

Evolution of computer-assisted planning systems used in implant dentistry in the first decades of the 21st century

Ewolucja cyfrowych technik planowania leczenia stosowanych w implantologii stomatologicznej w pierwszych dekadach XXI wieku

Łukasz Łomżyński, Elżbieta Mierzwińska-Nastalska

Katedra Protetyki Stomatologicznej, Wydział Lekarsko-Dentystyczny, Warszawski Uniwersytet Medyczny, Polska
Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Medical University of Warsaw, Poland
Head: prof. E. Mierzwińska-Nastalska

Abstract

Digital techniques in dentistry have been developing rapidly in the past 15 years, irreversibly changing modern dentistry with the implant dental procedures, to become one of the most influenced areas of dental sciences. 3-D implant planning software systems available since the beginning of the 21st century have been evolving towards more user-friendly interfaces and more advanced planning. These new solutions make it possible to integrate the planning systems with 3-D printing devices. Authors of the following paper describe the most important advancements in the planning systems that allow the merger of 3-D CT imaging with the soft tissue visualizations acquired with the intra-oral or lab scanners, thus limiting indications for the classic double CT scanning techniques with the use of individual radiographic guides. The possibility of surgical template production independent of the software provider itself has also been described. It may significantly cut the costs of its production, but might at the same time increase the risk of potential inaccuracies due to the limitations of the available 3-D printing devices.

Streszczenie

Cyfrowe techniki w stomatologii, a w szczególności w implantologii, rozwijają się bardzo dynamicznie, zmieniając nieodwracalnie oblicze nowoczesnej stomatologii. Pierwsze zaawansowane systemy analizy obrazowania za pomocą tomografii komputerowej, umożliwiające przeniesienie planu leczenia do warunków klinicznych z zastosowaniem indywidualnie przygotowanych szablonów chirurgicznych, pojawiły się już kilkanaście lat temu. Przez ten okres następowała ich stopniowa ewolucja, mająca na celu usprawnienie i udoskonalenie tej metodyki pracy z pacjentem. Ponadto pojawiały się rozwiązania kolejnych producentów umożliwiające dalszy, interesujący rozwój opisywanych systemów. Autorzy niniejszej publikacji opisują najważniejsze zmiany w zakresie tej dynamicznie rozwijającej się tematyki, skupiając się przede wszystkim na tych, które umożliwiły integrację trójwymiarowego obrazowania tomograficznego z obrazowaniem uzyskanym ze skanerów cyfrowych (wewnątrzustnych lub laboratoryjnych), co pozwala na znaczne ograniczenie wskazań do przeprowadzania badania tomograficznego w technice podwójnego skanowania z indywidualnie przygotowywanymi szablonami radiologicznymi. Opisana zostaje ponadto możliwość uniezależnienia procesu produkcji szablonów chirurgicznych od producenta oprogramowania dzięki tworzeniu trójwymiarowych modeli szablonów w tzw. otwartym formacie STL oraz wykorzystaniu technologii druku 3D.

KEYWORDS:

implant dentistry, computed tomography, treatment planning, surgical templates

HASŁA INDEKSOWE:

implant dentistry, computed tomography, treatment planning, surgical templates

Digital dentistry, which has been developing rapidly in the past fifteen years, is one of the most interesting advances influencing the work of dentists all over the world.^{1,2} Digital x-rays that have already been incorporated in everyday practice, and the 3-D visualizations of the CBCT imaging, have created endless possibilities for its precise analysis, and resulted in development of specialized software systems facilitating implant, prosthodontic and even orthodontic treatment planning.

The first implant planning software systems were launched almost 20 years ago³ – with the NobelGuide (NobelBiocare) and Simplant (Materialise) being the two main systems used worldwide in the first years of the 21st century. The former is a closed system (allowing one to plan only the implants of one brand) manufactured by and being a part of the NobelBiocare implant offer, the latter is marketed as an open system, with the possibility to consider implants of various brands. On the one hand that was its advantage, not being limited to only one implant manufacturer, but on the other it was a limitation from the practical point of view, with the lack of options to create a dedicated surgical tooling for all the supported implant types. The NobelBiocare concept had a guided surgical box with specially designed drills and guides that facilitated the transfer of the virtual CAD treatment plan (Fig. 1, 2, 3) to the patient with the stereolithographically prepared surgical stents.

Numerous clinical papers published in recent years,⁴⁻⁶ which describe in detail the clinical effectiveness of both planning systems, make a very interesting reading regarding this completely new methodology in implant treatment that has influenced dramatically the everyday practice of implant dentists. The papers in question emphasize the risk of potential failures caused by overestimating the easiness of implant placement with the new techniques.

Analyzing the worldwide research regarding this issue in the course of the past ten years, it is possible to see clear trends beginning with very optimistic case reports, and then slowly drifting towards some advanced clinical research showing

