przedniego dołu czaszki
- operacje okolicy ściany przyśrodkowej oczodołu bądź jego szczytu
- zabiegi w okolicy zatoki klinowej
- operacje guzów podstawy przedniego dołu czaszki ze znaczną destrukcją otaczających struktur, zwłaszcza w okolicy przebiegu tętnicy szyjnej wewnętrznej czy nerwów wzrokowych (Brent i in. 1997).

Zastosowanie ChNO jest także możliwe w wykonywanych standardowo operacjach en-

doskopowych zatok przynosowych. Nie bez znaczenia jest używanie tego systemu przez osoby szkolące się w chirurgii endoskopowej (Mosges, Klimek 1993, Fried i in. 1996).

Stosowanie systemów ChNO ma wiele zalet, wśród których zmniejszenie stresu towarzyszącego pracy chirurga wydaje się nie do przecenienia. Pośród wielu innych korzyści należy wymienić:

- zmniejszenie inwazyjności zabiegów dzięki bardziej bezpośredniemu dostępowi do miejsc, które są celem operacji
- zmniejszenie rozległości pola operacyjnego
- bardziej precyzyjne i doszczętne usuwanie zmian chorobowych
- zwiększenie bezpieczeństwa pacjenta w czasie zabiegu operacyjnego
- zmniejszenie liczby powikłań w czasie zabiegów chirurgicznych, szczególnie takich, których celem jest usunięcie zmian chorobowych umiejscowionych w trudno dostępnych rejonach anatomicznych
- skrócenie „krzywej nauczania chirurga”
- skrócenie czasu operacji
- skrócenie czasu hospitalizacji.

Wprowadzenie systemu nawigacji operacyjnej wymaga poniesienia znacznych nakładów finansowych. Koszt samego urządzenia jest znaczny, badania obrazowe konieczne do zaplanowania i przeprowadzenia zabiegu są drogie, a dostęp do nich jest ograniczony. Jednak chirurgia nawigowana obrazowaniem staje się aktualnie standardem współczesnej rynchirurgii ze względu na jej oczywiste zalety, zarówno jeśli chodzi o jakość leczenia, jak i jego koszty. Niemniej jednak o powodzeniu przebiegu operacji decyduje wyłącznie chirurg, jego umiejętności manualne oraz doświadczenie. System nawigacji ułatwia mu pracę, ale nie zwalnia z konieczności szkolenia się ani z odpowiedzialności za proces terapeutyczny. ●

Autorzy składają podziękowanie firmie

BrainLAB

za udzieloną pomoc przy opracowaniu niniejszego artykułu.

www.brainlab.com

PIŚMIENNICTWO

- Anon J. B. (1998) Computer-aided endoscopic sinus surgery. *Laryngoscope* 108, 949-961.
- Brent A. Senior, Lanza D. C., Kennedy D. W., Weinstein G. S. (1997) Computer-assisted resection of benign sinonasal tumours with skull base and orbital extension. *Arch. Otolaryngol. Head Neck Surg.* 123, 706-711.
- Cartellieri M., Kremser J., Vorbeck F. (2001) Comparison of different 3D navigation systems by a clinical „user“. *Eur. Arch. Otorhinolaryngol.* 258, 38-41.
- Fried M. P., Kleefield J., Gopal H. V., Reardon E., Ho B. T., Kuhn F. A. (1997) Image-guided endoscopic surgery. Results of accuracy and performance in a multicenter clinical study using an electromagnetic tracking system. *Laryngoscope* 107, 594-601.
- Fried M. P., Kleefield J., Jolesz F. A., Hsu L., Gopal H. V., Deshmukh V., Taylor R. J., Morrison P. R. (1996) Intraoperative image guidance during endoscopic sinus surgery. *Am. J. Rhinol.* 10, 337-342.
- Freysinger W., Gunkel A., Martin A., Bale R., Vogege M., Thumfart W. (1997) Advancing ear, nose, and throat computer-assisted surgery with the arm-based ISG viewing wand, the stereotactic suction tube. *Laryngoscope* 107, 690-693.
- Han J. K., Hwang P. H., Smith T. L. (2003) Contemporary use of image-guided systems. *Current Opinion in Otolaryngology and Head and Neck Surgery* 11, 33-36.
- Javer A., Kuhn F., Simth D. (2000) Stereotactic computer-assisted navigational sinus surgery, accuracy of an electromagnetic tracking system with the tissue debrider and when utilizing different headsets for the same patient. *Am. J. Rhinol.* 14, 361-365.
- Kaszowski J. (1989) Nawigacja dla żeglarzy. Wyd. Morskie, Gdańsk.
- Luxenberger W., Koele W., Stamberger H., Reittner P. (1999) Computer assisted localization in endoscopic sinus surgery – state-of. the art The Insta Trak System. *Laryngo-rhino-otologie* 47, 318-325.
- Mosges R., Klimek L. (1993) Computer-assisted surgery of the paranasal sinuses. *J. Otolaryngol.* 22, 69-71.