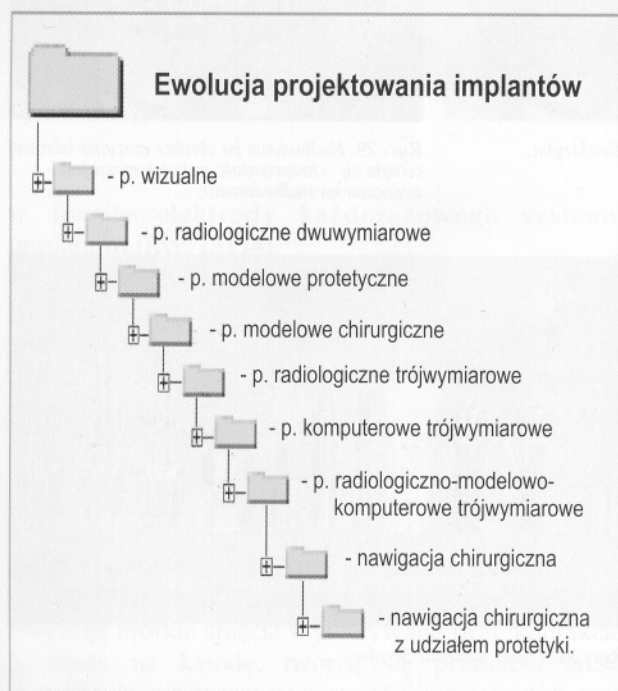


Doświadczenia w nawigacji implantologicznej po rocznym zastosowaniu

Nawigacja implantologiczna stanowi kontrowersyjny temat polemik. Po rocznych doświadczeniach z użyciem tej metody może nastąpić pierwsza ocena. Rozwój nawigacji można traktować jako wskaźnik jakości terapii implantologicznej, jednak metoda ta jest dopiero w fazie początkowej.

W artykule opisano problemy i propozycje rozwoju.



Schemat 1

Cele nawigacji implantami:

1. Zmniejszenie ryzyka.
2. Minimalny uraz tkanki miękkiej.
3. Skrócenie fazy operacyjnej.
4. Dokładne planowanie rezultatów protetycznych.

Łącznie:

wyższa jakość (bezpieczeństwo / pewność, funkcjonalność i estetyka) i większy komfort.

Schemat 2

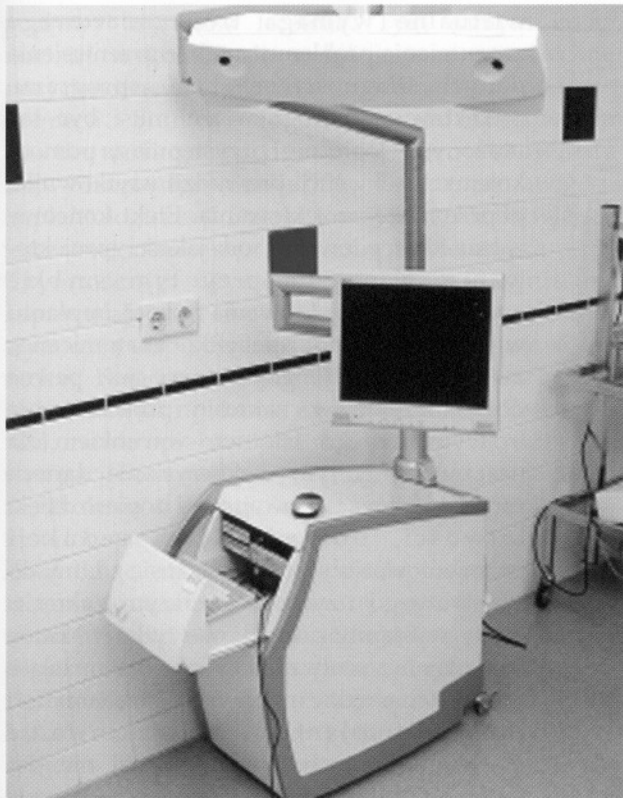
Implantologia zaistniała jako uznana metoda naukowa i uzyskała wysoki stopień rozwoju. Stosując tradycyjne metody projektowania implantów i działanie operacyjne można uzyskiwać rozległe rekonstrukcje organów jamy ustnej, które w zależności od doświadczenia lekarza i dokładności projektowania umożliwiają osiągnięcie wysokiego stopnia precyzji. Okazuje się jednak, że nawet w przypadku istnienia dobrych warunków nie zawsze można osiągnąć optymalny rezultat.

