

# PLANIFICAREA CHIRURGICALĂ VIRTUALĂ ÎN TRATAMENTUL ANOMALIILOR DENTO-MAXILARE. REVIU LITERAR

**Stanislav Strișca**<sup>1,3</sup>,  
*student-doctorand, medic rezident chirurgie OMF,  
anul V*

**Dumitru Sirbu**<sup>1,3</sup>,  
*doctor în științe medicale, conferențiar universitar*

**Valentin Topalo**<sup>1</sup>,  
*doctor habilitat în științe medicale, profesor  
universitar*

**Valentina Trifan**<sup>2</sup>,  
*doctor în științe medicale, conferențiar universitar*

*1 Catedra de chirurgie oro-maxilo-facială și  
implantologie orală „Arsenie Guțan”, IP USMF  
„Nicolae Testemițanu”*

*2 Catedra de chirurgie oro-maxilo-facială  
pediatrică, pedodontie și ortodonție,  
IP USMF „Nicolae Testemițanu”*

*3 Clinica stomatologică SRL „Omni Dent”*

# VIRTUAL SURGICAL PLANNING IN THE TREATMENT OF DENTO- MAXILLARY ANOMALIES. LITERARY REVIEW

**Stanislav Strișca**<sup>1,3</sup>,  
*PhD student*

**Dumitru Sirbu**<sup>1,3</sup>,  
*doctor of medical sciences, associate professor*

**Valentin Topalo**<sup>1</sup>,  
*doctor of medical sciences, university professor*

**Valentina Trifan**<sup>2</sup>,  
*doctor of medicine, associate professor*

*1 Department of Oral and Maxillofacial Surgery  
and Oral Implantology „Arsenie Guțan”*

*Nicolae Testemițanu PI SUMPh  
2 Catedra de chirurgie oro-maxilo-facială  
pediatrică, pedodontie și ortodonție,  
IP USMF „Nicolae Testemițanu”*

*3 Dental clinic “Omni Dent” LLC*

## Rezumat

În ultimul deceniu, revoluția tehnologică a radioimagingului digital a facilitat diagnosticarea oferind posibilitatea de a planifica intervenția chirurgicală cu transpunere reală prin intermediul chirurgiei static virtuale asistate sau a navigației chirurgicale asistate de computer. Scopul acestei lucrări constă în evaluarea utilizării planificării virtuale în chirurgia ortognatică prin prisma analizei teoretice a literaturii contemporane și implementarea acesteia în practica cotidiană. A fost efectuată sinteza bibliografică a 225 articole, din baza de date PubMed, ce abordează subiectul planificării chirurgicale virtuale în chirurgia ortognatică, publicate între 1 ianuarie 2014 și 1 aprilie 2019. În urma unei analize detaliate a titlurilor și abstractelor au fost selectate 69 publicații ce corespund cu subiectul abordat. Datele obținute, ulterior, au fost sistematizate în dependență de domeniu de aplicare. Analiza literaturii de specialitate a demonstrat că această temă este actuală și cu un intens studiată. Planificarea virtuală a devenit un instrument indispensabil în practica de astăzi, datorită avantajelor pe care le prezintă, tehnologia planificării virtuale contribuie la optimizarea nu doar a diagnosticului, dar și a tratamentului chirurgical propriu-zis.

**Cuvinte cheie:** anomalii dento-maxilare, chirurgie omf, computer tomograf cu fascicul conic, planificare chirurgicală virtuală.

## Summary

In the last decade, the 3D image has facilitated the diagnosis by offering the possibility to virtually plan the surgery. The purpose of this paper is to assess the use of virtual planning in orthognathic surgery through the theoretical analysis of contemporary literature and its implementation in daily practice. A bibliographic synthesis of 225 articles of the PubMed database, dealing with the subject of virtual surgical planning, published between 1 January 2011 and 1 April 2019, was performed. The data obtained subsequently were systematized depending on the scope. The analysis of the specialized literature has shown that this topic is current and intensely studied. Virtual planning has become an indispensable tool in today's practice. Due to its advantages, virtual planning technology contributes to optimizing not only the diagnosis, but also the surgical treatment itself.

**Key words:** dento-maxillary anomalies, oro-maxillo-facial surgery, cone beam computer tomography, virtual surgical planning

## Introduction

Dento-maxillary abnormalities are characterized by growth and development disorders, congenital or acquired, of the teeth or maxillary bones, which cause major imbalances in the dento-alveolar and occlusal arches [6]. Orthognathic surgery corrects these anomalies by performing surgery on the upper and



**Fig.1.** Programe informaționale (software-uri) de planificare virtuală.

**A)** ProPlan CMF, Materialise, Leuven, Belgia. **B)** Dolphin Imaging and Management Solutions, Patterson Dental, Chatsworth, SUA.

**Fig.1.** Virtual planning softwares.

**A)** ProPlan CMF, Materialise, Leuven, Belgium. **B)** Dolphin Imaging and Management Solutions, Patterson Dental, Chatsworth, USA.

## Introducere

Anomaliile dento-maxilare sunt caracterizate de tulburări de creștere și dezvoltare, cu caracter primar sau dobândit, ale sistemului dentar sau bazelor osoase maxilare, ceea ce determină dezechilibre majore la nivelul arcadelor dento-alveolare și ocluzale [6]. Chirurgia ortognatică vine să corecteze aceste anomalii prin efectuarea intervențiilor chirurgicale la nivelul maxilarului superior, inferior sau bimaxilar. În mod tradițional, în planificarea tratamentului acestor anomalii, specialiștii în domeniu utilizează fotografiile pacienților, imaginile radiologice bidimensionale (2D) și modelele de studiu din ghips montate în articulator transferate prin intermediul arcului facial. Însă metodele imagistice bidimensionale precum ortopantomografia și teleradiografia prezintă o serie de neajunsuri în special datorită tehnicii de achiziționare și suprapunerii structurilor anatomice pe același film radiografic, această eroare se intensifică la pacienții cu asimetrii vădite. În ultimul deceniu, imaginile 3D obținute în baza CBCT-ului sau a CT-ului multispiralat au facilitat diagnosticarea și au permis efectuarea planificării virtuale a intervenției chirurgicale cu transpunere reală prin intermediul chirurgiei static virtual asistate sau a navigației chirurgicale asistate de computer (Computer Assisted Surgery — CAS — sau Image Guided Surgery — IGS). Succesul intervențiilor chirurgicale ortognatice depinde în mare măsură de tehnica chirurgicală și de transpunerea exactă a planului chirurgical preoperator [2]. În acest scop au fost concepute diverse programe informaționale (software-uri) printre cele mai cunoscute fiind ProPlan CMF (Figura 1.A, Materialise, Leuven, Belgia), Dolphin 3D (Figura 1.B, Dolphin Imaging and Management Solutions, Patterson Dental, Chatsworth, SUA), care au fost adaptate necesităților chirurgiei ortognatice. **Scop:** Evaluarea utilizării planificării virtuale în chirurgia ortognatică prin prisma analizei teoretice a literaturii contemporane și implementarea acesteia în practica cotidiană.

