

# Τελευταίες εξελίξεις στην ορθογναθική χειρουργική και σύγχρονες διαγνωστικές τεχνικές

Νικόλαος Κολόμβος<sup>1</sup>, Άννα-Μαρία Χρονοπούλου<sup>2</sup>, Χρήστος Περισανίδης<sup>3</sup>

Κλινική Στοματικής και Γναθοπροσωπικής Χειρουργικής, Οδοντιατρική Σχολή ΕΚΠΑ (Διευθυντής: Καθηγητής Χ. Περισανίδης)

## Recent advances in orthognathic surgery and modern diagnostic techniques

Nikolaos Kolomvos<sup>1</sup>, Anna-Maria Chronopoulou<sup>2</sup>, Christos Perisanidis<sup>3</sup>

Department of Oral and Maxillofacial Surgery, School of Dentistry, National and Kapodistrian University of Athens, Greece  
(Head: Professor C. Perisanidis)

DOI: [10.54936/haoms251516](https://doi.org/10.54936/haoms251516)

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση  
Literature Review

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Νέα τεχνολογικά μέσα εφαρμόζονται ολοένα και περισσότερο στην ορθογναθική χειρουργική. Προηγμένες τεχνικές απεικόνισης, διάγνωσης και κατάρτισης του σχεδίου θεραπείας, αλλά και προσομοίωσης, καθοδήγησης και αξιολόγησης του θεραπευτικού αποτελέσματος καταλαμβάνουν σταδιακά τη θέση των συμβατικών τεχνικών, καθιστώντας δυνατό τον τρισδιάστατο ψηφιακό σχεδιασμό και την εξατομικευμένη θεραπευτική αντιμετώπιση των κρανιοπροσωπικών δυσμορφιών. Απλές και προηγμένες απεικονιστικές τεχνικές τριών διαστάσεων, όπως η απεικόνιση υπερήχων τριών διαστάσεων (3D U/S), η μαγνητική (3T-MRI) και η αξονική τομογραφία (CT) τριών διαστάσεων και η υπολογιστική τομογραφία κωνικής δέσμης (CBCT), καθώς και συνδυασμοί των τεχνικών αυτών κατατάσσονται στα σύγχρονα τεχνολογικά μέσα, την στιγμή που η ρομποτική χειρουργική και η οπτική ανάλυση τεσσάρων διαστάσεων έχουν ήδη αρχίσει να βρίσκουν κλινική εφαρμογή. Συμπερασματικά, η πρόοδος των τεχνικών διάγνωσης και σχεδίασης στην ορθογναθική χειρουργική παρουσιάζει πολλά προεγχειρητικά, διεγχειρητικά και μετεγχειρητικά πλεονεκτήματα μειώνοντας σημαντικά τις πιθανότητες επιπλοκών και παρέχοντας ασφάλεια, ακρίβεια και υψηλό επίπεδο ιατρικής περίθαλψης. Σκοπός της παρούσας βιβλιογραφικής ανασκόπησης είναι η συλλογή, παρουσίαση και αξιολόγηση νέων δεδομένων και σύγχρονων διαγνωστικών μεθόδων στον τομέα της ορθογναθικής χειρουργικής.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** ορθογναθική χειρουργική, διάγνωση, τρισδιάστατη απεικόνιση, ψηφιακή χειρουργική σχεδίαση, τρισδιάστατη εκτύπωση, υπολογιστικά καθοδηγούμενες τεχνικές, αξιολόγηση

**SUMMARY:** New technological tools are increasingly being applied in orthognathic surgery. Advanced techniques of imaging, diagnosis and treatment planning development, as well as simulation, guidance and evaluation of the treatment outcome are gradually taking the place of conventional techniques, enabling three-dimensional (3D) digital planning and personalized treatment of craniofacial deformities. Conventional and advanced three-dimensional techniques, such as three-dimensional ultrasound imaging (3D U/S), three-dimensional magnetic resonance imaging (3T-MRI), three-dimensional computed tomography (CT) and cone beam computed tomography (CBCT) imaging, as well as combinations of these techniques, are classified as modern technological tools, while robotic surgery and four-dimensional video stereophotogrammetry have already begun to find clinical application. In conclusion, advances in diagnostic and planning techniques in orthognathic surgery present many preoperative, intraoperative and postoperative advantages, significantly reducing the chances of complications and providing safety, accuracy and a high level of medical care.

The aim of this literature review is to collect, present and evaluate new data and contemporary diagnostic methods in the field of orthognathic surgery.

**KEY WORDS:** Orthognathic surgery; Diagnosis, Three-dimensional imaging, Digital surgical planning, Three-dimensional printing, Computer-aided techniques, Evaluation

<sup>1</sup> Επίκουρος Καθηγητής ΣΓΠΧ, Οδοντιατρική Σχολή, ΕΚΠΑ

<sup>2</sup> Οδοντίατρος, Επιστημονικός Συνεργάτης Στοματικής Χειρουργικής, Οδοντιατρική Σχολή, ΕΚΠΑ

<sup>3</sup> Καθηγητής ΣΓΠΧ, Οδοντιατρική Σχολή, ΕΚΠΑ

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ως ορθογναθική χειρουργική θεωρείται ο τομέας της στοματικής και γναθοπροσωπικής χειρουργικής, που ασχολείται με τη διόρθωση των σκελετικών αποκλίσεων και σοβαρών δυσμορφιών του κρανιοπροσωπικού συμπλέγματος (σε εγκάρσιο, οβελιαίο και στεφανιαίο επίπεδο). Η εφαρμογή της προϋποθέτει τη διαρκή και αμοιβαία συνεργασία του ειδικού στοματο-γναθοπροσωπικού χειρουργού με ειδικό ορθοδοντικό. Η σύμπραξη των δύο ειδικοτήτων συμβάλλει στη βελτίωση των βασικών λειτουργιών της σύγκλισης (μάσηση και ομιλία) και στη διαχείριση της αναπνευστικής απόφραξης, διορθώνοντας, παράλληλα, τα υπάρχοντα αισθητικά προβλήματα και παρέχοντας στον ασθενή καλύτερη ποιότητα ζωής (1,2,3,4). Μέχρι σήμερα, τα βασικά μέσα για τη μελέτη των σκελετικών ανωμαλιών του κρανιοπροσωπικού συμπλέγματος και τη σχεδίαση της θεραπευτικής τους αντιμετώπισης αποτελούσαν τα ακόλουθα (2,3,5,6):

- Κλινική εξέταση,
- Λήψη συμβατικών φωτογραφιών και ανάλυση δισδιάστατων ακτινογραφιών (πλάγια και οπισθοπρόσθια ακτινογραφία του κρανίου και του προσώπου),
- Αξονική τομογραφία και εκμαγεία μελέτης,
- Σχεδίαση και αναπαραγωγή των σκελετικών κινήσεων με τη χρήση ημιπροσαρμοζόμενων αρθρωτήρων και
- Χρήση κοινών χειρουργικών ναρθήκων ακρυλικής ρητίνης.

## INTRODUCTION

Orthognathic surgery is defined as the field of oral and maxillofacial surgery, which deals with the correction of skeletal discrepancies and significant deformities of the craniofacial complex (in the transverse, sagittal and coronal planes). Its application requires constant and mutual cooperation between the specialist oral and maxillofacial surgeon and the orthodontic specialist. The partnership between the two specialties helps to improve the basic functions of occlusion (chewing and speaking) and the management of respiratory obstruction, while correcting existing aesthetic problems and providing the patient with a better quality of life (1,2,3,4).

To date, the basic tools for studying skeletal abnormalities of the craniofacial complex and designing their therapeutic management have been the following (2,3,5,6):

- Clinical examination,
- Conventional photographs and two-dimensional (2D) radiographs (lateral and posteroanterior skull and facial radiographs),
- Computed tomography (CT) scan and cast models,
- Design and reproduction of skeletal movements using semi-adjustable articulators and
- Use of conventional surgical acrylic splints of occlusion. It has been reported that 2D imaging techniques cannot clearly capture the complexity of the 3D anatomy of maxillofacial structures (7). Also, 2D surgical plan-

### Πίνακας 1: Σύγχρονα τεχνολογικά μέσα στην ορθογναθική χειρουργική

Απλές απεικονιστικές τεχνικές τριών διαστάσεων	1) Κεφαλομετρική ανάλυση τριών διαστάσεων 2) Σάρωση με ακτίνες laser 3) Στερεοφωτογραμμετρία
Προηγμένες απεικονιστικές τεχνικές τριών διαστάσεων	1) Απεικόνιση υπερήχων τριών διαστάσεων (3D U/S) 2) Μαγνητική τομογραφία τριών διαστάσεων (3T-MRI) 3) Αξονική τομογραφία τριών διαστάσεων (3D CT) 4) Αξονική τομογραφία κωνικής δέσμης (CBCT)
Υποβοηθούμενες από υπολογιστή κατασκευαστικές διαδικασίες	1) Στερεολιθογραφία βιομοντέλου 2) Εξατομικευμένοι χειρουργικοί νάρθηκες 3) Εξατομικευμένοι χειρουργικοί οδηγοί οστεοτομίας, πλάκες σταθεροποίησης και εμφυτεύματα
Συνδυασμός δύο ή/και περισσότερων απεικονιστικών τεχνικών	1) Στερεοφωτογραμμετρία και αξονική τομογραφία κωνικής δέσμης (CBCT) 2) Σάρωση με ακτίνες laser και αξονική τομογραφία κωνικής δέσμης (CBCT) 3) Σάρωση με ακτίνες laser ενδοστοματικά, αξονική τομογραφία τριών διαστάσεων (3D CT) και στερεοσκοπική φωτογραφία (stereo camera)
Τεχνικές του μέλλοντος που έχουν αρχίσει ήδη να βρίσκουν κλινική εφαρμογή	1) Οπτική ανάλυση τεσσάρων διαστάσεων 2) Διεχειριστικό σύστημα καθοδήγησης υποβοηθούμενο από ηλεκτρονικό υπολογιστή, σε πραγματικό χρόνο 3) Τηλεϊατρική 4) Ρομποτική χειρουργική