Rozwój technik cyfrowych wykorzystywanych w stomatologii w ostatnich latach jest jednym z najbardziej interesujących zjawisk, które nieodwracalnie wpłynęły na codzienną pracę stomatologów na całym świecie.^{1,2} Stosowane już na co dzień cyfrowo wykonywane prześwietlenia radiologiczne oraz dynamiczny rozwój technik trójwymiarowej wizualizacji obrazowania za pomocą tomografii komputerowej, które weszły do kanonu obowiązkowych badań dodatkowych, otwierają niezliczone możliwości wykorzystywania ich w planowaniu leczenia oraz rozwijaniu systemów oprogramowania pomocnego w zakresie planowania i projektowania leczenia implantologicznego, protetycznego oraz, coraz częściej, ortodontycznego. Pierwsze systemy oprogramowania wykorzystujące trójwymiarową analizę badania za pomocą tomografii komputerowej pojawiły się już niemal 20 lat temu. W początkach stosowania systemów komputerowego planowania leczenia należy wyróżnić produkty firm NobelGuide (NobelBiocare) oraz Simplant (Materialise), będących w pierwszych latach XXI wieku głównymi konkurentami na rynku światowym.³ Pierwszy, ściśle związany z producentem implantów, traktowany jest jako system tzw. zamknięty (umożliwiający pracę jedynie z ograniczoną biblioteką implantów jednego producenta), natomiast drugi promowany jest jako system otwarty, umożliwiający pracę z wieloma systemami implantologicznymi. Z jednej strony, stanowiło to jego zaletę w związku z możliwością stosowania implantów wielu producentów, a z drugiej, z czysto praktycznego punktu widzenia, niestety też pewnego rodzaju ograniczenie. Związane to było głównie z brakiem możliwości stworzenia ujednoliconego instrumentarium chirurgicznego, umożliwiającego w każdej sytuacji, jak w systemie firmowanym przez NobelBiocare, przeniesienie utworzonego w środowisku CAD planu leczenia (Fig. 1, 2, 3) do warunków klinicznych z wykorzystaniem szablonów chirurgicznych wykonywanych w technice stereolitografii i odpowiednio kalibrowanego instrumentarium chirurgicznego.

Liczne badania kliniczne publikowane w ostatnich latach w czasopismach specjalistycznych,⁴⁻⁶ traktujące o skuteczności klinicznej obu systemów

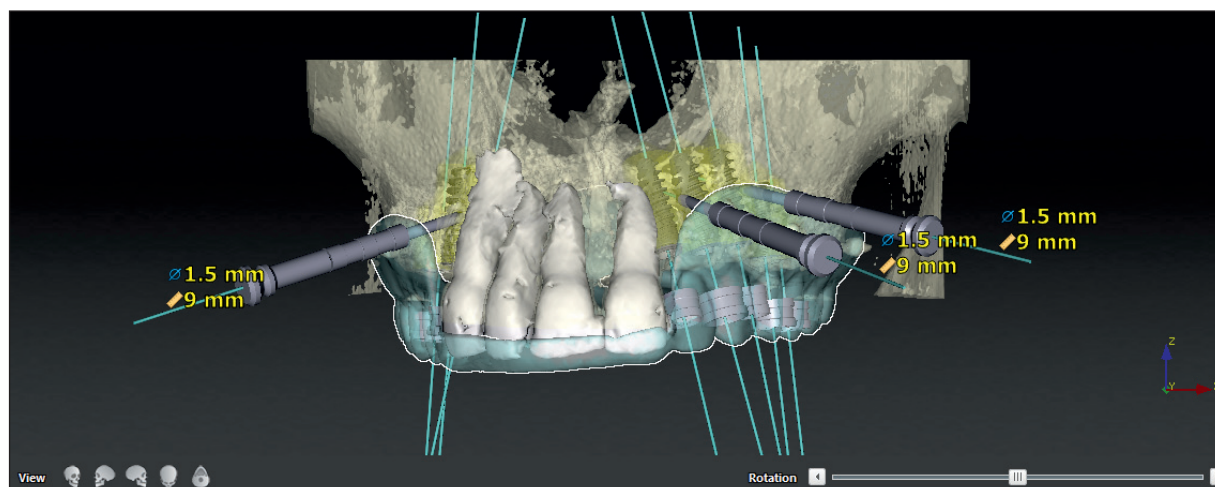


Fig. 1. NobelClinician – 3-D visualization of hard tissues with a radiographic template and planned implants.
Okno robocze systemu NobelClinician z trójwymiarową wizualizacją tkanek twardych i szablonu radiologicznego.