## Materiale și metode

Studiul se axează pe sinteza literară a 69 articole, selectate din baza de date PubMed, ce abordează subiectul planificării chirurgicale virtuale în chirurgia ortognatică, publicate între 1 ianuarie 2014 și 1 aprilie 2019. Utilizând expresia „virtual planning in

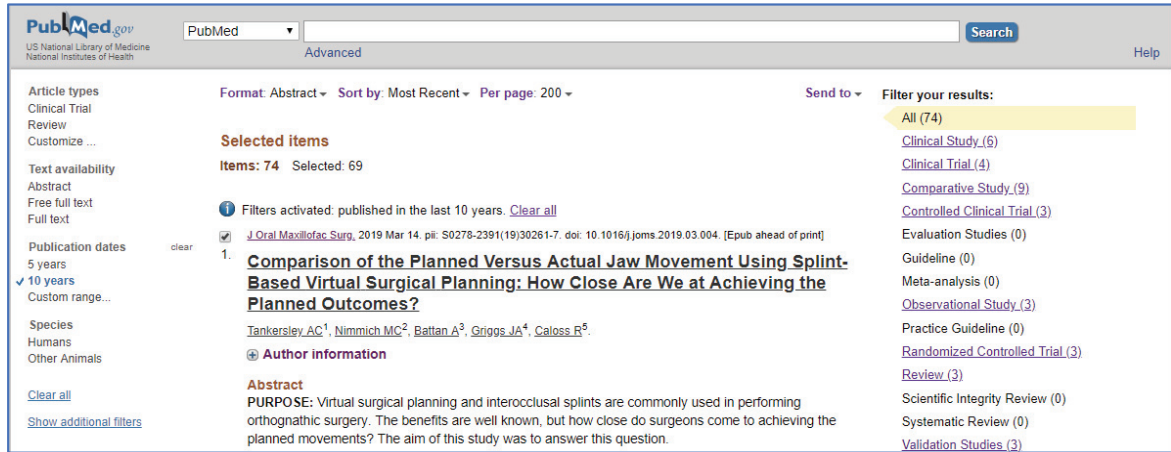
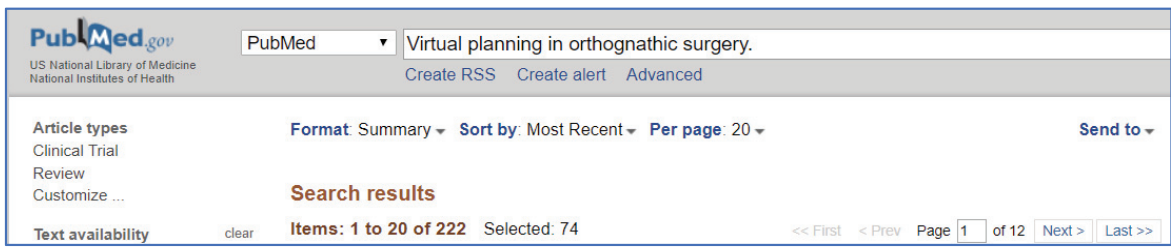
lower jaws. Traditionally, in the treatment planning of these anomalies, the specialists in the field use photographs of the patients, the bi-dimensional (2D) radiological images and plaster models mounted in the articulator transferred through the facial arch. But two-dimensional imaging methods such as orthopantomography and teleradiography show a number of shortcomings, especially due to the acquisition technique and the superimposition of anatomical structures on the same radiographic film, this error is intensified in patients with pronounced asymmetries. In the last decade, 3D imaging obtained have facilitated the diagnosis and allowed the virtual surgical planning to be transferred to the surgery room through the virtual static assisted surgery or the computer assisted surgical navigation (Computer Assisted Surgery) — CAS — or Image Guided Surgery — IGS). The success of orthognathic surgery depends largely on the surgical technique and on the exact transposition of the preoperative surgical plan. [2]. For this purpose, various softwares have been developed, among the most popular ones being ProPlan CMF (Figure 1.A Materialise, Leuven, Belgium), Dolphin 3D (Figure 1.B Dolphin Imaging and Management Solutions, Patterson Dental, Chatsworth, USA), which have been adapted to the needs of orthognathic surgery.

**Aim:** Evaluation of the use of virtual planning in orthognathic surgery through the theoretical analysis of contemporary literature and its implementation in daily practice.

## Materials and methods

The study focuses on the literary synthesis of 69 articles, selected from the PubMed database, which addresses the topic of virtual surgical planning in orthognathic surgery, published between January 1, 2014 and April 1, 2019. Using the expression “virtual planning in orthognathic surgery” the search engine revealed a total of 225 articles (Figure 2). Following a detailed analysis of the titles and abstracts, 69 publications were selected that correspond to the subject addressed. The data then have been classified depending on the field of application.

Inclusion criteria: literature reviews, randomized clinical trials, controlled clinical trials, obser-



**Fig.2.** Baza de date PubMed. **A)** Introducerea cuvintelor cheie în motorul de căutare a relevat prezența a 222 articole. **B)** Aplicarea filtrelor de căutare a redus numărul publicațiilor la 74, în final au fost selectate 69 articole.