Έχει αναφερθεί ότι οι δισδιάστατες απεικονιστικές τεχνικές δεν μπορούν να αποδώσουν με σαφήνεια την πολυπλοκότητα της τρισδιάστατης ανατομίας των γναθοπροσωπικών δομών (7). Επίσης, η δισδιάστατη χειρουργική σχεδίαση μπορεί να οδηγήσει σε σφάλματα και ανακρίβειες, σχετιζόμενες με τη μεταφορά του προσωπικού τόξου, την ακτινογραφική παραμόρφωση, την κατασκευή των χειρουργικών ναρθήκων ακρυλικής ρητίνης και την ενδοεγχειρητική επανατοποθέτηση των οστικών τμημάτων (3,5,6,8). Η ανάπτυξη, ωστόσο, σύγχρονων τεχνολογικών μέσων μπορεί να αντιμετωπίσει, σε μεγάλο βαθμό, τους περιορισμούς αυτούς, βελτιώνοντας τη διαγνωστική διαδικασία και παρέχοντας ακριβή και προβλέψιμα αποτελέσματα (9).

Ως σύγχρονα τεχνολογικά μέσα θεωρούνται (10,11,12) (Πίνακας 1):

- Απλές ή προηγμένες απεικονιστικές τεχνικές τριών διαστάσεων,
- Κατασκευαστικές διαδικασίες υποβοηθούμενες από υπολογιστή,
- Συνδυασμός δύο ή/και περισσότερων απεικονιστικών τεχνικών,
- Τεχνικές του μέλλοντος, που έχουν ήδη αρχίσει να βρίσκουν κλινική εφαρμογή.

**Σκοπός** της παρούσας βιβλιογραφικής ανασκόπησης είναι η παρουσίαση νέων δεδομένων και σύγχρονων διαγνωστικών τεχνικών, καθώς και η επιρροή αυτών στον τομέα της ορθογναθικής χειρουργικής.

ning can lead to errors and imprecisions related to facebow transfer, radiographic distortion, fabrication of surgical acrylic splints, and repositioning of bony fragments intraoperatively (3,5,6,8). However, the development of modern technological tools can, to a large extent, address these limitations, improving the diagnostic process and providing accurate and predictable results (9).

Modern technological tools are considered to be (10,11,12) (Table 1):

- Conventional or advanced 3D imaging techniques,
- Computer-assisted manufacturing processes,
- Combination of two and/or more imaging techniques,
- Techniques of the future, which have already started finding clinical application.

**The aim** of this literature review is to present new data and modern diagnostic techniques, as well as their influence in the field of orthognathic surgery.

## Conventional 3D imaging techniques

### 1. 3D Cephalometric analysis

It is based on patient imaging data from cone beam computed tomography (CBCT) and software that provides tools for three-dimensional cephalometric measurements (13). Specifically, in CBCT, predefined anatomical landmarks are set and measurements are made with the use of appropriate points, lines, planes and angles to determine malformations of the craniofacial complex

**Table 1: Modern technological tools in orthognathic surgery**

Conventional 3D imaging techniques	1) 3D Cephalometric analysis 2) Laser Scanning 3) Stereophotogrammetry
Advanced 3D imaging techniques	1) 3D Ultrasound (3D U/S) imaging 2) 3D Magnetic Resonance Imaging (3T-MRI) 3) 3D Computed Tomography (3D CT) 4) Cone Beam Computed Tomography (CBCT)
Computer-assisted manufacturing processes	1) Stereolithographic Biomodelling 2) Patient-specific surgical splints 3) Patient-specific surgical cutting guides for osteotomy, stabilization plates and implants
Combination of two and/or more imaging techniques	1) Stereophotogrammetry and CBCT 2) Laser Scanning and CBCT 3) Intraoral Laser Scanning, 3D CT and stereoscopic photography (stereo camera)
Techniques of the future, which have already started finding clinical application	1) Four-dimensional (4D) Video Stereophotogrammetry 2) Real-time computer-assisted intraoperative surgical navigation 3) Telemedicine 4) Robot-assisted (Robotic) Surgery

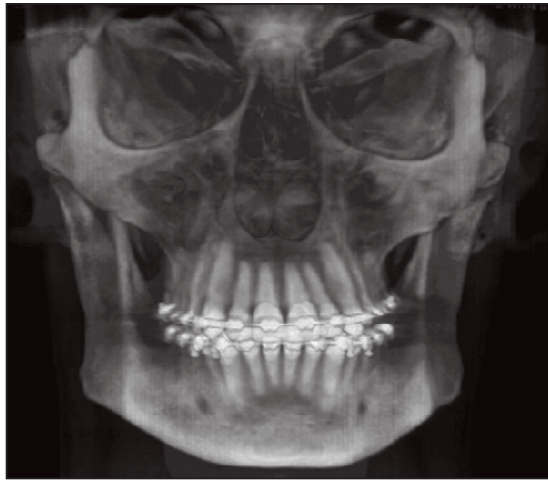
## Απλές απεικονιστικές τεχνικές τριών διαστάσεων

### 1. Κεφαλομετρική ανάλυση τριών διαστάσεων

Βασίζεται σε δεδομένα απεικονίσεων του ασθενούς από την αξονική τομογραφία κωνικής δέσμης (CBCT), καθώς και σε λογισμικό που παρέχει εργαλεία τρισδιάστατων κεφαλομετρικών μετρήσεων (13). Συγκεκριμένα, στην CBCT ορίζονται συγκεκριμένα ανατομικά ορόσημα και πραγματοποιούνται μετρήσεις με τη χρήση κατάλληλων σημείων, γραμμών, επιπέδων και γωνιών, για τον προσδιορισμό παραμορφώσεων του κρανιοπροσωπικού συμπλέγματος (14,15). Η ακρίβεια των κεφαλομετρικών μετρήσεων είναι επιτακτική, αφενός για την ανίχνευση ασυμμετριών του προσώπου και αφετέρου για την επαρκή ενημέρωση σχετικά με την έκταση, την εντόπιση και την κατεύθυνση αυτών, βάσει των τρισδιάστατων απεικονίσεων (16). Ως εκ τούτου, επιτρέπεται αρτιότερη αναπαράσταση της πραγματικής μορφολογίας του κρανιοπροσωπικού συμπλέγματος, σε αντίθεση με το δισδιάστατο πλάγιο κεφαλογράφημα, όπου η δεξιά και η αριστερή πλευρά υπερτίθενται η μία πάνω στην άλλη (10,13). Παράλληλα, η τεχνική αυτή αξιολογεί την σκελετική σχέση της βάσης του κρανίου με την άνω ή την κάτω γνάθο, καθώς και την σχέση μεταξύ των δύο γνάθων (17). Παρέχει, επίσης, τη δυνατότητα μέτρησης της επιμήκους ανάπτυξης του κρανιοπροσωπικού συμπλέγματος, μικρών συγκλεισιακών διαφοροποιήσεων, αλλά και κρανιοπροσωπικών αποκλίσεων (10). Τέλος, συμβάλλει στη διάγνωση και κατάρτιση του σχεδίου θεραπείας σε ασθενείς με ανάγκη για ορθογναθική χειρουργική, επιτρέποντας την σύγκριση της προεγχειρητικής και μετεγχειρητικής εικόνας του ασθενή, ενώ η διαγνωστική της αξιοπιστία ανταγωνίζεται αυτή της κλασικής κεφαλομετρικής ανάλυσης (10,13,14,15,17) (Εικόνα 1).