Związany z tym problem polega na możliwie jak najbardziej precyzyjnym przeniesieniu możliwie jak najdokładniejszych wyników badań (klinicznych, projektowania modelowego, radiologicznych) w zakres projektowania a projektowanie z kolei jak najbardziej wiernie w zakres działania operacyjnego a później protetycznego. Tradycyjne metody wykorzystują głównie szyny z tulejkami tworzącymi korelację między wynikami badań a działaniem operacyjnym. Wykres 1 pokazuje dotychczasowy i częściowo jeszcze przyszły rozwój. Znane metody wymagają użycia zaawansowanych technologii i w czasie operacji stwarzają problemy manipulacyjne. Cel dalszego rozwoju precyzji i upraszczania metody mógłby więc polegać na tym, by na bazie możliwie jak najdokładniejszych danych trójwymiarowych przeprowadzać wirtualne projektowanie pozycji implantów i koron i projektowanie to jak najdokładniej przenosić w zakres działania operacyjnego. Wzrost takiej metody z punktu widzenia pacjenta polega głównie na redukcji ryzyka i jasnego przedstawienia potencjalnego rezultatu. Pozytywne skutki uboczne to minimalne rany tkanek miękkich, odpadają bowiem zwykle chirurgiczne wymogi związane z kontrolą pola wykonywanej operacji i co z tego wynika skrócenie trwania operacji i jej następstw (opuchlizna, bóle / wykres 2).

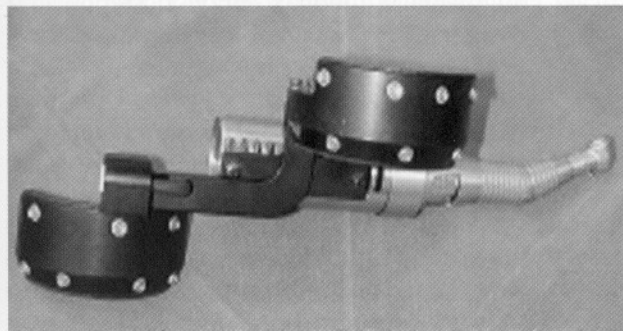
Materiał i metoda

Na osiągnięcie powyższego celu składają się następujące komponenty:

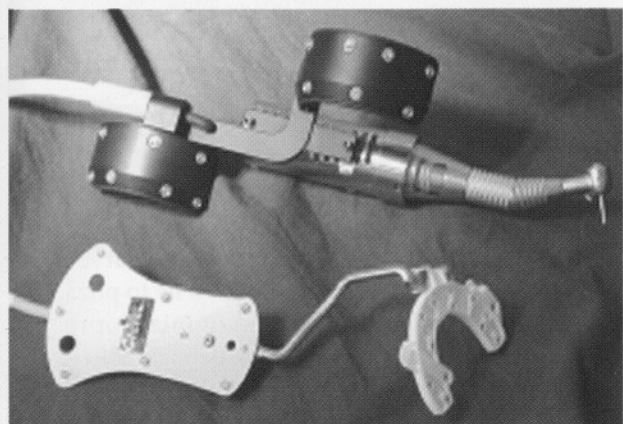
- dokładne, trójwymiarowe ustalenie anatomicznej specyfiki tkanek miękkich i twardych
- określenie pożądanego wyniku („set up” wycięcie zębów z gipsowego modelu i ustawienie zębów



Ryc. 3. Urządzenie do nawigacji implantologicznej złożone z korpusu z dwoma komputerami, ekranu, uchwytu z dwoma kamerami do ustawiania (pozycjonowania), złącza do czujników na uchwycie ręcznym i czujników szynowych, włącznik nożny.



Ryc. 4. Uchwyt ręczny z czujnikami.