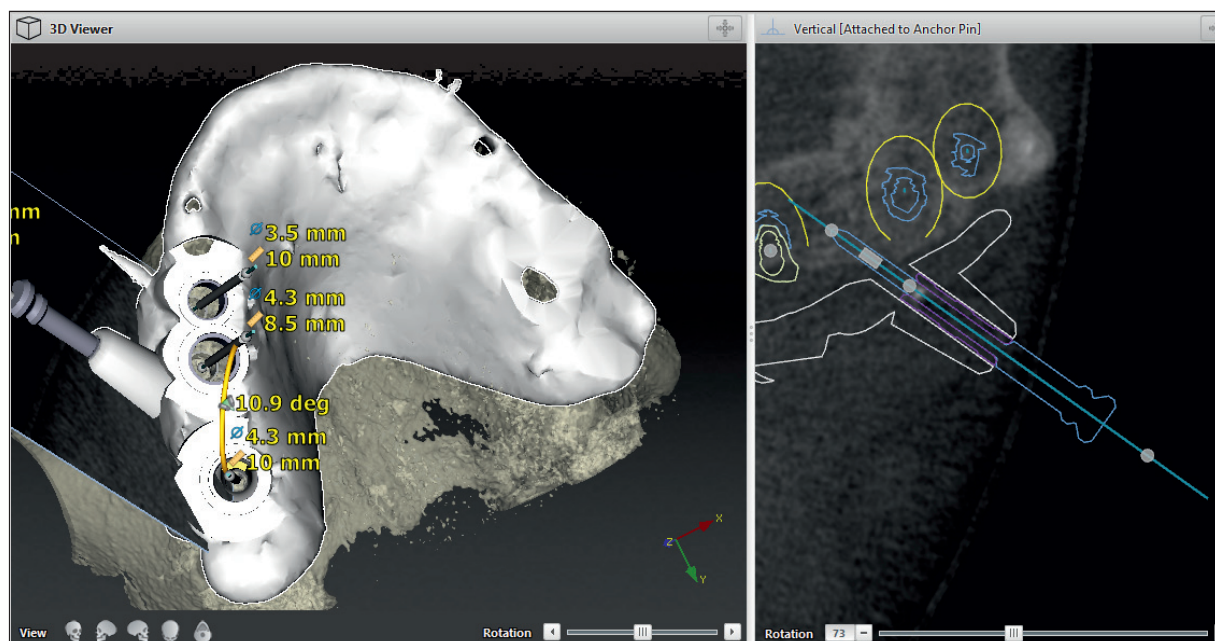


Fig. 2. NobelClinician – surgical stent 3-D design with a stabilizing pin.
NobelClinician – projekt szablonu chirurgicznego z pinem stabilizującym.

in detail the possible traps and new complications caused by mistakes that can be made at each stage of the new, truly revolutionizing, implant protocol.⁷⁻⁹ The first complete detailed Polish analysis regarding this issue was described by *Lomzynski* in his doctoral thesis.¹⁰

In recent years, the digital workflows are getting more and more popular in the area of clinical dentistry and in the dental labs. It has been made possible by the dynamic growth of the

stanowią interesującą lekturę o tej zupełnie nowej metodyce postępowania, wpływającej znacząco na codzienne techniki pracy klinicznej, umożliwiając ponadto analizę potencjalnych zagrożeń mogących nierzadko wynikać ze zbytnej ufności w skuteczność opisywanych nowych technologii.

Analizując światowe piśmiennictwo w zakresie tej nowej metodyki procedur klinicznych na przestrzeni ostatnich 10 lat, można zaobserwować jasno zarysowane tendencje, rozpoczynające

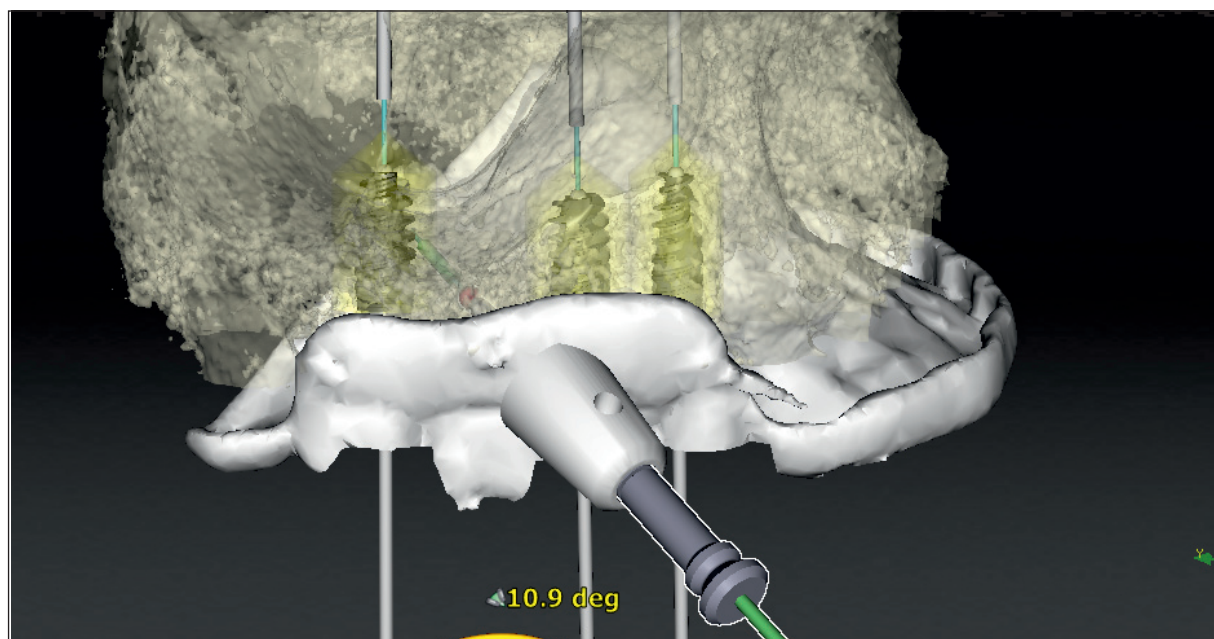


Fig. 3. NobelClinician – bone transparency function.

NobelClinician - funkcja przezierności tkanki kostnej.

3-D optical scanning techniques, decreased costs and the ease of access to the high resolution 3-D printing.^{11,12} A new important software developer has also emerged – a Danish company called 3shape – that initially has been producing lab scanners, but in the past years started developing advanced intraoral clinical scanners. They enable the transfer of the 3-D images acquired intraorally to the computer software making the classic impression techniques obsolete (Fig. 4).¹³⁻¹⁵ This prompted the remaining software developers to move from the double scanning techniques (with specially designed radiographic guides) towards the 3-D visualization of the scanned stone casts or the imaging acquired with the use of intraoral scanners and its merging with the CBCT.