### 2. Σάρωση με ακτίνες laser

Διακρίνεται η τεχνική σάρωσης του προσώπου, καθώς και η ενδοστοματική σάρωση. Ο σαρωτής του προσώπου είναι μία μη επεμβατική και ανέπαφη συσκευή μέτρησης, που καταγράφει την τρισδιάστατη μορφολογία του προσώπου και των μαλακών ιστών, αποτυπώνοντας την πραγματική υφή και το χρώμα του δέρματος. Ένα από τα οφέλη της τεχνικής αυτής είναι η χρήση γρήγορης και ανέπαφης σάρωσης, που τυπικά δε γίνεται αισθητή από τον ασθενή. Η μεγαλύτερη ακρίβεια καταγραφής παρουσιάζεται στο μέσο τριτημόριο του προσώπου, ενώ παράλληλα διατίθεται αυτόματη αναγνώριση των εκφράσεων του προσώπου, συμβάλλοντας στην κατανόηση της ψυχολογικής κατάστασης του ασθενούς και στη διευκόλυνση της επικοινωνίας μεταξύ θεράποντος και ασθενούς. Οι σαρωτές αυτοί χρησιμοποιούνται ευρέως στην κλινική πράξη, εξασφαλίζοντας ασφάλεια και αξιοπιστία. Παρουσιάζουν χαμηλό κόστος και ευκολία χειρισμών, κατέχοντας κομβική θέση στη



**Εικ. 1:** Τρισδιάστατη σκελετική απεικόνιση (βάσει της οποίας μπορεί να πραγματοποιηθεί τρισδιάστατη κεφαλομετρική ανάλυση) (18)  
**Fig. 1:** 3D skeletal imaging (from which 3D cephalometric analysis can be performed) (18)

(14,15). The precision of cephalometric measurements is imperative, both to detect facial asymmetries and to provide adequate information about their extent, location and direction based on 3D images (16). Therefore, a more accurate representation of the actual morphology of the craniofacial complex is allowed, in contrast to the two-dimensional lateral cephalogram, where the right and left sides are superimposed on each other (10,13). At the same time, this technique evaluates the skeletal association of the skull base with the maxilla or mandible, as well as the relationship between the two jaws (17). It also allows the measurement of the longitudinal development of the craniofacial complex, slight occlusal variations and craniofacial deviations (10). Finally, it contributes to the diagnosis and treatment planning for orthognathic patients, allowing the comparison of the patient's preoperative and postoperative condition, while its diagnostic reliability rivals that of conventional cephalometric analysis (10,13,14,15,17) (Figure 1).

### 2. Laser Scanning

The facial scanning technique is distinguished, as well as intraoral scanning.

The facial scanner is a non-invasive and intact measuring device that records the 3D morphology of the face and soft tissues, capturing the actual texture and color of the skin. One of the benefits of this technique is the use of a fast and contactless scanning, which is typically not detectable by the patient. The highest accuracy of recording occurs in the middle third of the face, while automatic recognition of facial expressions is available, helping to understand the patient's psychological situation and facilitating the therapist-patient communication. These scanners are widely used in clinical practice, en-

διάγνωση, πρόγνωση και σχεδίαση της θεραπείας και επιτρέποντας τη λεπτομερή μετεγχειρητική αξιολόγηση και ανάλυση της συμμετρίας του θεραπευτικού αποτελέσματος (11,14,19). Μειονέκτημα της συγκεκριμένης τεχνικής αποτελεί ο εκτεταμένος χρόνος λήψης της σάρωσης, που την καθιστά ακατάλληλη για παιδιατρικά περιστατικά, καθώς και η εκπομπή επιβλαβούς για τα μάτια φωτός κατά τη λήψη τρισδιάστατων εικόνων. Επίσης, έχουν παρατηρηθεί σφάλματα ή ελλείποντα δεδομένα σάρωσης, κατά την αποτύπωση επιφανειών που καταγράφονται δύσκολα, όπως τα φρύδια και οι βλεφαρίδες, που παρουσιάζονται με τη μορφή τρύπας (11,19).

Ο ενδοστοματικός σαρωτής αποτελείται από μια ενδοστοματική κάμερα, έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή και ένα κατάλληλο λογισμικό. Χρησιμοποιείται για τη λήψη πληροφοριών τρισδιάστατης τοπογραφίας και χρωματικής υφής των σκληρών και μαλακών ιστών της στοματικής κοιλότητας, όπως τα δόντια, τα ούλα και οι βλεννογόνοι, απευθείας από το στόμα του ασθενούς, σχηματίζοντας ένα τρισδιάστατο απεικονιστικό μοντέλο της σύγκλεισης. Τα τρισδιάστατα, αυτά, ψηφιακά μοντέλα επιτρέπουν την απόκτηση διαγνωστικών πληροφοριών, την κατάρτιση του σχεδίου θεραπείας, την καλύτερη επικοινωνία μεταξύ επεμβαϊνόντων και την κατασκευή εξατομικευμένων συσκευών. Η τεχνική αυτή, παράλληλα, συμβάλλει στην αντιμετώπιση των περιορισμών των συμβατικών τεχνικών αποτύπωσης, όπως είναι η αλλαγή στις διαστάσεις των αποτυπωτικών υλικών, η εκτεταμένη διάρκεια και το πρόβλημα αποθήκευσης του μεγάλου όγκου αποτυπωμάτων, και διευκολύνει τη λήψη αποτυπωμάτων από ασθενείς με έντονο αντανακλαστικό πνιγμού/εμέτου, δύσπνοια ή άγχος (4,11,19).

### 3. Στερεοφωτογραμμετρία

Η ψηφιακή φωτογραμμετρία αποτελεί τεχνική υψηλής ακριβείας, που βασίζεται στη φωτογράφιση του ασθενούς με ένα ζεύγος ειδικά διαμορφωμένων φωτογραφικών μηχανών. Κατά τη διάρκεια της εξέτασης, ζητείται από τον ασθενή να παραμείνει με κλειστό στόμα σε θέση κεντρικής σύγκλεισης, αφού πρώτα έχει καταπιεί, διατηρώντας τον μυϊκό τόνο του προσώπου χαλαρό. Εν συνεχεία, οι φωτογραφίες αυτές, που λαμβάνονται από δύο διαφορετικές κατευθύνσεις, επισημαίνονται με προκαθορισμένα σημεία αναφοράς, για τη λήψη ακριβών μετρήσεων και τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου της κεφαλής και του τραχήλου, το οποίο διατηρεί το αρχικό του μέγεθος και σχήμα. Πρόκειται για απλή, μη επεμβατική τεχνική, με μικρό χρόνο λήψης και απουσία ακτινοβολίας, γεγονός που την καθιστά ιδανική για παιδιατρικούς ασθενείς. Μπορεί να συνδυαστεί με εικόνες από την αξονική τομογραφία κωνικής δέσμης (CBCT) και επιτρέπει την αξιολόγηση του προσώπου από οποιαδήποτε κατεύθυνση, με μία μόνο λήψη. Καταγράφει με λεπτομέρεια τη μορφολογία του προσώπου και τις αλλαγές των μαλακών ιστών, αποτελώντας, έτσι,

συνασφάλου και αξιοπιστίας. Είναι χαμηλού κόστους και εύχρηστες, καθώς και κεντρικές για τη διάγνωση, πρόγνωση και σχεδίαση της θεραπείας και επιτρέποντας τη λεπτομερή μετεγχειρητική αξιολόγηση και ανάλυση της συμμετρίας του θεραπευτικού αποτελέσματος (11,14,19). Το μειονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ο μακρύς χρόνος απόκτησης των εικόνων, που την καθιστά ακατάλληλη για παιδιατρικά περιστατικά, καθώς και η εκπομπή επιβλαβούς για τα μάτια φωτός κατά τη λήψη τρισδιάστατων εικόνων. Επίσης, έχουν παρατηρηθεί σφάλματα ή ελλείποντα δεδομένα σάρωσης, κατά την αποτύπωση επιφανειών που καταγράφονται δύσκολα, όπως τα φρύδια και οι βλεφαρίδες, που παρουσιάζονται με τη μορφή τρύπας (11,19).

Ο ενδοστοματικός σαρωτής αποτελείται από μια ενδοστοματική κάμερα, έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή και ένα κατάλληλο λογισμικό. Χρησιμοποιείται για τη λήψη πληροφοριών τρισδιάστατης τοπογραφίας και χρωματικής υφής των σκληρών και μαλακών ιστών της στοματικής κοιλότητας, όπως τα δόντια, τα ούλα και οι βλεννογόνοι, απευθείας από το στόμα του ασθενούς, σχηματίζοντας ένα τρισδιάστατο απεικονιστικό μοντέλο της σύγκλεισης. Τα τρισδιάστατα, αυτά, ψηφιακά μοντέλα επιτρέπουν την απόκτηση διαγνωστικών πληροφοριών, την κατάρτιση του σχεδίου θεραπείας, την καλύτερη επικοινωνία μεταξύ επεμβαϊνόντων και την κατασκευή εξατομικευμένων συσκευών. Η τεχνική αυτή, παράλληλα, συμβάλλει στην αντιμετώπιση των περιορισμών των συμβατικών τεχνικών αποτύπωσης, όπως είναι η αλλαγή στις διαστάσεις των αποτυπωτικών υλικών, η εκτεταμένη διάρκεια και το πρόβλημα αποθήκευσης του μεγάλου όγκου αποτυπωμάτων, και διευκολύνει τη λήψη αποτυπωμάτων από ασθενείς με έντονο αντανακλαστικό πνιγμού/εμέτου, δύσπνοια ή άγχος (4,11,19).

### 3. Stereophotogrammetry

Digital photogrammetry is a high-precision technique, based on photographing the patient with a pair of specially designed cameras. During the examination, the patient is asked to remain in a closed mouth, in centric occlusion, after having swallowed, while keeping the facial muscles relaxed. These photographs, taken from two different directions, are then marked with predetermined reference points to obtain accurate measurements and to create a three-dimensional model of the head and neck, which retains its original size and shape. It is a simple, non-invasive technique, with a short acquisition time and no radiation, making it ideal for paediatric patients. It can be combined with cone beam CT (CBCT) images and allows the face to be evaluated from any direction in a single scan. It captures in detail the facial morphology and soft tissue changes, making it the first choice method for images' superimpositioning after orthognathic surgery. Finally, it provides the possibility of projecting and rotating the 3D images in any direction on a personal computer, facilitating communication between practitioners and making this technique ideal for the planning and evaluation of orthognathic surgery in patients with craniofacial anomalies (11,14,19).