Ryc. 5. Szyna z czujnikami.

- w protezie, wirtualnie lub jako sytuacja modelowa)
- projektowanie komputerowe
- urządzenie służące do uzyskania zamierzonego efektu w ustach pacjenta.

Od stycznia 2001 r. mamy do dyspozycji system IGI (image guided implantology) System składa się z elementów:

- projektującego
- operacyjnego
- czujnika pozwalającego na przenoszenie pozycji wiertła w czasie rzeczywistym na ekran i kierującego lekarzem w czasie operacji. Ten podsystem składa się z dokładnie odprowadzalnej szyny doustnej z czujnikiem, kamer i chłodzonej wewnętrznie kątnicy z czujnikami.

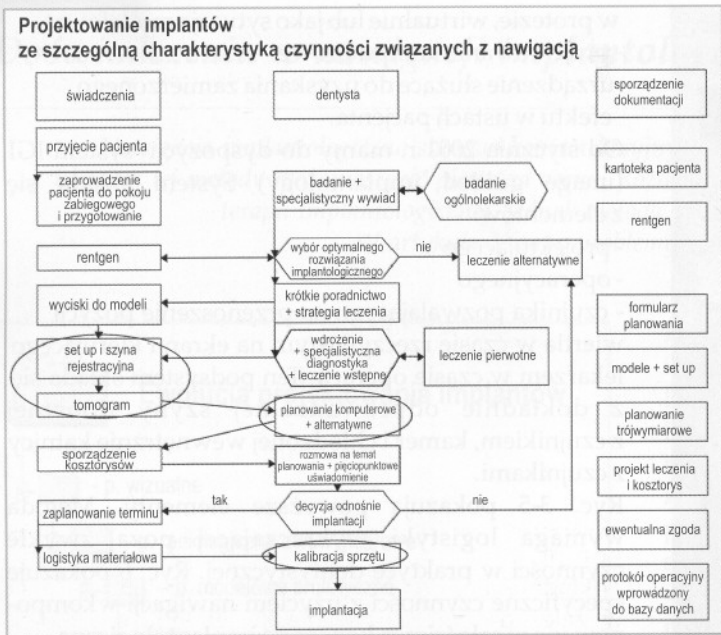
Ryc. 3-5 pokazują powyższe elementy. Metoda wymaga logistyki wykraczającej poza zwykłe czynności w praktyce dentystycznej. Ryc. 6 pokazuje specyficzne czynności z użyciem nawigacji wkomponowane w całościową koncepcję implantologiczną.

Specyficzne etapy implantacji z użyciem monitoringu

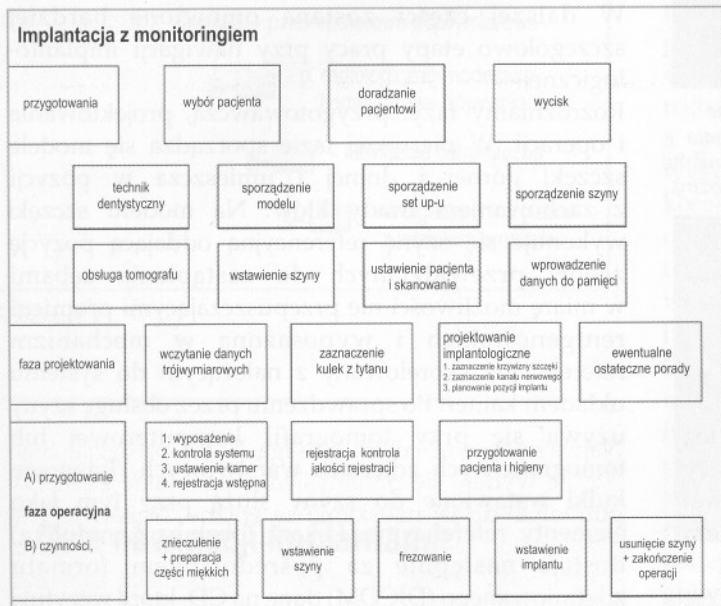
W dalszej części zostaną omówione bardziej szczegółowo etapy pracy przy nawigacji implantologicznej.