**Fig.2.** PubMed database. **A)** Entering the keywords in the searchtab engine revealed the presence of 222 articles. **B)** The application of the search filters reduced the number of publications to 74, finally 69 articles were selected.

orthognathic surgery” motorul de căutare a relevat un total de 222 de articole (Figura 2). În urma unei analize detaliate a titlurilor și abstractelor au fost selectate 69 publicații ce corespund cu subiectul abordat. Datele obținute, ulterior, au fost sistematizate în dependență de domeniu de aplicare.

Criterii de includere: revii literare, trialuri clinice randomizate, studii clinice controlate, studii observaționale. Criterii de excludere: dublarea rezultatelor căutării, studii în afara criteriilor de includere.

### Rezultate și discuții

În total au fost selectate și analizate 69 articole, full text, în care au fost descrise domeniile de aplicare și implementare a tehnologiei planificării chirurgicale virtuale în chirurgia ortognatică. Din totalitatea publicațiilor analizate, de notat este reviuul sistematic intitulat „Virtual planning in orthognathic surgery” demarat de către K. Stokbro și colab., în 2014, în care autorii au selectat 7 publicații ce corespundeau cu criteriile stabilite din totalitatea de 428 articole (Tabelul 1). Cercetarea a inclus cumulativ 149 de pacienți cu vârsta cuprinsă între 10 și 51 ani (vârsta medie 25.2 ani). Din 149 de intervenții chirurgicale efectuate, 131 au fost bimaxilare, în 10 cazuri a fost efectuată intervenția chirurgicală de LeFort 1, osteotomia bilaterală sagitală a fost efectuată la 7 pacienți iar un pacient a suportat o intervenție chirurgicală pentru tratamentul apneei de somn [5]. Transferul planului virtual în sala de operație a fost efectuată prin intermediul splinturilor ocluzale în 6 studii iar

vational studies. Exclusion criteria: doubling the search results, studies outside the inclusion criteria.

### Results and discussions

In total, 69 full-text articles were selected and analyzed, in which the fields of application and implementation of virtual surgical planning technology in orthognathic surgery were described. Of all the publications analyzed, it is worth noting the systematic review entitled “Virtual planning in orthognathic surgery” started by K. Stokbro et al., 2014, in which the authors selected 7 publications that corresponded to the criteria established in the totality of 428 articles (Table 1). The research included cumulatively 149 patients between the ages of 10 and 51 years (mean age 25.2 years). Out of 149 surgeries performed, 131 were bimaxillary, in 10 cases LeFort 1 surgery was performed, bilateral sagittal osteotomy was performed in 7 patients and one patient underwent surgery for the treatment of sleep apnea [5]. The transfer of the virtual plan to the operating room was performed through occlusal splints in 6 studies and the navigation technology was used and described in a single publication.

### Collecting data for virtual planning (Figure 3,4,5)

The collection of information for virtual surgical planning begins with the acquisition of three-dimensional images using a conical or multispiral beam tomography computer (Figure 3). Both the conical and

**Tab.2.** Publicațiile privind tehnologia de planificare chirurgicală virtuală incluse în reviu (Stokbro K, et al.).

Autorii, anul	Software	Nr. paci-ent.	CAD/CAM	Apnee de somn	BSSO	LF1	Bimaxi-lar	Criteriul de succes
Marchetti, 2006	VISU	25	CAD/CAM		5	4	16	80% <2mm
Xia, 2007	CASS	5	CAD/CAM				5	100% <2mm
Mazzoni, 2010	SurgiCase CMF	10	Navigare	1	1		8	86.5% <2mm
Tucker, 2010	CMF application	20	CAD/CAM			6	14	
Aboul-Hosn Centenero, 2012	SimPlant	16	CAD/CAM		1		15	
Zinser, 2012	SimPlant	8	CAD/CAM				8	
Hsu, 2013	SimPlant	65	CAD/CAM				65	100% <2mm
TOTAL	27	149		1	7	10		

Abrevieri: CAD/CAM, computer-aided design/computer-aided manufacture; BSSO, osteotomie bilaterală sagitală; LF1, Le Fort I; Stokbro K, et al. *Virtual planning in orthognathic surgery*, *Int J Oral Maxillofac Surg* (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijom.2014.03.011>.

**Tab.2.** Publicațiile privind tehnologia de planificare chirurgicală virtuală incluse în reviu (Stokbro K, et al.).

Authors, year	Software	Nr. paci-ent.	CAD/CAM	Sleep Apnea	BSSO	LF1	Bimaxi-lar	Succes criteria
Marchetti, 2006	VISU	25	CAD/CAM		5	4	16	80% <2mm
Xia, 2007	CASS	5	CAD/CAM				5	100% <2mm
Mazzoni, 2010	SurgiCase CMF	10	Navigare	1	1		8	86.5% <2mm
Tucker, 2010	CMF application	20	CAD/CAM			6	14	
Aboul-Hosn Centenero, 2012	SimPlant	16	CAD/CAM		1		15	
Zinser, 2012	SimPlant	8	CAD/CAM				8	
Hsu, 2013	SimPlant	65	CAD/CAM				65	100% <2mm
TOTAL	27	149		1	7	10		

Abr.: CAD/CAM, computer-aided design/computer-aided manufacture; BSSO bilateral sagittal split osteotomies; LF1, Le Fort I; Stokbro K, et al. *Virtual planning in orthognathic surgery*, *Int J Oral Maxillofac Surg* (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijom.2014.03.011>.

tehnologia navigației a fost utilizată și descrisă într-o singură publicație.