μέθοδο εκλογής για την πραγματοποίηση υπερθέσεων, μετά από ορθογναθικές επεμβάσεις. Τέλος, παρέχει τη δυνατότητα προβολής και περιστροφής, προς οποιαδήποτε κατεύθυνση, των τρισδιάστατων απεικονίσεων στον προσωπικό υπολογιστή, διευκολύνοντας την επικοινωνία μεταξύ των θεραπόντων και καθιστώντας την τεχνική αυτή ιδανική για την σχεδίαση και αξιολόγηση ορθογναθικών επεμβάσεων σε ασθενείς με κρανιοπροσωπικές ανωμαλίες (11,14,19).

## Προηγμένες απεικονιστικές τεχνικές τριών διαστάσεων

### 1. Απεικόνιση υπερήχων τριών διαστάσεων

Η απεικόνιση με υπερήχους είναι αρκετά διαδεδομένη στην καθημερινή κλινική πράξη, λόγω του χαμηλού κόστους και της γρήγορης απόδοσης που εξασφαλίζουν. Οι συσκευές απεικόνισης υπερήχων τριών διαστάσεων ακολουθούν αναπτυσσόμενη πορεία, συμβάλλοντας στην οπτικοποίηση και απεικόνιση των μαλακών ιστών του σώματος ως τρισδιάστατες δομές (20). Η τεχνική αυτή επιτρέπει την απεικόνιση ολόκληρων των εξεταζόμενων οργάνων σε τρεις διαστάσεις, εξασφαλίζοντας μετρήσεις των ποσοτικών τους χαρακτηριστικών, ανεξαρτήτως προσανατολισμού, απαιτεί σχετικά μικρή εξειδίκευση του επεμβαίνοντος και παρουσιάζει επαναληψιμότητα στην απεικόνιση της περιοχής ενδιαφέροντος (από την ίδια οπτική γωνία που ελήφθη σε προηγούμενη εξέταση). Έτσι, συνεισφέρει στον έλεγχο της ανταπόκρισης των ιστών στο θεραπευτικό σχέδιο. Επιπλέον, παρέχει τη δυνατότητα συνδυασμού των δεδομένων με τα αποτελέσματα άλλων απεικονιστικών τεχνικών, όπως της μαγνητικής τομογραφίας (MRI) (20). Καθοριστική είναι, τέλος, η συμβολή της στην κατασκευή εξατομικευμένων τρισδιάστατων μοντέλων, που παρουσιάζουν την ακριβή ανατομία και παθολογία της περιοχής, μέσω επεξεργασίας και τμηματοποίησης των ογκομετρικών εικόνων, συμβάλλοντας στον προεγχειρητικό σχεδιασμό και στην προσομοίωση πολύπλοκων επεμβατικών διαδικασιών σε ασθενείς με κρανιοπροσωπικές ανωμαλίες (14,21).

### 2. Μαγνητική τομογραφία τριών διαστάσεων

Ένας σαρωτής τρισδιάστατης μαγνητικής τομογραφίας (3T-MRI) δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο με διπλάσια ισχύ, υψηλότερη ανάλυση και αξιοπιστία και συντομότερο χρόνο λήψης από τις συμβατικές τομογραφίες, αποδίδοντας εξαιρετική ανατομική λεπτομέρεια. Τα τρέχοντα συστήματα 3T-MRI επιτρέπουν τη μορφολογική διερεύνηση της ανατομίας με υψηλή ανάλυση χώρου, χρόνου και αντίθεσης (απαραίτητη στη διάγνωση), ενισχύοντας τη διαγνωστική αξία της μαγνητικής τομογραφίας όσον αφορά την εξειδίκευση και ευαισθησία τόσο στην καθημερινή κλινική πράξη όσο και σε ερευνητικές εφαρμογές. Πρόκειται για μία μη επεμβατική και ασφαλή, χωρίς ακτινοβολία Χ, τεχνική. Μειώνει τον

## Advanced 3D imaging techniques

### 1. 3D Ultrasound (3D US) imaging

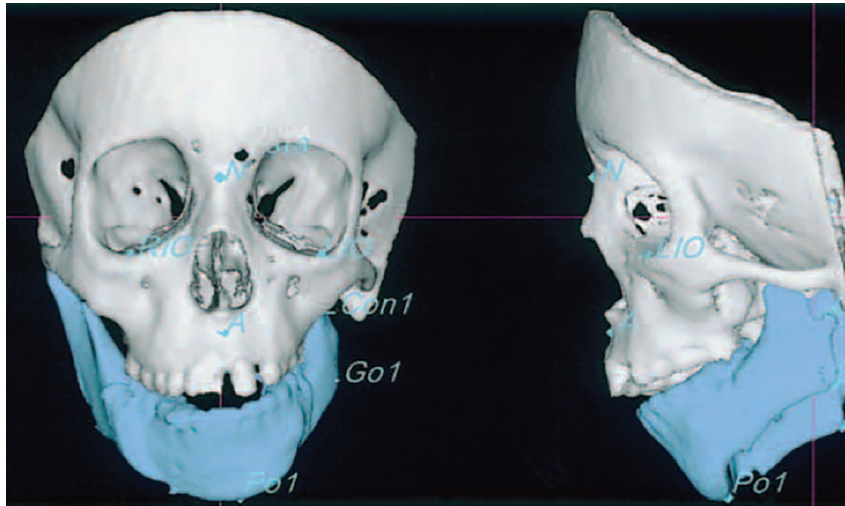
Ultrasound imaging is quite widespread in daily clinical practice, due to the low cost and fast performance they provide. Three-dimensional ultrasound imaging devices are rising, contributing to the visualization and imaging of soft tissues of the body as three-dimensional structures (20). This technique allows imaging of the entire examined organs in three dimensions, ensuring measurements of their quantitative characteristics, regardless of their orientation, requires relatively little operator expertise and shows repeatability in imaging the area of interest (from the same angle of view taken in a previous examination). Thus, it contributes to the control of tissue response to the treatment planning. In addition, it provides the possibility of combining the data with the results of other imaging techniques, such as magnetic resonance imaging (MRI) (20). Finally, its contribution to the construction of customized 3D models, showing the exact anatomy and pathology of the region, through processing and segmentation of volumetric images, is crucial, contributing to preoperative planning and simulation of complex invasive procedures in patients with craniofacial abnormalities (14,21).

### 2. 3D Magnetic Resonance Imaging (3T-MRI)

A 3T-MRI scanner creates a magnetic field with twice the power, higher resolution and reliability and shorter acquisition time compared to conventional scans, delivering outstanding anatomic detail. Current 3T-MRI systems allow the morphological examination of anatomy with high resolution of space, time and contrast (requisite in diagnosis), improving the diagnostic value of MRI in terms of specialization and sensitivity in both everyday clinical practice and research applications. It is a non-invasive and safe, X-ray-free technique. It reduces the risk of imaging distortions, significantly reducing the requirement for repeated scans and, thus, patient's discomfort and maximizing diagnostic ability and precision. It is an essential tool for the analysis of both soft and hard tissues of the face, contributing to the 3D assessment of facial deformities, diagnosis and planning of their treatment. The disadvantages of this technique include the claustrophobic tendency of some patients, the difficulty of keeping a still position, mainly in juvenile patients, and the limitation of the examination to patients with metallic appliances. Other limiting factors include the high cost and reduced availability of these scanners. In the future, it is speculated that 3D cephalometric analysis will be performed on 3T-MRI, as opposed to CBCT, with a potential for its routine usage in orthodontic and orthognathic treatment (11,22).

### 3. 3D Computed Tomography (3D CT)

A three-dimensional CT scan (3D CT) is composed of a



Εικ. 2: Αξονική τομογραφία τριών διαστάσεων (24)  
Fig. 2: 3D Computed Tomography (3D CT) (24)

κίνδυνο απεικονιστικών παραμορφώσεων, περιορίζοντας σημαντικά την ανάγκη για επαναλαμβανόμενες σαρώσεις και, άρα, την ταλαιπωρία του ασθενούς και μεγιστοποιώντας τη διαγνωστική ικανότητα και ακρίβεια. Αποτελεί πολύτιμο εργαλείο για την ανάλυση τόσο των μαλακών όσο και των σκληρών ιστών του προσώπου, συμβάλλοντας στην τρισδιάστατη εκτίμηση των προσωπικών δυσμορφιών, στη διάγνωση και σχεδίαση της θεραπευτικής τους αντιμετώπισης. Στα μειονεκτήματα της τεχνικής αυτής συγκαταλέγονται οι κλειστοφοβικές τάσεις ορισμένων ασθενών, η δυσκολία διατήρησης ακίνητης θέσης, ιδίως σε νεότερους ασθενείς, καθώς και ο περιορισμός εφαρμογής της εξέτασης σε ασθενείς με μεταλλικές συσκευές. Επίσης, στους περιοριστικούς παράγοντες της εξέτασης συμπεριλαμβάνονται το υψηλό κόστος και η μειωμένη διαθεσιμότητα των συγκεκριμένων τομογράφων. Στο μέλλον, πιθανολογείται η πραγματοποίηση τρισδιάστατων κεφαλομετρικών αναλύσεων σε 3T-MRI, έναντι των αξονικών τομογραφιών κωνικής δέσμης (CBCT), με σκοπό την καθημερινή χρήση της στην ορθοδοντική και ορθογναθική αντιμετώπιση (11,22).