Rozróżniamy fazy: przygotowawczą, projektowania i operacji. W pierwszej fazie sporządza się modele szczęki górnej i dolnej i umieszcza w pozycji z zachowaniem triady kłów. Na modelu szczęki wykonuje się szynę referencyjną oddającą pozycję zębów przewidzianych do zastąpienia zębami w miarę możliwości nie przepuszczającymi promieni rentgenowskich i wyposażoną w mechanizm referencyjny skorelowany z należącym do systemu układem kamer. Po sprawdzeniu przez obsługę szyny używa się przy tomografii komputerowej lub tomograficznych zdjęciach warstwowych. Tytanowe kulki wstawione do szyny służą przy tym jako elementy referencyjne. Lekarz (obsługa komputera) dostaje następnie za pośrednictwem formatu zdefiniowanego (DICOM) dane na CD, które wczytuje do programu przeznaczonego do projektowania. Lekarz potrafi teraz ustalić anatomie trójwymiarowo i zaznaczyć zagrożone struktury, np. nerw zębodołowy dolny. W zależności od struktur anatomicznych i obrazowania zębów nie przepuszczających promieni można w ten sposób znaleźć optymalną pozycję dla implantu.

Za pomocą ustalonych w ten sposób danych, szyny referencyjnej umieszczonej w ustach pacjenta i systemu IGI z kątnicą można teraz przeprowadzić operację. To oznacza, że lekarz w czasie rzeczywistym może widzieć na monitorze w wizualizacji trójwymiarowej, gdzie jest i w którą stronę przesuwają się wiertło kątnicy implantologicznej. Ryc. 7 pokazuje



Ryc. 6.



Ryc. 7.

kolejne fazy nawigacji komputerowej. Zastosowanie tego systemu sprawdzono w codziennej praktyce i jak zwykle przy innowacjach dopiero wówczas ujawniły się efekty tak pozytywne jak i negatywne.

Faza szkolenia

Każde nowe rozwiązanie wiąże się ze szkoleniem. Nie jest to wprawdzie ważne ze względu na późniejszą zrutyinizowaną praktykę, jednak doświadczenia zdobyte w tej fazie pokazują, co jest szczególnie godne uwagi. Dla lekarza decydujące zadania dotyczą projektowania wirtualnego. Projektowanie

wirtualne wymaga trójwymiarowego zrozumienia problemu, a także przeniesienia danych diagnostycznych do programu projektowania. Program ten musi być tak ułożony, by logicznie i przystępnie za pomocą kolejnych sekwencji prowadził użytkownika poprzez fazę projektowania. Efekt końcowy zależy od jakości projektowania. Następuje przy tym szybkie opanowanie projektowania pozycji implantu w zależności od specyfiki anatomicznej, zwłaszcza wtedy, gdy istnieje już pewne doświadczenie w zakresie projektowania trójwymiarowego. Istotnym warunkiem dla nas było przy tym wykorzystanie danych z tomografii warstwowej, gdyż dopiero dzięki łatwości, dokładności i redukcji promieniowania system okazał się zdalny do praktycznego użycia w szerszym zakresie. Błędy wystąpiły początkowo tylko wskutek tego, że nie zostały zachowane wystarczające odległości między naturalnymi zębami lub innymi implantami. Projektowanie dodatkowych technik augmentacji nie jest możliwe za pomocą programów.

Zastosowanie nawigacji implantologicznej jest więc niemożliwe przy postępowaniu jednofazowym implantacji z jednoczesną augmentacją. Jednak przy postępowaniu dwufazowym można oczywiście w fazie drugiej pracować przy pomocy systemu nawigacji.

Nieco więcej doświadczenia wymagało projektowanie pozycji implantów w zależności od niezbędnej pozycji nadbudowy. Ponieważ w czasie zdjęcia usta muszą być otwarte ze względu na interpozycję szyny, w trakcie wykonywania szyn najpierw uwzględniono pozycje antagonistów i uwidoczniono je za pomocą siarczanu barowego. Ta metoda była wprawdzie ogólnie pomocna, lecz nie w każdym przypadku niezawodna.