Merging the CBCT with the intraorally scanned soft tissue image is the next stage in the quickly advancing 3-D software systems, limiting the radiographic guides and double CT scanning techniques to the fully edentulous group of patients, with no fixed points of reference to merge the two types of imaging (CBCT and the intraoral one). Interestingly, the Implant Studio also allows for the classic radiographic guide/double scanning protocol to be used in partial cases, but the case

się początkowo od optymistycznych opisów przypadków klinicznych leczenia przeprowadzanego z wykorzystaniem nowej metodyki, poprzez pojawiające się w kolejnych latach znacznie bardziej stonowane relacje i analizy, oparte na pełniejszych badaniach klinicznych, opisujące szczegółowo możliwe powikłania i pułapki wynikające z błędów popełnianych na poszczególnych etapach pracy z tymi, niewątpliwie rewolucjonizującymi procedury kliniczne nowymi metodami pracy.^{7,8,9} Pierwszą w naszym kraju szczegółową analizę korzyści i ewentualnych zagrożeń związanych z klinicznym wykorzystywaniem systemów do planowania leczenia implantologicznego przedstawił Łomżyński w pracy doktorskiej.¹⁰

W ostatnich latach odnotowuje się zdecydowaną popularyzację stosowania metodyki cyfrowej wykorzystującej oprogramowanie CAD/CAM zarówno w stomatologii klinicznej, jak i technikach laboratoryjnych. Jest ona możliwa dzięki dynamicznemu rozwojowi technik trójwymiarowego skanowania optycznego, a także wzrostowi dostępności i, co nie mniej istotne, spadkowi kosztów druku 3D w odpowiednio wysokiej rozdzielczości.^{11,12} Pojawił się ponadto nowy system oprogramowania wspomagającego planowa-

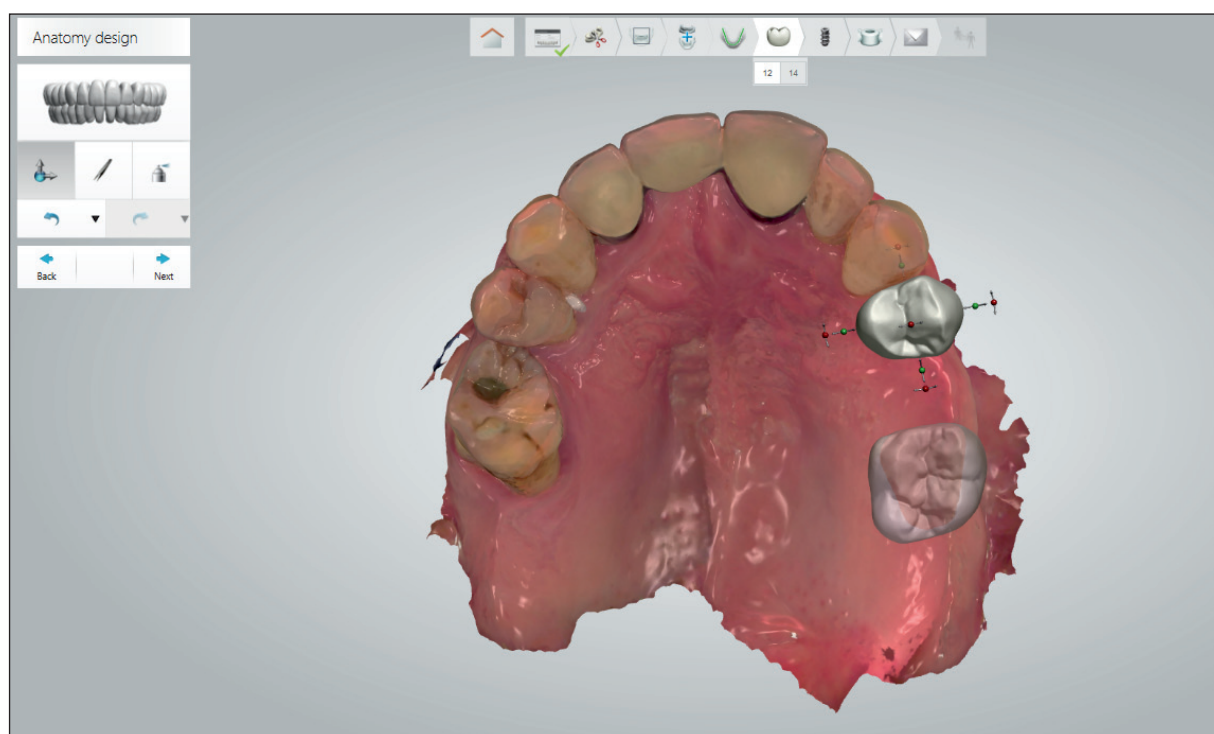


Fig. 4. ImplantStudio – 3-D soft tissues imaging imported from the Trios intraoral scanner.
 ImplantStudio – wizualizacja tkanek miękkich uzyskana za pomocą skanera wewnątrzustnego Trios.

must be registered as a fully edentulous one in the starting stages of planning (registering the case as a partial one requires the intraoral scan or the stone cast scan to proceed with the planning).