### 3. Αξονική τομογραφία τριών διαστάσεων

Η αξονική τομογραφία τριών διαστάσεων (3D CT) σχηματίζεται από μία τρισδιάστατη προβολή, με τη χρήση εγκάρσιων διατομών του σώματος. Παρουσιάζει υψηλή δόση ακτινοβολίας και υψηλό κόστος, γεγονός που την καθιστά ακατάλληλη στην καθημερινή κλινική πράξη. Ωστόσο, χάριν των πληροφοριακών δεδομένων που εξασφαλίζει σχετικά με τις παθολογίες του στοματοπροσωπικού συστήματος, τους γναθιαίους κόλπους, την κροταφογναθική διάρθρωση, τις ανατομικές παραλλαγές και τα κρανιοπροσωπικά σύνδρομα εφαρμόζεται ευρέως στην Οδοντιατρική (11). Επίσης, χαρακτηρίζεται από μικρότερα ποσοστά σφάλματος, μειωμένο θόρυβο και καλύτερη ικανότητα διάκρισης στοιχείων χαμηλής αντίθεσης, σε σύγκριση με την αξονική τομογραφία κωνικής δέσμης (CBCT), παρέχοντας καλύτερα

3D projection, using cross-sections of the body. It presents a high dose of radiation and high cost, which makes it unsuitable for everyday clinical practice. However, due to the information it provides about the pathologies of the orofacial system, maxillary sinuses, temporomandibular joint, anatomical modifications and craniofacial syndromes, it is widely applied in dentistry (11). It is also characterized by lower error rates, reduced noise, and better capacity to discriminate low-contrast features in comparison with cone beam CT (CBCT), providing better-formed and anatomically correct images (23) (Figure 2).

### 4. Cone Beam Computed Tomography (CBCT)

It consists of a cone-shaped X-ray beam and a two-dimensional square digital detector and has a greater spatial resolution, allowing, with a single revolution of the radiation source, the entire area of interest to be captured. It, thus, ensures a significantly shorter irradiation time and, accordingly, considerably reduces patient's discomfort (14,19,23,25). It is more prone to technical errors compared to 3D CT, showing higher noise, low contrast in soft tissues and less uniform images. However, it excels in distinguishing small variations in the size of the examined anatomical structures and in identifying osseous changes (11,19,23). At the same time, it has the advantage of being less costly and having a lower dose of radiation than CT (11,13,14). It is used both in the diagnostic and planning process of facial asymmetries by creating a virtual 3D patient from CBCT data, and in the preoperative assessment of their therapeutic outcomes. It helps to distinguish between unilateral and bilateral deviation of these asymmetries in patients requiring orthognathic surgery, while improving the differential diagnosis of craniofacial anomalies and syndromes (11,14) (Figure 3).

### Computer-assisted manufacturing processes

Initially, the under-study region is scanned, via CT scans,

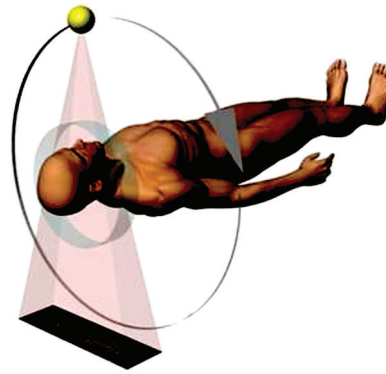
σχηματισμένες και ανατομικά ορθές απεικονίσεις (23) (Εικόνα 2).

#### 4. Αξονική τομογραφία κωνικής δέσμης

Χρησιμοποιεί μία κωνική δέσμη ακτίνων Χ και έναν δισδιάστατο τετράγωνο ψηφιακό ανιχνευτή και παρουσιάζει υψηλότερη ανάλυση χώρου, επιτρέποντας, με μία μόνο περιστροφή της πηγής ακτινοβολήσης, την καταγραφή ολόκληρης της περιοχής ενδιαφέροντος. Εξασφαλίζει, έτσι, σημαντικά μικρότερο χρόνο ακτινοβολήσης και, αντίστοιχα, περιορίζει αρκετά την ταλαιπωρία του ασθενούς (14,19,23,25). Είναι περισσότερο επιρρεπής σε τεχνικά σφάλματα, συγκριτικά με την τρισδιάστατη αξονική τομογραφία (CT), παρουσιάζοντας μεγαλύτερο θόρυβο, χαμηλή αντίθεση σε μαλακούς ιστούς και λιγότερο ομοιόμορφες απεικονίσεις. Ωστόσο, υπερτερεί ως προς τη διάκριση μικρών διακυμάνσεων στο μέγεθος των εξεταζόμενων ανατομικών μορίων και ως προς την ανίχνευση οστικών μεταβολών (11,19,23). Ταυτόχρονα, πλεονεκτεί εμφανίζοντας μικρότερο κόστος και χαμηλότερη δόση ακτινοβολίας από την CT (11,13,14). Χρησιμοποιείται αφενός στη διαγνωστική και σχεδιαστική διαδικασία ασυμμετριών του προσώπου, μέσω της δημιουργίας ενός εικονικού τρισδιάστατου ασθενή από τα δεδομένα της CBCT, και αφετέρου στην προεγχειρητική εκτίμηση των θεραπευτικών τους αποτελεσμάτων. Συμβάλλει στη διάκριση μεταξύ μονόπλευρης και αμφίπλευρης απόκλισης των ασυμμετριών αυτών σε ασθενείς, που χρήζουν ορθογναθικής χειρουργικής, βελτιώνοντας, παράλληλα, τη διαφορική διάγνωση κρανιοπροσωπικών ανωμαλιών και συνδρόμων (11,14) (Εικόνα 3).

#### Υποβοηθούμενες από υπολογιστή κατασκευαστικές διαδικασίες

Αρχικά, η υπό μελέτη περιοχή σαρώνεται, μέσω αξονικών τομογραφιών, και ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής, με ένα ειδικό κατασκευαστικό λογισμικό, καθοδηγεί εξειδικευμένους εκτυπωτές τριών διαστάσεων, για τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου στερεολιθογραφικού μοντέλου μελέτης (12,27,28,29). Με το μοντέλο αυτό είναι δυνατή η προεγχειρητική αξιολόγηση, η εικονική σχεδίαση και πρόβλεψη του θεραπευτικού αποτελέσματος, η καλύτερη επικοινωνία μεταξύ θεράποντος και ασθενούς, καθώς και η κατασκευή εξατομικευμένων χειρουργικών συσκευών (12,29). Εξατομικευμένοι χειρουργικοί νάρθηκες, οδηγοί οστεοτομίας, πλάκες σταθεροποίησης και εμφυτεύματα κατασκευάζονται, μέσω συστημάτων CAD/CAM (Computer-aided design / Computer-aided manufacturing), και εφαρμόζονται διεγχειρητικά ως εργαλεία καθοδήγησης, για τη μεταφορά των αποτελεσμάτων του εικονικού σχεδιασμού στο χειρουργικό πεδίο, σε συνδυασμό, συνήθως, με συστήματα χειρουργικής καθοδήγησης (11,14,27,30,31). Έτσι, εξασφαλίζεται ακρίβεια, αξιοπιστία και μετεγχει-



**Εικ. 3:** Αξονική τομογραφία κωνικής δέσμης (σάρωση 360° κατά την οποία η πηγή των ακτίνων Χ και ένας αντίστοιχος ανιχνευτής της περιοχής κινούνται συγχρονισμένα γύρω από την κεφαλή του ασθενούς (26)

**Fig. 3:** Cone Beam Computed Tomography (CBCT) (360° scan, in which the X-ray source and a corresponding area detector move synchronously around the patient's head) (26)

and a computer, with a specific fabrication software, guides specialized 3D printers to create a 3D stereolithographic study model (12,27,28,29). With this model, it is possible to perform preoperative evaluation, virtual surgical planning and prediction of the treatment outcome, better communication between therapist and patient, and the construction of personalized surgical devices (12,29). Personalized surgical splints, osteotomy cutting guides, stabilization plates and implants are manufactured, via computer-aided designing/computer-aided manufacturing (CAD/CAM) systems, and applied intraoperatively as guidance tools to transfer the results of virtual design to the actual surgery, usually in combination with operational guidance systems (11,14,27,30,31). This ensures accuracy, reliability and postoperative patient satisfaction, substantially reducing the intraoperative time and potential errors of the conventional approach and preventing deviation from the intended treatment plan (10,12,14,21,27,29,31).

#### Combination of two and/or more imaging techniques

The combination of 3D imaging devices can guide clinicians in selecting the most appropriate technique, in order to collect the intended data from different tissues, such as the facial bones, extraoral soft tissues, teeth and mucosa. It can be applied for the creation of a "virtual 3D patient", so that orthodontists and maxillofacial surgeons can assess the patient's craniofacial skeleton, as well as soft tissues in a unified manner, providing advanced planning and outcome prediction of the treatment. The challenge in combining multiple imaging techniques is the superimposition of information from separate devices and in various file formats. Indicative combinations of imaging modalities include: stereophotogrammetry combined with cone beam computed tomography (CBCT), the combination of intra- and extra-



ρητική ικανοποίηση του ασθενούς, περιορίζοντας ουσιαστικά το διεγχειρητικό χρόνο και τα πιθανά σφάλματα της συμβατικής προσέγγισης και αποτρέποντας την απόκλιση από το προβλεπόμενο σχέδιο θεραπείας (10,12,14,21,27,29,31).