Postępem okazało się tu użycie zębów nie przepuszczających promieni, które uwidocznione na zdjęciu trójwymiarowym dawały lekarzowi lepsze wyobrażenie koniecznej pozycji implantów (Ryc. 8a i b). Prowizoryczne uzupełnienie natychmiastowe można w ten sposób - o ile to pożądanie lepiej przygotować, natomiast precyzyjnie w prowizorycznym uzupełnieniu natychmiastowym nie da się jak na razie uzyskać. Okazało się jednak, że już samo projektowanie trójwymiarowe prowadzi do wyraźnej

Dariusz Bukaczka

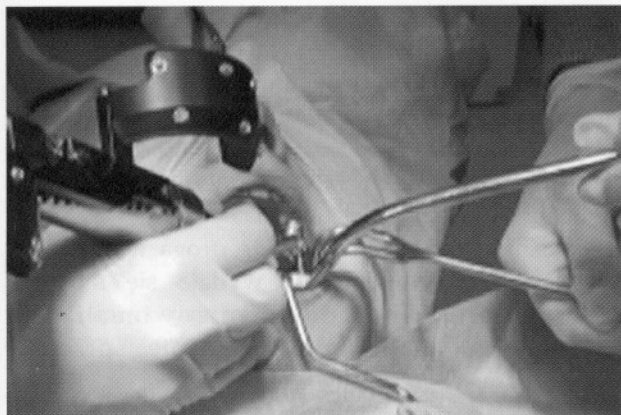
poprawy wyników leczenia. Tym samym coraz rzadziej wykonuje się wciąż jeszcze powszechne pozycjonowanie implantów „z wolnej ręki” podczas operacji. Stanowi to zachętę do oferowania użytkownikom programów projektowania trójwymiarowego niezależnie od systemu nawigacji implantologicznej. Dzięki temu znacznie łatwiejsze jest zaznajomienie się z powyższą problematyką.

Czynności z użyciem kątnicy z czujnikami zapewniającymi kontrolę pozycji na ekranie wymagają etapu ćwiczeń i systematycznej nauki faz ruchu. Pomocne są doświadczenia z podobnymi technikami jak np. kamery wewnątrzustne. Zaleca się wykonanie pierwszych implantów z użyciem nawigacji komputerowej na modelu, co i tak znane jest ze szkolenia w implantologii. Ryc. 9 pokazuje obraz na monitorze w czasie zabiegu.

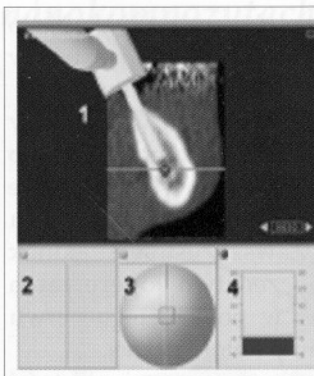
Zakładając rozsądne podejście i podstawową znajomość techniki można tej metody w całości nauczyć się szybko i uzyskać pożądaną wprawę. Dla ostrożności jednak zaleca się weryfikować ślepe zaufanie do komputera i sterowanej elektronicznie kątnicy implantologicznej częstą obserwacją okolicy zabiegu. W ten sposób można zauważyć na czas potencjalne i rzeczywiste błędy techniczne.

Logistyka

Schemat pokazany na Ryc. 7 unaocznia konieczność korelacji podczas nawigacji implantologicznej wielu poszczególnych kroków. To wymaga nie tylko u lekarza, lecz także u całego zespołu zrozumienia ogólnej koncepcji nawigacji, która musi być przedmiotem szkolenia. Zespół tworzą administrator, personel asystujący przy operacji, technik i radiolog. Administrator musi znać czasowy przebieg i odcinki czasowe między poszczególnymi fazami jak też obliczeniowe dane techniczne. Personel asystujący musi oprócz zwykłej logistyki związanej z przewidzianym do zastosowania systemem



Ryc. 9. Sytuacja w czasie operacji z użyciem czulej kątnicy i szyny w pozycji naturalnej.



Ryc. 8.