#### Colectarea datelor pentru planificarea virtuală (Figura 3,4,5)

Colectarea informației pentru planificarea chirurgicală virtuală începe odată cu achiziția imaginilor tridimensionale utilizând computer tomograful cu fascicol conic (Figura 3) sau multispiralat. Atât computer tomograful cu fascicol conic cât și cel multispiralat oferă o vizualizare net superioară a anatomiei regiunii oro-maxilo-faciale față de imaginile bidimensionale, fapt ce facilitează stabilirea diagnosticului, elaborarea planului de tratament și evaluarea rezultatului tratamentului gnatochirurgical. În 1999 a fost introdus primul CBCT, adaptat necesităților regiunii oro-maxilo-faciale, NewTom QR-DVT 9000, dezvoltat de Tacconi și Mozzo, ca urmare radiologia orală și maxilo-facială a înregistrat un progres tehnologic semnificativ. CBCT-ul permite obținerea imaginilor tridimensionale, cu o detalizare înaltă a structurilor anatomice la o scară de 1:1. În prezent, domeniul de aplicare a CBCT-ului s-a extins și cu-

multi-slice tomography offers a superior visualization of the anatomy of the oro-maxillofacial region compared to the two-dimensional images, which facilitates the diagnosis, the elaboration of the treatment plan and the evaluation of the result of the gnato-surgical treatment. In 1999, the first CBCT adapted to the needs of the oro-maxillofacial region was introduced, NewTom QR-DVT 9000, developed by Tacconi and Mozzo, and consequently oral and maxillofacial radiology registered significant technological progress. The CBCT allows to obtain the three-dimensional images, with a high detail of the anatomical structures on a scale of 1: 1. Currently, the scope of CBCT has expanded and includes a number of pathologies such as: dento-maxillary anomalies; airway obstruction (sleep apnea); pathologies of the temporo-mandibular joint (ATM) and paranasal sinuses etc.

During exposure, the patient's head must be in a natural head position (Figure 3.C), so that the Frankfurt plane is parallel to the horizontal plane. Another requirement is that the head fasteners do not deform the soft tissues of the face region (Figure 3.B), and the mandible is fixed in the centric rela-



**Fig.3.** Colectarea datelor pentru planificarea virtuală, expunerea prin CBCT a regiunii oro-maxilo-faciale.

**A)** Selectarea regiunii de interes. **B)** Suportul de fixare este poziționat în regiunea occipitală. **C)** Capul pacientului este poziționat în poziție naturală astfel încât planul Frankfurt corespunde cu planul orizontal. Imagini preluate [www.planmeca.com](http://www.planmeca.com).

**Figure 3.** Data collection for virtual planning, CBCT exposure of the oro-maxillofacial region.

**A)** Selecting the region of interest. **B)** The fixation support is positioned in the occipital region. **C)** The patient's head is positioned in a natural position so that the Frankfurt plane corresponds to the horizontal plane. Images taken from [www.planmeca.com](http://www.planmeca.com).



**Fig.4.** Colectarea datelor pentru planificarea virtuală, digitalizarea arcașelor dentare. **A)** Scanner de laborator. **B)** Scanner intraoral. **C)** Arcade dentare scanate utilizând scanner intraoral Trios 3 (3Shape). Imaginile A,B preluate [www.3shape.com](http://www.3shape.com), C, cazuistica Omni Dent.

**Figure 4.** Data collection for virtual planning, digitalization of dental arches. **A)** Laboratory scanner. **B)** Intraoral scanner. **C)** Dental arches scanned using Trios 3 (3Shape) intraoral scanner. Images A, B taken from [www.3shape.com](http://www.3shape.com), C, Omni Dent case.

prinde un șir de patologii precum: anomaliile dento-maxilare; obstrucția căilor aeriene (apneea de somn); patologii ale articulației temporo-mandibulare (ATM) și ale sinusurilor paranasale etc.

În timpul expunerii, capul pacientului trebuie să se afle în poziție naturală (Figura 3.C, Natural Head Position), astfel încât planul Frankfurt să fie paralel cu planul orizontal. O altă cerință este ca suporturile de fixare a capului să nu deformeze țesuturile moi din regiunea feței (Figura 3.B), iar mandibula să fie fixată în relație centrică. Imaginile obținute ulterior sunt stocate în format DICOM (Digital Imaging Communication in Medicine). Deși examinările CT oferă o rezoluție spațială maximă de 0,5mm și de 0,075 pentru CBCT, acestea sunt insuficiente pentru a reda morfologia coroanelor dentare și a ocluziei, motiv pentru care arcadele dentare suplimentar sunt digitalizate utilizând scanerile intraorale sau de laborator. Aceasta ne permite să obținem o rezoluție spațială de până la 20μ, care este capabilă să redea o detaliere înaltă a anatomiei, morfologiei și dimensiunilor dinților pacienților.

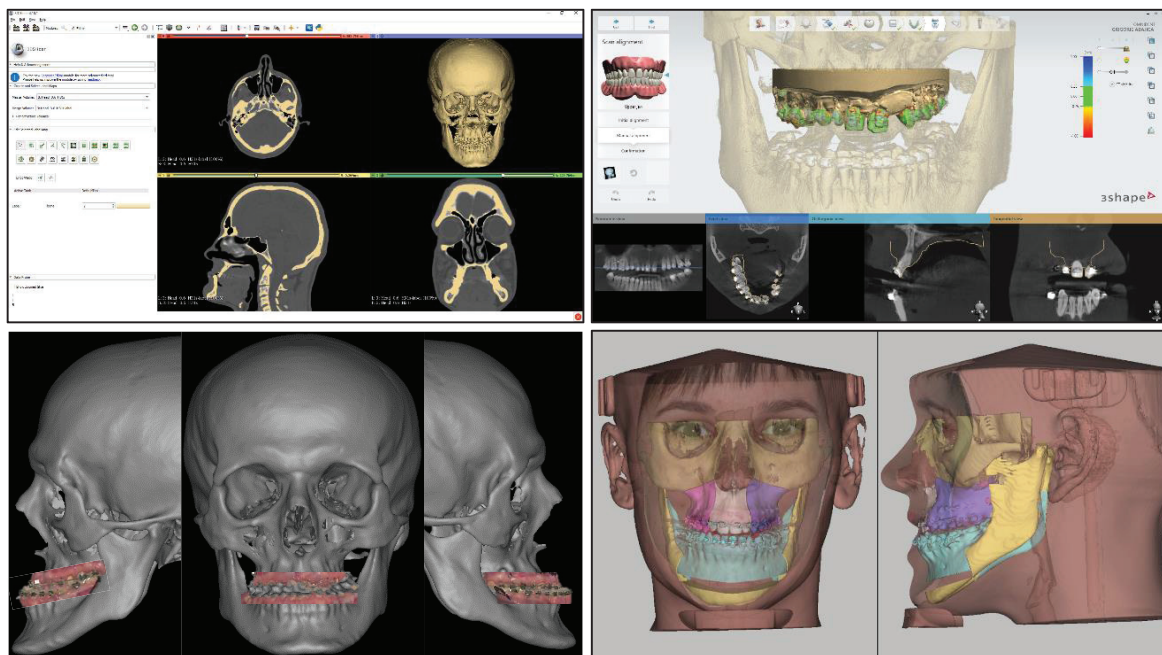
Următoarea etapă este reprezentată de convertirea datelor DICOM în imagine 3D, utilizând procedeul de segmentare, care este de fapt un algoritm matematic, reconstrucția tridimensională este obținută în baza diapazonului de densitate apreciată în unități Hounsfield pentru CT-ul multispiral și