### Συνδυασμός δύο ή/και περισσότερων απεικονιστικών τεχνικών

Ο συνδυασμός συσκευών τρισδιάστατης απεικόνισης μπορεί να βοηθήσει τους κλινικούς ιατρούς στην επιλογή της καταλληλότερης τεχνικής, για τη συλλογή των προβλεπόμενων δεδομένων από διαφορετικούς ιστούς, όπως ο σκελετός του προσώπου, οι εξωστοματικοί μαλακοί ιστοί, τα δόντια και οι βλεννογόνοι. Μπορεί να εφαρμοστεί για τη δημιουργία ενός «εικονικού τρισδιάστατου ασθενούς», ώστε οι ορθοδοντικοί και οι γναθοπροσωπικοί χειρουργοί να μπορούν να αξιολογήσουν τον κρανιοπροσωπικό σκελετό και τους μαλακούς ιστούς του ασθενούς ενιαία, παρέχοντας προηγμένη σχεδίαση και πρόβλεψη του θεραπευτικού αποτελέσματος. Η πρόκληση στον συνδυασμό πολλαπλών απεικονίσεων είναι η υπέρθεση πληροφοριών από διαφορετικές συσκευές και σε διαφορετικές μορφές αρχείων. Ενδεικτικοί συνδυασμοί απεικονιστικών μεθόδων είναι: η στερεοφωτογραμμετρία με την αξονική τομογραφία κωνικής δέσμης (CBCT), ο συνδυασμός ενδοστοματικών και εξωστοματικών σαρωτών και CBCT, καθώς και ενδοστοματικών σαρωτών, αξονικής τομογραφίας τριών διαστάσεων (CT) και στερεοσκοπικής φωτογραφίας (stereo camera) (11,19).

### Τεχνικές του μέλλοντος (που έχουν ήδη αρχίσει να βρίσκουν κλινική εφαρμογή)

#### 1. Οπτική ανάλυση τεσσάρων διαστάσεων

Η οπτική ανάλυση τεσσάρων διαστάσεων (4D video stereophotogrammetry) επιτρέπει την καταγραφή δυναμικών κινήσεων του ανθρώπινου προσώπου και την ανάλυση των δυναμικών εκφράσεων του προσώπου (11,32). Εφαρμόζεται στην ορθογναθική χειρουργική για την ανάδειξη της ασυμμετρίας, κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης διαφόρων εκφράσεων του προσώπου. Σταδιακά, παρατηρείται η ανάπτυξη της δημιουργίας ενός εικονικού, κινούμενου ασθενή τεσσάρων διαστάσεων σε πραγματικό χρόνο (11).

#### 2. Αξιοποίηση συστημάτων χειρουργικής καθοδήγησης υποβοηθούμενων από τον υπολογιστή, σε πραγματικό χρόνο

Τα συστήματα χειρουργικής καθοδήγησης εφαρμόζονται διεγχειρητικά και παρέχουν στον επεμβαίνοντα τη δυνατότητα παρακολούθησης της ενδεδειγμένης μεταβολής και προσαρμογής της γνώθου σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας την πιθανότητα χειρουργικών σφαλμάτων και επιπλοκών σε ασθενείς με ασυμμετρίες προσώπου (21,27,33). Ο βασικός εξοπλισμός περιλαμβάνει μία συσκευή αναγνώρισης, ένα σύστημα παρακολούθη-

oral scanners and CBCT, as well as intra-oral scanners, three-dimensional computed tomography (CT) and stereoscopic photography (stereo camera) (11,19).

### Techniques of the future (which have already started finding clinical application)

#### 1. Four-dimensional (4D) Video Stereophotogrammetry

4D video stereophotogrammetry allows the recording of dynamic facial movements and the analysis of dynamic facial expressions (11,32). It is used in orthognathic surgery to highlight asymmetry, during the realization of various facial expressions. Progressively, the development of creating a 4D, moving virtual patient in real time is observed (11).

#### 2. Real-time computer-assisted intraoperative surgical navigation

Surgical navigation systems are applied intraoperatively and allow the surgeon to monitor the appropriate jaw modification and adjustment in real time, reducing the possibility of surgical errors and complications in patients with facial asymmetries (21,27,33). The standard equipment includes an identification device, a monitoring system, a computer and a screen for visualizing the captured images. Infrared cameras, detectors and computer algorithms, deriving data from laser scanners, CT scans or other imaging techniques, are used to track the positioning and movement of the surgical tools, as well as the patient's anatomy. These images ensure for the surgeon high accuracy in calculating the necessary surgical movements during osteotomies and in performing the required changes. The recording is based on light-reflecting markers placed in the tracked region, providing reliability, good functionality in the operating room and a significant reduction in intraoperative time. A prerequisite, of course, for the application of these systems is the preoperative planning of navigation (27), while their high cost and limited availability are defined as drawbacks of the procedure (21,27,31).

#### 3. Telemedicine

It is a type of remote medical treatment, which uses information and communication technologies (34). The equipment required is simple and usually consists of a computer linked to a digital camera, a microphone and speakers (35). It connects one or several health professionals, either with other health practitioners or with patients, facilitating the exchange of medical data and, thus, the diagnosis, planning and selection of the appropriate treatment (11,34). Telemedicine is essential in taking collegial decisions on real-time patients' therapeutic management, promoting distance learning at academic level and ensuring the appropriate surgical preparation (34). Finally, its contribution during the COVID-19 pandemic was pivotal, significantly reducing the exposure of medical staff to infectious agents (35).

σης, έναν υπολογιστή και μία οθόνη οπτικοποίησης των λήψεων. Υπέρυθρες κάμερες, ανιχνευτές και αλγόριθμοι υπολογιστών, αντλώντας δεδομένα από σαρωτές laser, αξονικές τομογραφίες ή άλλες απεικονιστικές τεχνικές, χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της τοποθέτησης και της κίνησης του χειρουργικού εξοπλισμού, καθώς και της ανατομίας του ασθενούς. Οι απεικονίσεις αυτές εξασφαλίζουν για τον χειρουργό υψηλή ακρίβεια στον υπολογισμό των απαραίτητων επεμβατικών κινήσεων, κατά τις οστεοτομίες, και στην πραγματοποίηση των απαιτούμενων αλλαγών. Η καταγραφή βασίζεται σε φωτοανακλαστικούς δείκτες, τοποθετημένους στην υπό παρακολούθηση περιοχή, παρέχοντας αξιοπιστία, καλή λειτουργικότητα στο επεμβατικό πεδίο και σημαντική μείωση του διεγχειρητικού χρόνου. Προϋπόθεση, βέβαια, για την εφαρμογή των συγκεκριμένων συστημάτων αποτελεί ο προεγχειρητικός σχεδιασμός της καθοδήγησης (27), ενώ το υψηλό κόστος και η περιορισμένη διαθεσιμότητα αυτών αποτελούν μειονεκτήματα της διαδικασίας (21,27,31).

### 3. Τηλεϊατρική

Πρόκειται για μια μορφή εξ αποστάσεως ιατρικής παρακολούθησης, που χρησιμοποιεί τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνίας (34). Ο απαιτούμενος εξοπλισμός είναι απλός και, συνήθως, αποτελείται από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή, συνδεδεμένο με μία ψηφιακή κάμερα, ένα μικρόφωνο και ηχεία (35). Συνδέει έναν ή περισσότερους επαγγελματίες υγείας, είτε με άλλους επαγγελματίες υγείας είτε με ασθενείς, διευκολύνοντας την ανταλλαγή ιατρικών δεδομένων και, άρα, τη διάγνωση, την σχεδίαση και την επιλογή της κατάλληλης θεραπευτικής αντιμετώπισης (11,34). Η τηλεϊατρική συμβάλλει καθοριστικά στη λήψη συλλογικών αποφάσεων σχετικά με τη θεραπευτική διαχείριση των ασθενών σε πραγματικό χρόνο, προωθεί την εξ αποστάσεως εκπαίδευση σε ακαδημαϊκό επίπεδο και εξασφαλίζει την κατάλληλη επεμβατική προετοιμασία (34). Τέλος, η συνεισφορά της κατά τη διάρκεια της πανδημίας COVID-19 ήταν κομβική, περιορίζοντας σημαντικά την έκθεση του ιατρονοσηλευτικού προσωπικού σε λοιμογόνους παράγοντες (35).

### 4. Ρομποτική χειρουργική

Ιατρικά ρομπότ έχουν εφαρμοστεί σε διάφορα επεμβατικά πεδία, εμφανίζοντας αρκετά πλεονεκτήματα, όπως η υπέρβαση των περιορισμών του ανθρώπινου παράγοντα, η ελάχιστη επεμβατική χειρουργική, η χαμηλή μετεγχειρητική ενόχληση και η σύντομη παραμονή στο νοσοκομείο. Στην ορθογναθική χειρουργική, ρομποτικά συστήματα θα μπορούσαν στο μέλλον να συμμετέχουν σε περιπτώσεις οστεοτομίας και επανοτοποθέτησης του οστεοτομημένου τμήματος, μειώνοντας την πιθανότητα διεγχειρητικού σφάλματος και παρουσιάζοντας αυξημένη ακρίβεια, σταθερότητα

### 4. Robot-assisted (Robotic) Surgery

Medical robots have been applied in different surgical fields, showing several advantages, like overcoming the human factor limitations, minimally invasive surgery, low patient's discomfort postoperatively and short stay in the hospital. In orthognathic surgery, robotic systems could in the future be involved in cases of osteotomy and relocation of the osteotomized segment, reducing the possibility of intraoperative error and showing increased accuracy, stability and repeatability. However, their use requires a spacious operating room, in order to set the robotic system, as well as preparation time, both inside and outside the operating room, for its programming and manipulation. Currently, however, they are used during preoperative planning to simulate the surgical procedure in 3D models of the face (36,37).