Lekarz może w czasie nawiercania łoża implantu obserwować pozycję wiertła w czasie rzeczywistym we wszystkich wymiarach. Obrazek 1 pokazuje pozycję kątnicy z frezem w pozycji docelowej, obrazek 2 pozycję końcówki frezarki, obrazek 3 kierunek frezu a obrazek 4 osiągniętą głębokość. Przy wychodzeniu z korytarza docelowego zadziała sygnalizacja ostrzegawcza dźwiękowa i wizualna.

implantatów poczynić typowe dla systemu przygotowania przedoperacyjne. Starannego przeszkolenia wymaga zwłaszcza nastawianie systemu (kontrola działania po ustawieniu komponentów, rejestracja szyny i kontrola dokładności). Ważne są także ułożenie pacjenta w zależności od ustawienia systemu i zachowanie higieny. Ponieważ szyny rejestrującej i czujników nie da się wysterylizować urządzeniami dostępnymi na miejscu, konieczna jest tu szczególna dbałość o dokładną dezynfekcję. Ryc. 8 i 9 przedstawiają nawigację implantologiczną w warunkach klinicznych.

Znaczącą jest zależność od techniki. Uwagę należy zwrócić na czynności wykonywane w przypadku awarii komputera, złego zaprojektowania lub awarii innych elementów systemu. Doświadczenie pokazało, że tego typu awarie mogą się zdarzać i z reguły były do usunięcia lub pominięcia. Przejście z trybu nawigacji do trybu tradycyjnego działania musi być jednak ze względów bezpieczeństwa zawsze wzięte pod uwagę.

Precyzja

Najważniejszym celem nawigacji jest precyzja. Stąd istotne wydaje się przemyślenie tego, jakie elementy potrzebne do jej uzyskania są ważne. Najłatwiej jest przy tym oszacować precyzję podaną przez komponenty systemu, gdyż ta za pomocą systemu może być mierzona. Bywa ona w zależności od pacjentów różna i oscyluje w granicach 0,1-0,4 mm, w razie potrzeby po ostatecznym kalibrowaniu. Przy rosnącej wprawie wartości stabilizują się w okolicach dolnej granicy. Na precyzję szczególny wpływ ma odtworzenie pozycji szyny. Zgodnie z tym ważna jest precyzja odwzorowania przy wykonaniu modelu, wykonaniu szyny, ustawieniu szyny przy zdjęciach trójwymiarowych i wreszcie przy zabiegu operacyjnym. Z reguły czynności te nie są wykonywane do końca przez lekarza operującego, szczególnego znaczenia nabiera zatem szkolenie i uświadomienie pozostałego personelu. Istotną jest precyzja kątnicy implantologicznej. Braki w zakresie uchwytu wiertła w kątnicy lub frezy niezgodne ze

skalą mogą mieć negatywny wpływ na precyzję. Na to należy zwracać uwagę tak przy zakupie jak i przy ocenie zużycia narzędzi wielokrotnego użytku.

Spodziewany początkowo korzystny efekt dotyczący implantacji obok kanału żuchwowego osiągano rzadko. Z uwagi na brak miejsca nie jest możliwe umieszczanie jeszcze jednego implantu obok nerwu żębodołowego dolnego. Zawsze istnieje jednak znacznie większe bezpieczeństwo operowania i wprowadzania implantów w pobliżu tego nerwu z zastosowaniem nawigacji implantologicznej.

Ciekawe jest też porównanie zmierzonej objętości kostnej. Pierwsze porównanie między kalibrowanym PSA (Sidexis), tomografią warstwową a projektowaniem nawigacyjnym wykazało różnice do 1mm. Objętość kostna była każdorazowo w planowaniu nawigacyjnym największa, w związku z czym można przypuszczać, że wówczas łożysko implantu da się wykorzystać najlepiej.