on. The images obtained subsequently are stored in DICOM (Digital Imaging Communication in Medicine) format. Although CT scans offer a maximum spatial resolution of 0.5mm and 0.075 for CBCT, they are insufficient to render the morphology of dental crowns and occlusion, which is why additional dental arches are digitized using intraoral or laboratory scanners. This allows us to achieve a spatial resolution of up to 20μ, which is capable of rendering a high detail of the anatomy, morphology and dimensions of patients' teeth.

The next step is the conversion of DICOM data into 3D image, using the segmentation process, which is actually a mathematical algorithm, three-dimensional reconstruction is obtained based on the density tuning estimated in Hounsfield units for multi-slice CT and Grayscale for CBCT (Figure 5.A). The tomographic computer data overlap with the virtual models of the scanned dental arches (Figure 5.B) is performed using the semi-automatic recording procedure. Thus we obtain the three-dimensional images of the soft tissues, the skeletal bone and the teeth (Figure 5.D).

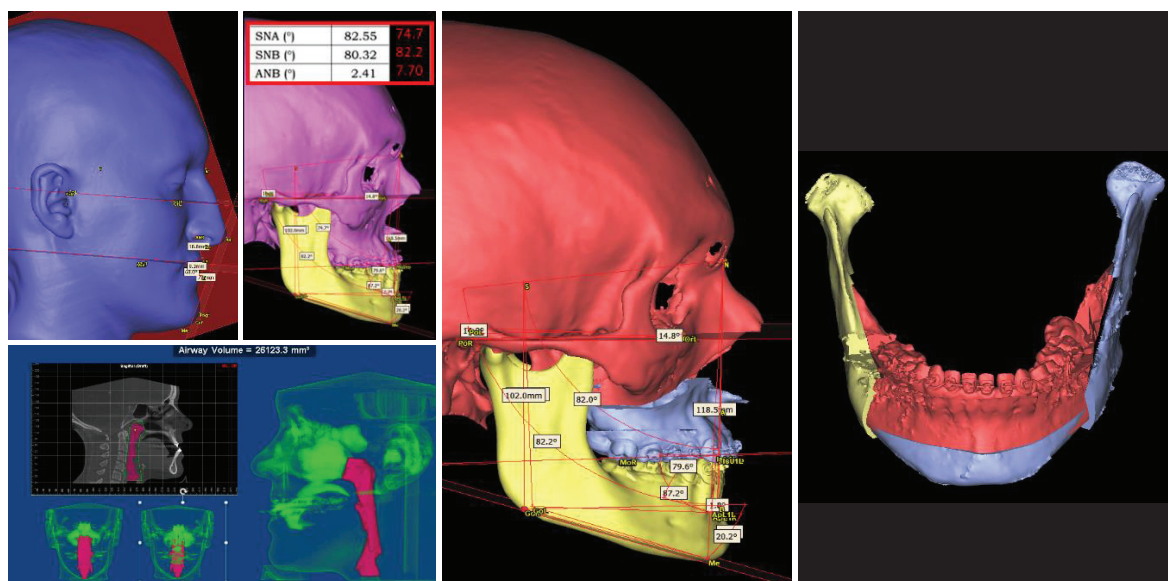
#### **Three-dimensional virtual diagnosis, planning and treatment (Figure 6)**

Virtual surgical planning allows the simulation of different surgical techniques. The processing of three-dimensional images by means of the planning



**Figure 5.** Collecting data for virtual planning, converting data into 3D images. **A)** Segmentation of anatomical formations based on density tuning (3D Slicer). **B)** The overlap of CBCT data with the dental arches scanned using the „3 point registration” method. **C)** Composite model obtained from the superposition process. **D)** The virtual model composed of the facial skeleton, the dental arches and the soft tissues.

**Fig.5.** Colectarea datelor pentru planificarea virtuală, convertirea datelor în imagini 3D. **A)** Segmentarea formațiunilor anatomice în baza diapazonului de densitate (Slicer 3D). **B)** Suprapunerea datelor CBCT cu arcadele dentare scanate utilizând metoda „3 point registration”. **C)** Model compozit obținut în urma procedurii de suprapunere. **D)** Modelul virtual compus din scheletul facial, arcadele dentare și țesuturile moi.



**Fig.6.** Diagnosticul, planificarea și tratamentul virtual tridimensional. **A)** Evaluarea țesuturilor moi. **B)** Cefalometria tridimensională. **C)** Evaluarea căilor aeriene superioare. **D)** Simularea avansării maxilarului superior. **E)** Simularea intervenției de osteotomie bilaterală sagitală și genioplastie.

**Figure 6.** Diagnosis, planning and virtual three-dimensional treatment. **A)** Evaluation of soft tissues. **B)** Three-dimensional cephalometry.

**C)** Evaluation of upper airways. **D)** Simulation of the advancement of the upper jaw. **E)** Simulation of the intervention of bilateral sagittal osteotomy and genioplasty.

Grayscale pentru CBCT (Figura 5.A). Suprapunerea datelor computer tomografului cu modelele virtuale ale arcadele dentare scanate (Figura 5.B) se efectuează utilizând procedeul semi-automat deregistrare. Astfel obținem imaginile tridimensionale ale țesuturilor moi, scheletului osos și ale dinților (Figura 5.D).

software allows us to simulate the osteotomies virtually, to reposition the bone fragments in the desired position, to perform the control of intercuspitation, to control the interference between the osteotomized fragments and to visualize the post-operative results in real time.

### Diagnosticul, planificarea și tratamentul virtual tridimensional (Figura 6)

Planificarea chirurgicală virtuală permite simularea diferitor tehnici de intervenții chirurgicale. Prelucrarea imaginilor tridimensionale prin intermediul software-urilor de planificare ne permite să simulăm virtual osteotomiile, să repositionăm fragmentele osoase în poziția dorită, să efectuăm controlul intercuspității, să controlăm interferențele între fragmentele osteotomizate și să vizualizăm rezultatele postoperatorii în timp real.