## CONCLUSIONS

Orthognathic surgery is a demanding procedure, the success of which relies on careful preoperative planning, precise intraoperative transfer and implementation of the prescribed treatment planning, as well as postoperative follow-up (28,29,38). The accuracy of this procedure is cited as the most influential factor in its outcome and patient's satisfaction, being further influenced by the time and experience of the practitioner (36,39). Thoroughness and stability during osteotomy, repositioning and immobilization are of utmost importance for repairing maxillofacial function and appearance, as well as protecting the surrounding anatomical structures during orthognathic surgery (37). Modern imaging techniques, 3D virtual planning and 3D surgical simulation determine the progress of the surgery through their contribution to diagnosis and treatment planning, as well as to the case follow-up, the therapists' better communication and the evaluation of the therapeutic outcome (11,16,40). 3D surgical simulation, in particular, has the capacity to ensure better prediction of the treatment outcomes and to enhance the achievement of a balanced, symmetrical facial appearance (16). In conclusion, the application of modern technological tools in the field of orthognathic surgery contributes to the creation of more accurate treatment planning, the reduction of treatment planning time and the improvement of surgical outcomes, providing safety, reliability and a high level of medical care (39).

και επαναληψιμότητα. Ωστόσο, η χρήση τους απαιτεί επιπλέον χώρο στο χειρουργικό θάλαμο, για τη φιλοξενία του ρομποτικού συστήματος, καθώς και χρόνο προετοιμασίας, εντός και εκτός της χειρουργικής αίθουσας, για τον προγραμματισμό και τον χειρισμό του. Προς το παρόν, πάντως, χρησιμοποιούνται κατά τον προεγχειρητικό σχεδιασμό, για την προσομοίωση της επεμβατικής διαδικασίας σε τρισδιάστατα μοντέλα του προσώπου (36,37).

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ορθογναθική χειρουργική αποτελεί μια απαιτητική διαδικασία, της οποίας η επιτυχία βασίζεται στον αυστηρό προεγχειρητικό σχεδιασμό, στην ακριβή διεγχειρητική μεταφορά και εφαρμογή του προβλεπόμενου σχεδίου θεραπείας, καθώς και στη μετεγχειρητική παρακολούθηση (28,29,38). Η ακρίβεια της διαδικασίας αυτής αναφέρεται ως ο πλέον επιδραστικός παράγοντας για την έκβασή της και την ικανοποίηση του ασθενούς, επηρεαζόμενη, επιπλέον, από το χρόνο και την εμπειρία του επεμβαίνοντος (36,39). Η λεπτομέρεια και σταθερότητα κατά την οστεοτομία, την ανάταξη και την ακινητοποίηση φέρουν καταλυτική σημασία στην αποκατάσταση της γναθοπροσωπικής λειτουργίας και της εμφάνισης, καθώς και στην προστασία των παρακείμενων ανατομικών δομών κατά τη διάρκεια της ορθογναθικής επέμβασης (37). Τα σύγχρονα απεικονιστικά μέσα, ο εικονικός τρισδιάστατος σχεδιασμός και η χειρουργική προσομοίωση τριών διαστάσεων καθορίζουν την εξέλιξη της επέμβασης, μέσω της συμβολής τους αφενός στη διάγνωση και στην σχεδίαση της θεραπείας και αφετέρου στην παρακολούθηση του περιστατικού, στην καλύτερη επικοινωνία μεταξύ των θεραπόντων και στην αξιολόγηση του θεραπευτικού αποτελέσματος (11,16,40). Η τρισδιάστατη χειρουργική προσομοίωση, συγκεκριμένα, έχει τη δυνατότητα να εξασφαλίζει καλύτερη πρόβλεψη των θεραπευτικών αποτελεσμάτων και να ενισχύει την επίτευξη μιας ισορροπημένης, συμμετρικής όψης του προσώπου (16). Συμπερασματικά, η εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογικών μέσων στον τομέα της ορθογναθικής χειρουργικής συνεισφέρει στη δημιουργία ακριβέστερων θεραπευτικών σχεδίων, στη μείωση του χρόνου σχεδιασμού της θεραπείας και στη βελτίωση των χειρουργικών αποτελεσμάτων, παρέχοντας ασφάλεια, αξιοπιστία και υψηλό επίπεδο ιατρικής περιθάλψης (39).

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ/REFERENCES

- Bahmanyar S, Namin AW, Weiss RO 2nd, Vincent AG, Read-Fuller AM, Reddy LV. Orthognathic Surgery of the Mandible. *Facial Plast Surg*. 2021 Dec;37(6):716-721. doi: 10.1055/s-0041-1735309. Epub 2021 Sep 29. PMID: 34587642.
- Zammit D, Ettlinger RE, Sanati-Mehrziy P, Susarla SM. Current Trends in Orthognathic Surgery. *Medicina (Kaunas)*. 2023 Nov 30;59(12):2100. doi: 10.3390/medicina59122100. PMID: 38138203; PMCID: PMC10744503.
- Tabchi Y, Zaoui F, Bahoum A. Accuracy of hard and soft tissue prediction using three-dimensional simulation software in bimaxillary osteotomies: A systematic review. *Int Orthod*. 2023 Dec;21(4):100802. doi: 10.1016/j.ortho.2023.100802. Epub 2023 Jul 25. PMID: 37499444.
- Baan F, van Meggelen EM, Verhulst AC, Bruggink R, Xi T, Maal TJJ. Virtual occlusion in orthognathic surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2021 Sep;50(9):1219-1225. doi: 10.1016/j.ijom.2020.12.006. Epub 2020 Dec 25. PMID: 33358521.
- Starch-Jensen T, Hernández-Alfaro F, Kesmez Ö, Gorgis R, Valls-Ontañón A. Accuracy of Orthognathic Surgical Planning using Three-dimensional Virtual Techniques compared with Conventional Two-dimensional Techniques: a Systematic Review. *J Oral Maxillofac Res*. 2023 Mar 31;14(1):e1. doi: 10.5037/jomr.2023.14101. PMID: 37180406; PMCID: PMC10170664.
- Alkhayer A, Piffkó J, Lippold C, Segatto E. Accuracy of virtual planning in orthognathic surgery: a systematic review. *Head Face Med*. 2020 Dec 4;16(1):34. doi: 10.1186/s13005-020-00250-2. PMID: 33272289; PMCID: PMC7716456.
- Cao RK, Li LS, Cao YJ. Application of three-dimensional technology in orthognathic surgery: a narrative review. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2022 Nov;26(21):7858-7865. doi: 10.26355/eurrev\_202211\_30137. PMID: 36394734.
- Ritto FG, Schmitt ARM, Pimentel T, Canellas JV, Medeiros PJ. Comparison of the accuracy of maxillary position between conventional model surgery and virtual surgical planning. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2018 Feb;47(2):160-166. doi: 10.1016/j.ijom.2017.08.012. Epub 2017 Sep 23. PMID: 28950997.
- Pandian SM, Gandedkar NH, Kumar Palani S, Kim YJ, Adel SM. An integrated 3D-driven protocol for surgery first orthognathic approach (SFOA) using virtual surgical planning (VSP). *In Seminars in Orthodontics* 2022 Dec 1 (Vol. 28, No. 4, pp. 320-333). WB Saunders.
- Thawni SR, Paul P, Reche A, Rath HP. 3D Technology Used for Precision in Orthodontics. *Cureus*. 2023 Oct 17;15(10):e47170. doi: 10.7759/cureus.47170. PMID: 38022318; PMCID: PMC10652056.
- Erten O, Yilmaz BN. Three-Dimensional Imaging in Orthodontics. *Turk J Orthod*. 2018 Sep;31(3):86-94. doi: 10.5152/Turk-JOrthod.2018.17041. Epub 2018 Apr 11. PMID: 30206567; PMCID: PMC6124883.
- Lin HH, Lonic D, Lo LJ. 3D printing in orthognathic surgery - A literature review. *J Formos Med Assoc*. 2018 Jul;117(7):547-558. doi: 10.1016/j.jfma.2018.01.008. Epub 2018 Feb 3. PMID: 29398097.
- Pittayapat P, Limchaichana-Bolstad N, Willems G, Jacobs R. Three-dimensional cephalometric analysis in orthodontics: a systematic review. *Orthod Craniofac Res*. 2014 May;17(2):69-91. doi: 10.1111/ocr.12034. Epub 2013 Dec 22. PMID: 24373559.
- Lo LJ, Lin HH. Applications of three-dimensional imaging techniques in craniomaxillofacial surgery: A literature review. *Biomed J*. 2023 Aug;46(4):100615. doi: 10.1016/j.bj.2023.100615. Epub 2023 Jun 19. PMID: 37343928; PMCID: PMC10339193.
- Devanna R. Two-dimensional to three-dimensional: a new three-dimensional cone-beam computed tomography cephalometric analysis. *J Orthod Res* 2015;3:30e7.
- Udomlarpham N, Lin CH, Wang YC, Ko EW. Does two-dimensional vs. three-dimensional surgical simulation produce better surgical outcomes among patients with class III facial