NobelGude, rebranded a few years ago to NobelClinician (that was supposed to stress the clinical effectiveness of the system) in an update launched about three years ago made allowance for importing the stone cast scan into the planning environment (although just in the selected types of partial cases and only the scans performed with the 2.0 ProCera Scanner). At present, it is not possible to use the intraoral scanners in the NobelClinician workflow, which can be regarded as a disadvantage compared to the 3shape Implant Studio workflow. The 3shape software is also interesting as it allows to 3-D print the surgical templates in any medical 3-D printer that meets the required resolution limit. The 3-D design of the surgical stent can be saved as a STL file that is recognized by various 3-D printing software systems. Another advantage is that the Implant Studio supports various implant brands, multiple stent sleeve producers and has a

nierozwijany przez duńską firmę 3shape, która pierwotnie promowała laboratoryjne rozwiązania w zakresie skanerów optycznych przeznaczonych dla techników dentystycznych, a w ostatnich latach rozpoczęła równorzędnie produkcję zaawansowanych klinicznych skanerów wewnątrzustnych. Umożliwiają one płynne przeniesienie do trójwymiarowego środowiska komputerowego obrazowania 3D pozyskanego bezpośrednio w ustach pacjenta, z pominięciem etapu pobierania wycisków¹³⁻¹⁵ oraz wstępnych etapów postępowania laboratoryjnego (Fig. 4). Było to powodem znacznej mobilizacji wśród twórców systemów konkurencyjnych w kierunku odejścia, w wybranych przypadkach braków częściowych, od technik tzw. podwójnego skanowania z szablonami radiologicznymi, na rzecz skanowania 3D modeli gipsowych lub użycia skanów wewnątrzustnych w celu ich łączenia z obrazowaniem tomograficznym. Jest to kolejny etap w rozwoju technik cyfrowych umożliwiający uzyskanie wizualizacji ukształtowania tkanek miękkich jamy ustnej, bez uprzedniej konieczności wytwarzania i ska-

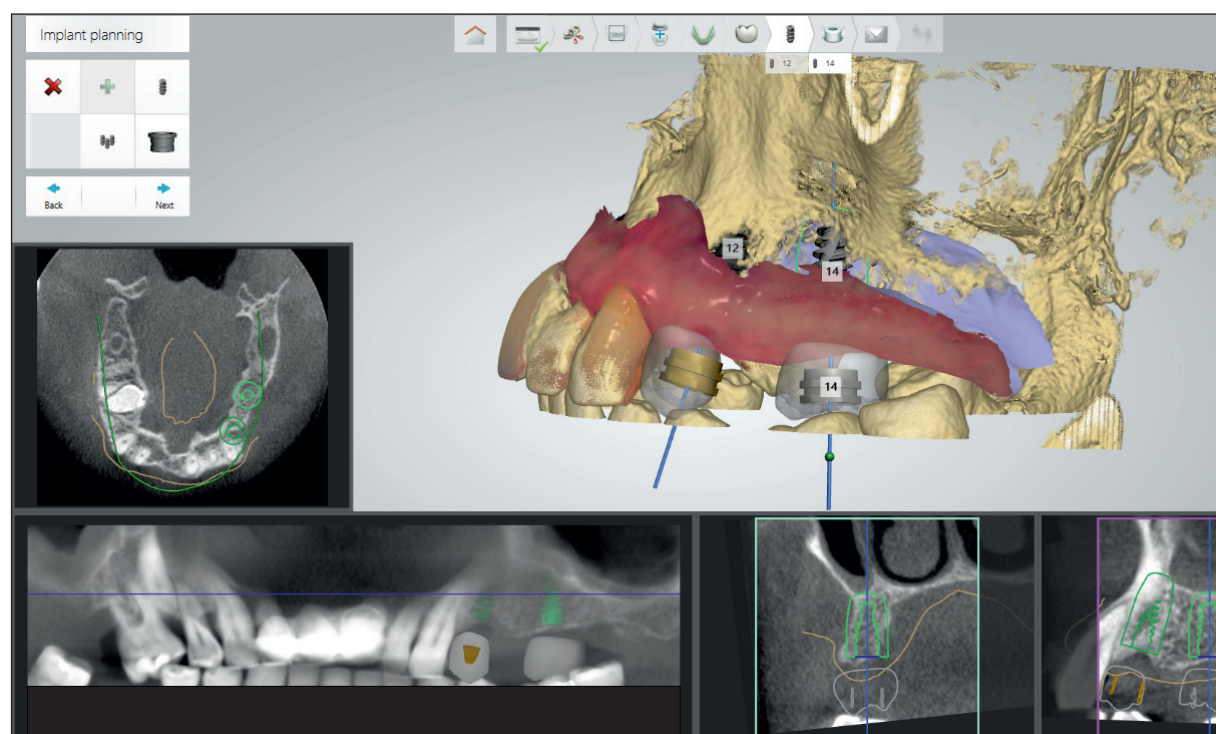


Fig. 5. ImplantStudio – planning environment – 3-D CBCT imaging merged with the soft tissues Trios visualization.
 ImplantStudio – środowisko planowania z obrazem tomograficznym połączonym z wizualizacją tkanek miękkich.

dedicated guided surgical box that can be used with different implant systems, making it the so-called open system.¹⁶

Planning workflow in Implant Studio looks similar to the previously available planning systems (NobelClinician and Simplant). It starts with the CBCT import and its conversion to the 3-D image, followed by its merger with the intraorally scanned soft tissue image (or with the stone cast scan). In the edentulous case, the radiographic guide with the gutta-percha markers is necessary. The markers are responsible for the 3-D correlation of the CBCT imaging with the guide scan (the markers are visible in both sets of CBCT scans). The planning stage in Implant Studio looks similar to the previously used planning systems (Fig. 5), with the main difference regarding the number of available implant brands. Important dissimilarities start at the surgical stent planning stage. Its shape and thickness design can be fully customized before initializing the 3-D print (Fig. 6). Implant Studio software allows modification of the surgical stent design in its every aspect making it possible

nowania obowiązkowych dotychczas szablonów radiologicznych. Ich stosowanie zostało ograniczone jedynie do braków klasy V wg Galasińskiej-Landsbergerowej, gdzie brak jest jednoznacznych punktów wzajemnej korelacji obrazów uzyskanych w przebiegu badania CT (odpowiedzialnych za uzyskiwany w oprogramowaniu CAD obraz 3D tkanki kostnej) oraz obrazów uzyskanych w wyniku skanowania gipsowych modeli lub też skanowania wewnątrzustnego (odpowiedzialnych za wizualizację geometrii tkanek miękkich).