### Transferul planului chirurgical virtual în sala de operație

Planul virtual 3D poate fi cu ușurință transferat în sala de operație prin intermediul modelelor anatomice printate 3D, a ghidurilor de osteotomie/repoziție și a splinturilor ocluzale confecționate din rășini autoclavabile. De asemenea, modelele virtuale pot fi exportate în format digital STL, precum și accesate de chirurghi în timpul intervenției propriu-zise.

#### Modelele anatomice (Figura 7)

Pe lângă utilizarea modelelor anatomice în planificarea intervențiilor chirurgicale acestea pot fi utilizate și în procesul didactic. Interacțiunea fizică cu aceste modele facilitează o mai bună înțelegere a anatomiei regiunii de interes. Simularea preoperatorie pe

### Transfer of the virtual surgical plan to the operating room

The 3D virtual plane can be easily transferred to the operating room through 3D printed anatomical models, osteotomy / reposition guides and occlusal splinters made of autoclavable resins. Also, virtual models can be exported in digital STL format, as well as accessed by surgeons during the intervention itself.

#### Anatomical models (Figure 7)

In addition to the use of anatomical models in the planning of surgical interventions, they can also be used in the teaching process. Physical interaction with these models facilitates a better understanding of the anatomy of the region of interest. Preoperative simulation on custom 3D printed models reduces intraoperative risks [4]. In orthognathic surgery, 3D printed models, obtained from the DICOM data of the CBCT, are used to analyze the dento-alveolar and maxillofacial disharmony. Also, the individualized anatomical models have considerably improved the evaluation of the dento-maxillary anomalies, they have facilitated the elaboration of the treatment plan but also the planning of the interventions themselves.

#### Osteotomy and repositioning guides (Figure 8)

The osteotomy guides allow the intraoperative placement of the osteotomy line in accordance with



Fig.7. Modele anatomice individualizate printate 3D utilizând tehnologia SLA și DLP.

Figure 7. Individual 3D printed anatomical models using SLA and DLP technology.

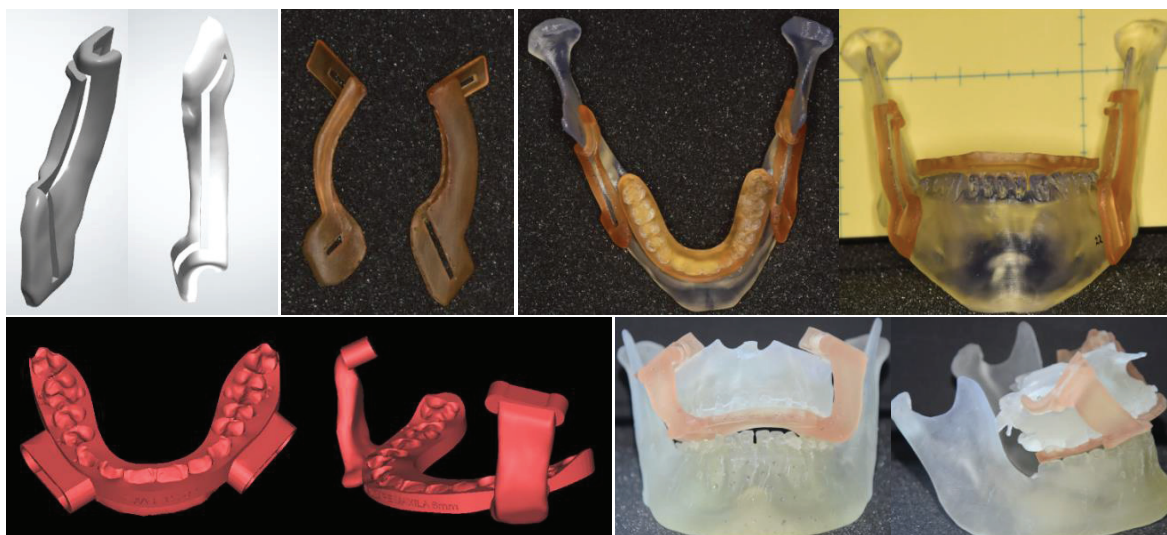


Fig.8. Ghidurile de osteotomie și repositionare. A) Ghidurile de osteotomie modelate virtual. B) Ghidurile de osteotomie fabricat prin metoda printării 3D. C) Ghidurile de osteotomie aplicate pe modelul anatomic stereolitografic. D) Ghidurile de repositionare modelate virtual. E) Ghidurile de repositionare fabricate prin metoda printării aplicate pe modelele anatomice stereolitografice.

Figure 8. Osteotomy and repositioning guides. A) Virtual modeled osteotomy guides. B) Osteotomy guides made by 3D printing method. C) Osteotomy guides applied on the stereolithographic anatomical model. D) Virtualized repositioning guides. E) Reposition guides manufactured by the printing method applied on stereolithographic anatomical models.

modelele personalizate printate 3D reduc riscurile intraoperatorii [4]. În chirurgia ortognatică modele printate 3D, obținute în baza datelor DICOM a CBCT-ului, sunt utilizate pentru a analiza dizarmoniile dento-alveolare și maxilo-faciale. De asemenea modelele anatomice individualizate au îmbunătățit considerabil evaluarea anomalii dento-maxilare, au facilitat elaborarea planului de tratament dar și planificarea intervențiilor propriu-zise.

**Ghidurile de osteotomie și re poziționare** (Figura 8)

Ghidurile de osteotomie permit plasarea intraoperatorie a liniei de osteotomie în conformitate cu planificarea digitală preoperatorie iar ghidurile de poziționare asigură deplasarea fragmentelor osteotomiate în poziția planificată [1].