- asymmetry? *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2018 Aug;47(8):1022-1031. doi: 10.1016/j.ijom.2018.02.014. Epub 2018 Mar 30. PMID: 29606563.
17. Schwendicke F, Chaurasia A, Arsiwala L, Lee JH, Elhennawy K, Jost-Brinkmann PG, Demarco F, Krois J. Deep learning for cephalometric landmark detection: systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Investig.* 2021 Jul;25(7):4299-4309. doi: 10.1007/s00784-021-03990-w. Epub 2021 May 27. PMID: 34046742; PMCID: PMC8310492.
  18. STEPHEN A, SCHENDEL SA, JACOBSON R : Three-Dimensional Imaging and Computer Simulation For Office-Based Surgery, *J Oral Maxillofac Surg* 2009, 67:2107-2114
  19. Hou X, Xu X, Zhao M, Kong J, Wang M, Lee ES, Jia Q, Jiang HB. An overview of three-dimensional imaging devices in dentistry. *J Esthet Restor Dent.* 2022 Dec;34(8):1179-1196. doi: 10.1111/jerd.12955. Epub 2022 Aug 15. PMID: 35968802.
  20. Mozaffari MH, Lee WS. Freehand 3-D Ultrasound Imaging: A Systematic Review. *Ultrasound Med Biol.* 2017 Oct;43(10):2099-2124. doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2017.06.009. Epub 2017 Jul 14. PMID: 28716431.
  21. Alhabshi MO, Aldhohayan H, BaEissa OS, Al Shehri MS, Alo-taibi NM, Almubarak SK, Al Ahmari AA, Khan HA, ALOWAIMER HA. Role of Three-Dimensional Printing in Treatment Planning for Orthognathic Surgery: A Systematic Review. *Cureus.* 2023 Oct 30;15(10):e47979. doi: 10.7759/cureus.47979. PMID: 38034130; PMCID: PMC10686238.
  22. Maspero C, Abate A, Bellincioni F, Cavagnetto D, Lanteri V, Costa A, Farronato M. Comparison of a tridimensional cephalometric analysis performed on 3T-MRI compared with CBCT: a pilot study in adults. *Prog Orthod.* 2019 Oct 21;20(1):40. doi: 10.1186/s40510-019-0293-x. PMID: 31631241; PMCID: PMC6801285.
  23. Lechuga L, Weidlich GA. Cone Beam CT vs. Fan Beam CT: A Comparison of Image Quality and Dose Delivered Between Two Differing CT Imaging Modalities. *Cureus.* 2016 Sep 12;8(9):e778. doi: 10.7759/cureus.778. PMID: 27752404; PMCID: PMC5063198.
  24. TROULIS MJ, EVERETT P, SELDIN EB, KIKINIS R, KABAN LB : Development of a three-dimensional treatment planning system based on computed tomographic data, *J. Oral Maxillofac. Surg.* 2002, 31: 349-357
  25. Dalessandri D, Laffranchi L, Tonni I, Zotti F, Piacino MG, Paganelli C, Bracco P. Advantages of cone beam computed tomography (CBCT) in the orthodontic treatment planning of cleidocranial dysplasia patients: a case report. *Head Face Med.* 2011 Feb 27;7(6). doi: 10.1186/1746-160X-7-6. PMID: 21352577; PMCID: PMC3053235.
  26. BIANCHI A, MUYLDERMANS L, DI MARTINO M, LANCELLOTTI L, AMADORI S, SARTI A : Facial Soft Tissue Esthetic Predictions: Validation In Craniomaxillofacial Surgery With Cone Beam Computed Tomography Data, *J Oral Maxillofac Surg* 2010,68:1471-1479
  27. Lin HH, Lo LJ. Three-dimensional computer-assisted surgical simulation and intraoperative navigation in orthognathic surgery: a literature review. *J Formos Med Assoc.* 2015 Apr;114(4):300-7. doi: 10.1016/j.jfma.2015.01.017. Epub 2015 Mar 3. PMID: 25744942.
  28. Alkaabi S, Maningky M, Helder MN, Alsabri G. Virtual and traditional surgical planning in orthognathic surgery - systematic review and meta-analysis. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2022 Nov;60(9):1184-1191. doi: 10.1016/j.bjoms.2022.07.007. Epub 2022 Jul 29. PMID: 36030091.
  29. Karwowska NN, Baron M, Stern-Buchbinder Z, Buchbinder D. Computer-assisted planning and patient-specific plates in orthognathic surgery: a global study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2023 Dec;136(6):673-680. doi: 10.1016/j.oooo.2023.05.011. Epub 2023 May 21. PMID: 37612163.
  30. Bouletreau P, Makaremi M, Ibrahim B, Louvrier A, Sigaux N. Artificial Intelligence: Applications in orthognathic surgery. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg.* 2019 Sep;120(4):347-354. doi: 10.1016/j.jomas.2019.06.001. Epub 2019 Jun 26. PMID: 31254637.
  31. Pascal E, Majoufre C, Bondaz M, Courtemanche A, Berger M, Bouletreau P. Current status of surgical planning and transfer methods in orthognathic surgery. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg.* 2018 Jun;119(3):245-248. doi: 10.1016/j.joramas.2018.02.001. Epub 2018 Feb 22. PMID: 29476926.
  32. Hallac RR, Feng J, Kane AA, Seaward JR. Dynamic facial asymmetry in patients with repaired cleft lip using 4D imaging (video stereophotogrammetry). *J Craniomaxillofac Surg.* 2017 Jan;45(1):8-12. doi: 10.1016/j.jcms.2016.11.005. Epub 2016 Nov 17. PMID: 28011182.
  33. Van den Bempt M, Liebrechts J, Maal T, Bergé S, Xi T. Toward a higher accuracy in orthognathic surgery by using intraoperative computer navigation, 3D surgical guides, and/or customized osteosynthesis plates: A systematic review. *J Craniomaxillofac Surg.* 2018 Dec;46(12):2108-2119. doi: 10.1016/j.jcms.2018.10.012. Epub 2018 Oct 21. PMID: 30420150.
  34. Ambroise B, Benateau H, Prevost R, Traore H, Hauchard K, Dia H, Veysière A. The contribution of telemedicine to humanitarian surgery. *J Craniomaxillofac Surg.* 2018 Aug;46(8):1368-1372. doi: 10.1016/j.jcms.2018.05.037. Epub 2018 May 21. PMID: 29884315.
  35. Robiony M, Bocin E, Sembronio S, Costa F, Bresadola V, Tel A. Redesigning the Paradigms of Clinical Practice for Oral and Maxillofacial Surgery in the Era of Lockdown for COVID-19: From Tradition to Telesemeiology. *Int J Environ Res Public Health.* 2020 Sep 11;17(18):6622. doi: 10.3390/ijerph17186622. PMID: 32932911; PMCID: PMC7557395.
  36. Han JJ, Woo SY, Yi WJ, Hwang SJ. Robot-Assisted Maxillary Positioning in Orthognathic Surgery: A Feasibility and Accuracy Evaluation. *J Clin Med.* 2021 Jun 11;10(12):2596. doi: 10.3390/jcm10122596. PMID: 34208399; PMCID: PMC8231103.
  37. Wu J, Hui W, Huang J, Luan N, Lin Y, Zhang Y, Zhang S. The Feasibility of Robot-Assisted Chin Osteotomy on Skull Models: Comparison with Surgical Guides Technique. *J Clin Med.* 2022 Nov 17;11(22):6807. doi: 10.3390/jcm11226807. PMID: 36431284; PMCID: PMC9696640.
  38. Ho CT, Lai HC, Lin HH, Denadai R, Lo LJ. Outcome of full digital workflow for orthognathic surgery planning in the treatment of asymmetric skeletal class III deformity. *J Formos Med Assoc.* 2021 Dec;120(12):2100-2112. doi: 10.1016/j.jfma.2021.05.014. Epub 2021 Jun 3. PMID: 34092467.
  39. Antonini F, Borba AM, Pagnoncelli RM, Han M, Markiewicz MR, Miloro M. Does a learning curve exist for accuracy in three-dimensional planning for maxillary positioning in bimaxillary orthognathic surgery? *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2020 Jun;49(6):787-793. doi: 10.1016/j.ijom.2019.10.005. Epub 2019 Nov 7. PMID: 31706714.
  40. Van Hemelen G, Van Genechten M, Renier L, Desmedt M, Verbruggen E, Nadjmi N. Three-dimensional virtual planning in orthognathic surgery enhances the accuracy of soft tissue prediction. *J Craniomaxillofac Surg.* 2015 Jul;43(6):918-25. doi: 10.1016/j.jcms.2015.04.006. Epub 2015 Apr 30. PMID: 26027866.

Διεύθυνση επικοινωνίας:

**Κολόμβος Νικόλαος**

Σιβιτανίδου 18, 176 75, Καλλιθέα, Αττική

Τηλ.: +30 6944838858

e-mail: ngcolon1@gmail.com

Adress:

**Kolomvos Nikolaos**

18 Sivitanidou Str., 176 75, Kallithea, Attica

Tel: +30 6944838858

e-mail: ngcolon1@gmail.com