Co ciekawe, oprogramowanie ImplantStudio produkcji firmy 3shape umożliwia pracę z wykorzystaniem szablonów radiologicznych i podwójnego skanowania nawet w przypadku braków częściowych, choć wymagana jest wtedy rejestracja danego planu leczenia jako przypadku pacjenta bezzębnego, gdyż próba procedowania planu leczenia tak jak w brakach częściowych, wymaga wprowadzenia do systemu skanu modelu lub obrazowania z wewnątrzustnego skanera 3D.

NobelGuide przemianowany kilka lat temu na NobelClinician, co ma podkreślać jego bez-

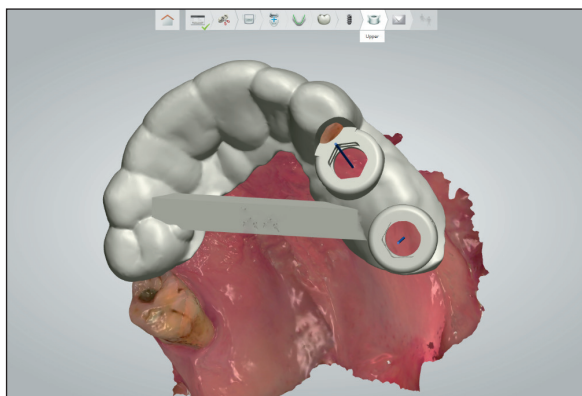


Fig. 6. *ImplantStudio – custom design of surgical stent.*
ImplantStudio – indywidualnie wykonany projekt szablonu chirurgicznego.

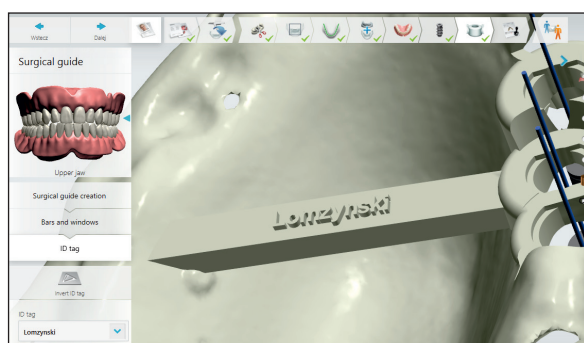


Fig. 7. *Surgical stent in ImplantStudio – a close-up of a reinforcing bar and a doctor's tag.*
Szablon chirurgiczny w ImplantStudio – detal z belką wzmacniającą i naniesionym podpisem lekarza.

to add reinforcing bars and individually placed tags (Fig. 7), as well as choosing specific surgical sleeve producers of different types, depending on the planned implant brand and type. The previous planning software systems transferred the shape of the surgical guide directly from the features of the radiographic one that was scanned at the double CT scanning stage. It was impossible to alter the surgical stent thickness or shape at the planning stage, which had required precise planning of the radiographic guide before the CT scanning to avoid possible complications like cracking or breaking of the surgical stent at the surgical stage. These complications might have been caused by insufficient thickness of the radiographic guide or problems with proper alignment of the surgical stent caused by improper radiographic guide geometry.

pośredni związek z kliniczną stroną planowania leczenia implantoprotetycznego, również umożliwia od roku 2015 wprowadzenie do modułu planowania (w przypadku braków częściowych) obrazu 3D, uzyskanego ze skanowania modelu w laboratoryjnym skanerze Procera (również produkcji firmy NobelBiocare), zamiast skanowania w trybie podwójnym wykorzystującego szablon radiologiczny. Nie ma niestety jeszcze możliwości wprowadzenia do systemu cyfrowych skanów wewnątrzustnych, co wciąż stanowi znaczącą przewagę planowania w systemie ImplantStudio. System duńskiego dewelopera 3shape jest ponadto szczególnie pod względem umożliwienia jego użytkownikom produkcji szablonów chirurgicznych w dowolnej medycznej drukarce 3D, spełniającej wymogi odpowiedniej rozdzielczości druku. Projekt szablonu chirurgicznego można eksportować do pliku w formacie STL, akceptowalnym przez większość dostępnych na rynku drukarek pracujących w technice 3D. Dodatkowo system ImplantStudio, pozwalając na planowanie leczenia z wykorzystaniem regularnie rozszerzanej biblioteki implantów różnych producentów, posiada również wsparcie producentów różnych rozmiarów tulei, stanowiących na etapie chirurgicznym prowadnice dla wiertel, oraz umożliwia wykorzystanie dedykowanej kasety chirurgicznej, która odpowiednio wykorzystana pozwala na preparację łoża dla wszczepów ponad 20 aktualnie wspieranych systemów implantologicznych.¹⁶

Proces planowania leczenia w systemie ImplantStudio przebiega podobnie do uprzednio dostępnych systemów (jak NobelClinician i Simplant). Rozpoczyna się od importu oraz konwersji badania CT do obrazu 3D, dokonując następnie przestrzennej korelacji tego obrazu z wizualizacją tkanek miękkich uzyskaną z wewnątrzustnego skanowania 3D lub skanu modelu gipsowego, czy też, jak wcześniej wspomniano, ze skanowania CT przygotowanego uprzednio szablonu radiologicznego z zagłębionymi odpowiednio markerami gutaperkowymi. Mają one za zadanie przestrzenną orientację szablonu względem dostępnej do implantacji tkanki kostnej pacjenta. Planowanie pozycji implantów odbywa się również podobnie do znanych wcześniej systemów

Another important difference is that ImplantStudio allows its users to prepare the surgical templates in external 3-D printing devices, which helps to cut the costs of their manufacturing; the high cost of previously available centrally printed templates narrowed the group of potential customers.¹⁷ On the other hand, there is one thing that should be considered important in such a case – the metallic guides for the drills are glued-in by hand in 3-D printed surgical templates, which may cause a displacement of the drill guide leading to the clinical stage failure.