Aceste ghiduri pot fi utilizate atât la nivelul maxilarului superior cât și la mandibulă. Pentru prima dată, acestea au fost utilizate de Zhang și colab., Polley și colab., Peter și colab., Suojanen și colab., în intervențiile de osteotomie sagitală bilaterală mandibulară pentru prevenirea lezării fascicolului vasculonervos alveolar inferior. Autorii au elaborat un algoritm inovativ și sigur de transpunere a planului virtual în sala de operație. De asemenea, imprimantele 3D au oferit posibilitatea obținerii ghidurilor de re poziționare ca alternativă la splinturile ocluzale intermediare. În consecință aceste metode au redus timpul intraoperator iar predictibilitatea intervenției chirurgicale a crescut semnificativ.

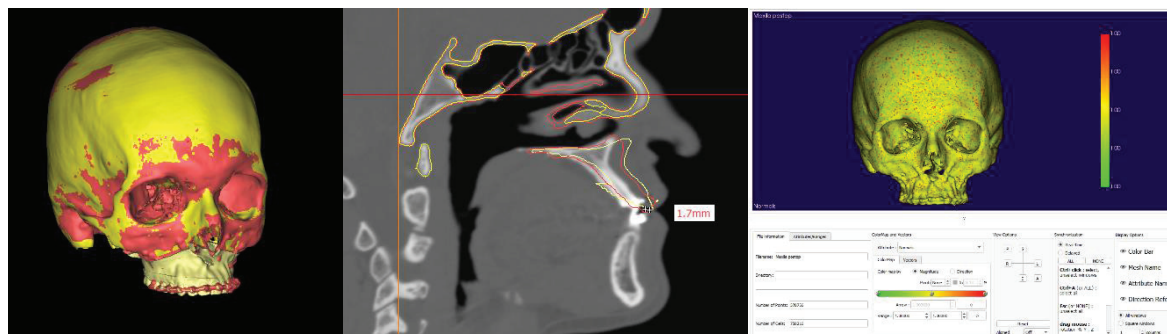
the digital preoperative planning and the positioning guides ensure the displacement of the osteotomy fragments in the planned position [1]. These guides can be used both at the upper jaw and at the jaw. For the first time, they were used by Zhang et al., Polley et al., Peter et al., Suojanen et al., in bilateral mandibular sagittal split osteotomy interventions to prevent inferior alveolar neurovascular bundle. The authors have developed an innovative and safe algorithm for transferring the virtual plan into the operating room. Also, 3D printing offered the possibility to obtain repositioning guides as an alternative to intermediate occlusal splints. Consequently, these methods reduced the intraoperative time and the predictability of the surgery increased significantly.

**Manufacture of virtual surgical splinters** (Figura 9)

Classically occlusal splints manufacture involves the use of plaster models, arch facial and articulator. The conventional methodology is a subject prone to errors, especially due to the movement limitations possible to execute in the articulator. Also, compared to the classical methods, the digitally manufactured occlusal splints offer high precision that can be reproduced whenever necessary. Based on these advantages, digital occluded splints are increasingly being implemented in orthognathic surgery [1]. The first to develop the digital splint creation algorithm, and obtained them, was Lauren in 2008 [3]. Hernandez-Alfaro in a prospective study merged the images



**Fig.9.** Splinturile ocluzale obținute digital. **A)** Re poziționarea virtuală a fragmentelor osoase osteotomiate și modelarea splintului ocluzal. **B)** Splintul ocluzal virtual. **C)** Splintul ocluzal fabricat prin metoda printării 3D. **D)** Imagini intraoperatorii cu fixarea splintului pe arcadele dentare.  
**Figure 9.** Digitally obtained occlusal splinters. **A)** Virtual repositioning of osteotomized bone fragments and modeling of the occlusal splint. **B)** Virtual occlusal splint. **C)** Occlusal splint made by 3D printing method. **D)** Intraoperative images with splint fixation on the dental arches.



**Fig.10.** Evaluarea preciziei și acurateții intervenției ortognatice. **A)** Suprapunerea modelului virtual preoperator cu modelul virtual postoperator. **B)** Calcularea devierii liniare prin suprapunerea tomografiei preoperatorie, a planului preoperator și a tomografiei postoperatorii. **C)** Analiza colorimetrică tridimensională pe modelele virtuale.  
**Fig.10.** Evaluation of the accuracy of orthognathic intervention. **A)** The overlap of the preoperative virtual model with the postoperative virtual model. **B)** Calculation of the linear deviation by overlapping the preoperative tomography, the preoperative plane and the postoperative tomography. **C)** Three-dimensional colorimetric analysis on virtual models.



**Fabricarea splinturilor chirurgicale virtuale** (Figura 9)

În mod clasic fabricarea splinturilor ocluzale implică utilizarea modelelor din ghips, a arcului facial și a articulatorului. Metodologia convențională este supusă erorilor în special datorită limitărilor de redare a mișcărilor în articulator. De asemenea, comparativ cu metodele clasice, splinturile ocluzale fabricate digital oferă precizie înaltă ce poate fi reprodusă ori de câte ori este necesar. Reeșind din aceste avantaje, splinturile ocluze digitale sunt tot mai des implicate în practica chirurgiei ortognatice [1]. Primul care a elaborat algoritmul de creare a splinturilor digitale, și le-a obținut, a fost Lauren în 2008 [3]. Hernandez-Alfaro într-un studiu prospectiv a fuzionat imaginile scanate intraoral cu CBCT-ul și a cercetat precizia și exactitatea acestora, iar rezultatele studiului au arătat o precizie înaltă [2]. Ulterior Shouman și colab. au propus utilizarea ghidurilor de osteotomie a maxilarului superior cu utilizarea splinturilor intermediare de poziționare în chirurgia ortognatică. Majoritatea autorilor susțin că splinturile ocluzale CAD/CAM sunt precise, sigure și pot înlocui splinturile obținute prin metodele tradiționale.