Metoda przyjazna dla pacjenta

Stosunek pacjentów do metody był mimo wyższych kosztów zaskakująco dobry. Dla wszystkich aspekt bezpieczeństwa był zdecydowanie najważniejszym kryterium decydującym o poddaniu się zabiegowi implantacyjnemu z użyciem nawigacji komputerowej. Mniejszą wagę miało skrócenie operacji i łagodniejsza postać następstw pooperacyjnych. Inne korzyści, jak np. demonstracja wyniku operacji na ekranie lub model, były odbierane jako dodatkowe pozytywne efekty, które są osiągalne też w innej metodzie.

Przy ocenie nawigacji implantów powstaje w pierwszym pytaniu, na ile wytknięte cele mogą być osiągnięte. Na to pytanie można dać odpowiedź w znacznym stopniu pozytywną, uzyskuje się w każdym razie większe bezpieczeństwo i precyzję, czyli łącznie wyższą jakość metody implantacyjnej. Braki dotyczą raczej niezawodności sprzętu. Trudniej odpowiedzieć na pytanie, czy uzyskana jakość usprawiedliwia wymagany nakład środków i o ile tak by nie było stale przy jakich przesłankach wskazana jest implantacja z użyciem nawigacji. Dla nawigacji konkurencyjne są tu inne systemy planowania, głównie szyny z tulejami przygotowywane na bazie fotografii trójwymiarowych. W tym celu należy najpierw określić koszty. Tworzą je koszty inwestycyjne, szkoleniowe, indywidualne oraz nakład czasu. Inwestycje na potrzeby uzyskania gotowego systemu oscylują obecnie w granicach 45000 - 80000. Pierwsze szkolenie jest w kosztach już zawarte, liczyć należy się na pewno z dalszymi szkoleniami wewnętrznymi, koniecznymi w fazie rozruchu całego systemu. Koszty bieżące powstają wskutek zużycia materiału

i działania laboratorium na potrzeby projektowania modeli, *set up* -ów i szyn rejestrujących oraz w razie potrzeby wskutek normalnie nieprzewidzianej diagnostyki trójwymiarowej. Uwzględnić trzeba też zwiększony nakład pracy personelu. Czynnikiem decydującym jest zwiększone planowanie, czyli nakład czasu ze strony lekarza- najdroższego ogniwa w systemie, a jego wydłużony czas pracy przygotowawczej dzięki skróconej operacji zwraca się tylko częściowo. Kalkulacja wypada w zależności od przypadku i wykonawcy różnie i oscyluje w granicach 300 - 2000 € w odniesieniu do jednego pacjenta.

Reasumując:

- nawigacja implantologiczna oznacza zawsze podniesienie jakości,
- wskazanie do wykonania nawigacji musi oprócz ustaleń medycznych odpowiadać indywidualnym wymogom pacjenta,
- nawigacja implantologiczna jest z medycznego punktu widzenia wskazana zwłaszcza wtedy, gdy istnieje ryzyko, a więc w strefie zębów bocznych żuchwy przy zaniku wyrostka żębodołowego,
- nawigacja implantologiczna jest wskazana wtedy, gdy czas operacji powinien być ograniczony do minimum, np. przy ograniczonej wytrzymałości pacjenta,
- nawigacja implantologiczna jest wskazana wtedy, gdy przewiduje się obszerne rekonstrukcje na bazie implantów, w których pozycje implantatów mają ze względów funkcjonalnych i estetycznych szczególnie duże znaczenie; efekty skrócenia czasu operacji i redukcji obciążenia operacyjnego ulegają wówczas wielokrotnieniu,
- nawigacja implantologiczna jest dziś dopiero we wczesnej fazie rozwoju,
- nawigacja implantologiczna jest mniej wskazana, gdy np. natychmiastowe lub odroczone implantacje zaplanowane są w określonych anatomicznych strukturach żębodołów lub, gdy przewidziane jest umieszczenie w bezzębnej szczęce nadbudów implantoprotetycznych stabilizujących protezę,
- nawigacja w związku z augmentacją jest kontrowersyjna
- łączny nakład czasu w łatwych przypadkach obecnie nawigacji nie uzasadnia.

Ostatecznie trzeba stwierdzić, że droga wiodąca do nawigacji implantologicznej wydaje się słuszna. Polepszona musi być głównie wizualizacja całościowego planowania, władanie sprzętem i niezawodność.