The one thing that all currently available planning systems have in common is the high purchase cost of the software (with additional yearly license fees), and the need for advanced software training, which usually requires extensive IT knowledge.

Rapid development in implant planning systems and increasing range of indications is a proof of constant change in modern dentistry. New possibilities that allow merging the 3-D intraoral scanner imaging with the 3-D CBCT images opens new possibilities of using those software systems and significantly modify the workflow. The possibility to print the surgical templates in any chosen 3-D printer basing on the open STL file format reduces the costs of such a technically advanced procedure, which in turn makes it much more accessible. In the nearest future, it will be possible to include the prosthodontic restoration design into one 3-D environment for complex treatment planning, seamlessly delivering all necessary types of templates and restorations with just one planning software.

New digital clinical workflows will most probably be associated with increased risk of potential complications caused by the possible digital-to-clinical transfer mistakes. Complex CAD/CAM relationships of all digitally designed restorations, and their precise transfer to the patient, will surely be in the very center of various future research programs. It is already clear that digital dentistry is the inevitable future of our profession.

planowania (Fig. 5), z uwzględnieniem opisywanych wcześniej różnic w liczbie dostępnych w bibliotece typów implantów. Znaczące różnice w stosunku do poprzednich systemów pojawiają się na etapie projektowania zakresu, kształtu i grubości przygotowywanego do druku 3D szablonu chirurgicznego (Fig. 6). Oprogramowanie ImplantStudio pozwala na pełen zakres modyfikacji wszelkich aspektów dotyczących właściwości szablonu chirurgicznego, poczynając od jego zasięgu i grubości, po tworzenie dowolnie umiejscowionych belek wzmacniających, pozycjonowanie metek z nazwiskami pacjentów (Fig. 7), aż po wybór typów tulei dla innych producentów implantów. Uprzednio stosowane systemy planowania przenosiły bezpośrednio opisane powyżej cechy szablonu chirurgicznego z zeskanowanego w trakcie podwójnego skanowania CT szablonu radiologicznego. Nie były zatem już możliwe jakiegokolwiek indywidualizacje szablonów chirurgicznych na etapie planowania. Wymuszało to wczesne uwzględnianie tych wymogów już na etapie planowania kształtu i grubości szablonu radiologicznego, jeszcze przed jego skanowaniem tomograficznym, w celu uniknięcia zdarzających się powikłań na etapie chirurgicznym, związanych z uszkodzeniem podczas zabiegu zbyt cienkiego szablonu chirurgicznego lub problemów z jego właściwym pozycjonowaniem, mogących w rezultacie prowadzić do wadliwego przeniesienia planu leczenia do warunków klinicznych. Nie bez znaczenia jest także wspomniany wcześniej fakt, że wykorzystanie oprogramowania ImplantStudio pozwoliło na niezależnienie się od centralnego procesu produkcji szablonów poprzez producenta oprogramowania, co było dotychczas związane ze znacznymi kosztami.¹⁷ Możliwość produkcji szablonów chirurgicznych we własnym zakresie pozwala znacznie zmniejszyć powyższe koszty, które w wielu przypadkach stanowiły dotąd istotną barierę dla zainteresowanych nową metodyką implantacji lekarzy i pacjentów. Interesującą będzie z pewnością w tym zakresie kwestia dokładności przeniesienia planu leczenia do warunków klinicznych poprzez produkcję szablonów chirurgicznych w dowolnej drukarce 3D, co wiąże się z koniecznością ręcznego wklejania w nie metalowych

przewodnic dla wiertel. Może to być powodem ich przemieszczenia względem pierwotnie zaplanowanej pozycji, co w kontekście precyzji może mieć kluczowe znaczenie dla przeprowadzenia udanego zabiegu. To co nie odróżnia jednak nowych systemów od tych obecnych od ponad 10 lat na rynku, to wysoka kwota zakupu oprogramowania oraz konieczność opanowania procesu komputerowego planowania leczenia przez użytkownika systemu, co zwykle jest dość czasochłonne i wymaga znacznej biegłości w obsłudze komputera.