**Evaluarea rezultatelor postoperatorii cu cele preoperator** (Figura 10)

Tehnologia planificării chirurgicale virtuale este de asemenea și un instrument de evaluare a rezultatelor postoperatorii obținute. Cevidanes et al., a descris tehnica de suprapunere rigidă voxel-based și a contribuit semnificativ la cercetările ulterioare. În 2006 Marchetti et al., a demarat primul studiu de comparare a planului virtual preoperator cu rezultatul postoperator la 25 de pacienți. Compararea devierii dintre modelele virtuale preoperatorii cu cele postoperatorii a fost efectuată utilizând un algoritmul de suprapunere surface-to-surface aliniat la oasele bazei craniului, măsurările fiind efectuate prin calcularea distanței dintre cele 2 modele. Diferențele de precizie pre- și postoperatorii au fost în limitele acceptabile, discrepanța medie a rezultatelor postoperatorii în comparație cu planul virtual preoperator au fost de 2mm. Rezultate asemănătoare le-a prezentat și Hsu et al. în 2013, într-un studiu multicentric, criteriul de succes fiind prezentat ca o deviere liniară de până la 2mm și o deviere angulară  $<4^{\circ}$ . Criteriul de succes a fost stabilit la diferența medie de 2 mm în majoritatea studiilor și a fost acceptată ca o unitate de referință. Însă metodologia de măsurare a diferenței dintre rezultatele planificate și cele obținute diferă mult între studii. Reeșind din aceste diferențe de metodologie, demararea unei meta-analize nu a fost posibilă. Totuși planificarea virtuală chirurgicală rămâne a fi o metodă de tratament predictibilă ce prezintă o precizie înaltă, reproductibilă și care poate fi transferată în sala de operație prin intermediul splinturilor ocluzale sau prin intermediul navigației intraoperatorii.

**Avantajele planificării virtuale tridimensionale**

În timpul planificării digitale, chirurgul este capabil să vizualizeze arcadele dentare, scheletul facial

scanned intraoral with the CBCT and investigated their precision and accuracy, and the results of the study showed a high accuracy [2]. Later Shouman et al. proposed the use of osteotomy guides of the upper jaw with the use of intermediate positioning splints in orthognathic surgery. Most authors stated that CAD / CAM occlusal splints are accurate, safe and can replace splints obtained by traditional methods.

**Evaluation of postoperative results with preoperative** (Figura 10)

The technology of virtual surgical planning is also a tool to evaluate the postoperative results obtained. Cevidanes et al., Described the voxel-based rigid overlap technique and contributed significantly to subsequent research. In 2006 Marchetti et al., started the first study comparing the preoperative virtual plan with the postoperative outcome in 25 patients. Comparison of the deviation between preoperative and postoperative virtual models was performed using a surface-to-surface overlap algorithm aligned to the bones of the skull base, measurements being made by calculating the distance between the 2 models. The pre- and postoperative precision differences were within acceptable limits, the average discrepancy of the postoperative results compared with the preoperative virtual plane were 2mm. Similar results were presented by Hsu et al. In 2013, in a multicenter study, the success criterion was presented as a linear deviation of up to 2mm and an angular deviation  $<40$ . The success criterion was established at an average difference of 2 mm in most studies and was accepted as a reference unit. However, the methodology for measuring the difference between the planned and the obtained results differs greatly between studies. Based on these differences in methodology, starting a meta-analysis was not possible. However, virtual surgical planning remains a predictable treatment method that presents high accuracy, reproducible and can be transferred to the operating room through occlusal splints or intraoperative navigation.

**The advantages of three-dimensional virtual planning**

During digital planning, the surgeon is able to visualize the dental arches, facial skeleton and soft tissues in a single three-dimensional virtual image, this allows the evaluation of the symmetry or asymmetry of the bone structures; visualization of the position of the teeth in correlation with the neighboring anatomical formations; studying the occlusal relations, of the temporo-mandibular joint; as well as the evaluation of the upper airways. Also, the digitization of the treatment plan gives us the possibility to store and encrypt the data that can subsequently be transmitted and stored online, being accessed and viewed whenever it is necessary for curative but also educational purposes.

**Conclusions**

The revolution of digital medical imaging and virtual surgical planning technology has allowed

și țesuturile moi într-o singură imagine virtuală tridimensională, acest lucru permite evaluarea simetriei sau asimetriei structurilor osoase; vizualizarea poziției dinților în corelație cu formațiunile anatomice învecinate; studierea relațiilor ocluzale, a articulației temporo-mandibulare; precum și evaluarea căilor aeriene superioare. De asemenea, digitalizarea planului de tratament ne oferă posibilitatea de a stoca și cripta datele care ulterior pot fi transmise și păstrate online, acestea fiind accesate și vizualizate ori de câte ori este necesar în scop curativ dar și didactic.

### Concluzii

Revoluția imagisticii medicale digitale și a tehnologiei de planificare chirurgicală virtuală au permis individualizarea tratamentului. Confecționarea dispozitivelor ce se adaptează intim la situsul operator cu o precizie înaltă, permit transpunerea planului preoperator în sala de operație, în consecință intervenția devenind una predictibilă. Datorită avantajelor pe care le prezintă, tehnologia planificării virtuale contribuie la optimizarea nu doar a diagnosticului, dar și a tratamentului chirurgical propriu-zis.

treatment to be individualized. Making the devices that are intimately adapted to the operating site with a high precision, allow the preoperative plan to be transposed in the operating room, consequently the intervention becomes predictable. Due to its advantages, virtual planning technology contributes to optimizing not only the diagnosis, but also the surgical treatment itself.

### Bibliografie / Bibliography

1. 3D printing in orthognathic surgery. A literature review. Hsiu-Hsia Lin a, Daniel Lonic b, Lun-Jou Lo. Journal of the Formosan Medical Association (2018) 117, 547e558.
2. Hernandez-Alfaro F, Guijarro-Martinez R. New protocol for three-dimensional surgical planning and CAD/CAM splint generation in orthognathic surgery: an in vitro and in vivo study. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2013;42:1547e56.
3. Lauren M, McIntyre F. A new computer assisted method for design and fabrication of occlusal splints. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;133:S130e5.
4. McGaghie WC, Issenberg SB, Petrusa ER, Scalese RJ. A critical review of simulation-based medical education research: 2003—2009. *Med Educ*. Wiley Online Library; 2010; 44: 50-63. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2009.03547.x> PMID: 20078756.
5. Stokbro K, Aagaard E, Torkov P, Bell RB, Thygesen T. Virtual planning in orthognathic surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2014;43:957-65. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijom.2014.03.011>.
6. Trifan V, Lupan I., Trifan D., Calfa S. Morbiditatea prin anomalile dento-maxilare în republica moldova. În: *Medicina Stomatologică*. Chișinău, 2015, nr.1(34), p. 47-51. ISSN 1857—1328.