Rozwój systemów planowania leczenia implantologicznego oraz rozszerzanie zakresu wskazań do ich stosowania, świadczy o dynamice zmian w nowoczesnej stomatologii. Pojawienie się nowego systemu umożliwiającego łączenie obrazowania uzyskanego z trójwymiarowych skanerów wewnątrzustnych z trójwymiarowymi modelami tkanek twardych tworzonymi w wyniku konwersji obrazów uzyskanych za pomocą tomografii komputerowej otwiera nowe możliwości projektowania takiego leczenia, znacząco modyfikując tok pracy z opisywanymi w niniejszym artykule systemami. Z kolei możliwość produkcji szablonów chirurgicznych w dowolnej drukarce 3D zgodnie ze standardem zapisu plików 3D w formacie STL pozwala na znaczną redukcję kosztów stałych związanych z produkcją szablonów chirurgicznych, umożliwiając dalszą popularyzację

opisywanej metodyki leczenia implantologicznego. Pamiętać należy, że z pewnością może to jednocześnie być powodem powstania nowych trudności, spowodowanych brakiem pełnej kontroli jakości procesu ich produkcji. Przyszłością tej metodyki jest integracja planowania leczenia implantologicznego w większy ekosystem zawierający również moduły oprogramowania umożliwiające precyzyjne projektowanie uzupełnienia protetycznego. Umożliwi to uzyskanie pełnego cyfrowego planu leczenia implanto-protetycznego oraz tymczasowych lub długoczasowych uzupełnień protetycznych, wykonywanych w technice CAD/CAM jeszcze przed przystąpieniem do etapów klinicznych. Z pewnością tego typu zaawansowane techniki postępowania w implantologii związane będą z możliwymi nowymi powikłaniami i komplikacjami, wynikającymi z błędów przeniesienia planu leczenia do warunków klinicznych. Konsekwencje wzajemnego przemieszczenia przestrzennego poszczególnych elementów układu: "tkanki pacjenta – szablon chirurgiczny – uzyskane pozycje implantów – dopasowanie pracy protetycznej", będą z pewnością obiektem zainteresowania badaczy w kolejnych latach, lecz z pewnością stosowanie technik cyfrowych w stomatologii stanowi nieodwracalny kierunek rozwoju tej dziedziny medycyny.

References

1. *Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D*: Digital dentistry: An overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J* 2008; 204: 505-511.
2. *Tahmaseb A, Wismeijer D, Coucke W, Derksen W*: Computer technology applications in surgical implant dentistry: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014; 29(Suppl): 25-42.
3. *Eggers G, Patellis E, Munhling J*: Accuracy of template-based dental implant placement. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009; 24: 447-454.
4. *Guerrero ME, Jacobs R, Loubele M, Schutyser F, Suetens P, van Steenberghe D*: State-of-the-art on cone beam CT imaging for preoperative planning of implant placement. *Clin Oral Invest* 2006; 10: 1-7.
5. *Van Assche N, Van Steenberghe D, Quirynen M, Jacobs R*: Accuracy assessment of computer assisted flawless implant placement in partial edentulism. *J Clin periodontol* 2010; 37: 398-403.
6. *Pozzi A, Tallarico M, Marchetti M, Scarfo B, Esposito M*: Computer-guided versus free-hand placement of immediately loaded dental implants: 1-year post-loading results of a multicentre randomised controlled trial. *Eur J Oral Implantol* 2014; 7: 229-242.

7. Sicilia A, Botticelli D: Working Group 3: Computer-guided implant therapy and soft- and hard-tissue aspects. The Third EAO Consensus Conference 2012. Clin Oral Implants Res 2012; 23 (Suppl 6): 157-161.
8. Jung RE, Schneider D, Ganeles J, Wismeijer D, Zwahlen M, Hammerle CH, et al.: Computer technology applications in surgical implant dentistry: a systematic review. Int J Oral Maxillofac Implants 2009; 24(Suppl): 92-109.
9. Pettersson A, Komiyama A, Hultin M, Nasstrom K, Klinge B: Accuracy of virtually planned and template guided implant surgery on edentate patients. Clin Implant Dent Relat Res 2012; 14: 527-537.
10. Łomżyński Ł: Ocena przydatności przestrzennego planowania leczenia implantoprotetycznego w oparciu o analizę badania tomograficznego. Praca doktorska. Warszawa: WUM; 2010.
11. Logozzo S, Franceschini G, Kilpela A, Caponi M, Governi L, Blois L: A comparative analysis of intraoral 3d digital scanners for restorative dentists. Internet J Med Technol 2008; 5: 1.
12. van der Meer WJ, Andriessen FS, Wismeijer D, Ren Y: Application of intra-oral dental scanners in the digital workflow of implantology. PLoS ONE 2012; 7: 1-8.
13. Del Corso M, Aba G, Vazquez L, Darquard J, Dohan Ehrenfest DM: Optical three-dimensional scanning acquisition of the position of osseointegrated implants: an in vitro study to determine method accuracy and operational feasibility. Clin Implant Dent Relat Res 2009; 11: 214-221.
14. Lee SJ, Gallucci GO: Digital vs. conventional implant impressions: efficiency outcomes. Clin Oral Implants Res 2013; 24: 111-115.
15. Wismeijer D, Mans R, van Genuchten M, Reijers HA: Patients' preferences when comparing analogue implant impressions using a polyether impression material versus digital impressions (Intraoral Scan) of dental implants. Clin Oral Implants Res 2014; 25: 1113-1118.
16. De Vico G, Ottria L, Bollero P, Bonino M, Cialone M, Barlattani A Jr, et al.: Aesthetic and functionality in fixed prosthodontic: experimental and clinical analysis of the CAD-CAM systematic 3Shape. Oral Implants 2008; 1: 104-115.
17. Lanis A, Álvarez Del Canto O: The combination of digital surface scanners and cone beam computed tomography technology for guided implant surgery using 3Shape implant studio software: a case history report. Int J Prosthodont 2015; 28: 169-178.

Address: 02-006 Warszawa, ul. Nowogrodzka 59

Tel.: +4822 5021886

e-mail: katedraprotetyki@wum.edu.pl

Received: 29th November 2016

Accepted: 24th April 2017