

Pianificazione Implantare Digitale e Chirurgia Computer Guidata

IAO - Italian Academy of Osseointegration

Stefano Storelli e Sergio Piano

Indice:

1. Introduzione
2. Radiologia in implantologia
3. Studio digitale del caso e programmazione
 - scelta del software informatico
 - accoppiamento in chirurgia guidata
4. Chirurgia con o senza lembo d'accesso
5. Precisione della chirurgia guidata
 - studi sulla precisione
 - studi sulla sopravvivenza
 - complicanze
6. Complicanze
7. Vantaggi e Svantaggi
8. Conclusioni
9. Bibliografia

1. INTRODUZIONE

La chirurgia computer guidata è una tecnica che, sfruttando la radiologia tridimensionale e complessi software di programmazione, permette la pianificazione dell'intervento chirurgico nei minimi dettagli. Basandosi su indagini radiografiche volumetriche, il clinico può, attraverso software dedicati, pianificare il posizionamento impianti in maniera precisa e senza la concitazione dell'atto chirurgico.

Il primo impiego della chirurgia computer-assistita è stato in neurochirurgia (Roberts 1986) ed in seguito è stato esteso all'ambito della chirurgia maxillo-facciale (Hassfeld 2001). In campo odontoiatrico, invece, la sua introduzione è avvenuta solamente in tempi molto recenti, dapprima come ausilio in campo gnatolgico, e solo successivamente in campo chirurgico per l'implantologia, per le procedure di distrazione osteogenica, per lo studio di tracciati osteotomici a fini ricostruttivi, e per la rimozione di corpi estranei (Ewers 2005).

Nel Consensus ITI del 2008 (Hammerle 2009), sono state distinte due categorie di chirurgia computer-guidata:

- Chirurgia computer-guidata statica: prevede l'utilizzo di una guida chirurgica statica che riproduce la posizione virtuale degli impianti precedentemente pianificata tramite fasi computerizzate e questa metodica non permette modifiche intraoperatorie.
- Chirurgia computer-guidata dinamica: prevede l'utilizzo di un sistema di navigazione chirurgica, che riproduce in tempo reale la posizione delle frese nelle 3 dimensioni su un monitor permettendo modifiche intraoperatorie.

Le due sistematiche hanno processi di produzione differenti, con alcune similitudini: per esempio entrambe passano attraverso una pianificazione computerizzata del posizionamento implantare, mentre, al contrario, hanno guide diagnostiche e chirurgiche completamente differenti. La versione statica, comporta l'esecuzione di dime radiologiche che duplicano la futura dentatura del paziente e la visualizzazione della TAC su computer. Dalla pianificazione si produrranno dime chirurgiche rigide, generalmente in materiale plastico, che vengono posizionate in bocca al paziente. La chirurgia avverrà utilizzando dei passaggi metallici all'interno della guida; per mezzo di riduttori di diametro, sarà possibile utilizzare frese di diametro differente con o senza stop di profondità. La chirurgia avviene quindi secondo il piano preposto in maniera "cieca" e non può essere modificato, a meno di abbandonare la chirurgia guidata e procedere con chirurgia tradizionale.

La chirurgia dinamica, invece, si basa su un processo maggiormente evoluto. Il paziente esegue la tac con una particolare mascherina diagnostica e con reperi craniali extraorali dotati di sensori ad infrarossi. La pianificazione degli impianti avviene in maniera simile ai software utilizzati per la versione statica. L'atto chirurgico, invece, si basa su un macchinario complesso, dotato di telecamere ad infrarosso, che legge non solo i reperi craniali del paziente, ma anche reperi montati sul manipolo chirurgico. Questo complesso fa sì che a monitor sia visibile in diretta, la posizione nello spazio della fresa rispetto alla cresta alveolare. Non si adoperano guide chirurgiche statiche, ma sul monitor viene visualizzata in diretta la tac del paziente e la posizione della fresa osteotomica, in modo da guidare il clinico in maniera navigata verso l'esecuzione della chirurgia. Questa sistematica prevede la possibilità di effettuare modifiche intraoperatorie, proprio grazie alla duttilità della visualizzazione in diretta. In questo caso, la chirurgia non è più cieca, ma visualizza anche l'esatta posizione della fresa nelle 3 dimensioni dello spazio, permettendo al clinico di ottimizzare la posizione implantare ed evitare strutture anatomicamente rilevanti.

2. RADIOLOGIA IN IMPLANTOLOGIA

Per eseguire un'implantologia affidabile e predicibile frequentemente il clinico deve sottoporre il paziente ad esami radiografici di primo e spesso anche secondo livello. Per minimizzare il rischio del paziente sottoposto a radiazioni ionizzanti è di fondamentale importanza l'adesione al principio ALARA (As Low As Reasonably Achievable – tanto basso quanto ragionevolmente possibile) in modo da ottenere tutte le informazioni necessarie al trattamento con la minor dose di radiazione possibile.

Le informazioni radiografiche di cui il clinico necessita sono:

- altezza e spessore osseo
- qualità ossea
- eventuali patologie a carico di denti residui in caso di edentulie parziali
- posizione di strutture anatomiche quali vasi e nervi che potrebbero essere lesi durante le manovre chirurgiche

Per effettuare questa attenta valutazione il clinico ha a disposizione numerosi esami strumentali di tipo radiografico.

Le indagini di primo livello (radiografie endorali, radiografia panoramica) servono a dare una prima valutazione anche se approssimativa dei tessuti duri. La tecnologia digitale può offrire al paziente un dosaggio inferiore ad inoltre presenta la possibilità di regolare la luminosità ed il contrasto delle immagini e una migliore archiviazione delle stesse in modo da essere facilmente condivise.

Con gli esami radiografici di primo livello non è possibile valutare i tessuti molli e gli adeguati volumi ossei, pertanto per una valutazione più precisa della qualità, dello spessore e dell'altezza dell'osso è necessario effettuare un esame tomografico.

La tomografia è al momento l'unico metodo che permette di ottenere stime attendibili sulle dimensioni dei settori edentuli destinati a divenire siti implantari. La tomografia visualizza inoltre l'angolazione e la forma del mascellare e del processo alveolare. Potrebbero essere utilizzate TC con tecnologia multistrato o fascio conico (tc cone beam o CBCT). La scala Hounsfield viene impiegata per determinare la qualità ossea. Infatti è stato indicato che la scala di grigi permette di determinare la qualità ossea reale del paziente. Questa correlazione è però vera solo se l'esame è eseguito con TC multislice, mentre se viene eseguito con una Cone Beam, tale correlazione non è più totalmente valida. Alcuni software radiologici riescono a fare delle compensazioni per rendere più realistico il dato, ma è comunque bene non fare affidamento solo sul dato della scala di grigi derivante da una CBCT.

Una indagine tridimensionale di buona qualità è condizione essenziale per poter pianificare correttamente un caso implantare in chirurgia guidata. La tomografia deve essere richiesta in formato digitale universale (DICOM) che permette la sua analisi e rielaborazione all'interno di software informatici.

3. STUDIO DIGITALE DEL CASO E PROGRAMMAZIONE

La programmazione dei casi implantari per chirurgia guidata si svolge in una serie di passaggi. Ciascun passaggio deve essere eseguito in maniera corretta e verificato più volte, in quanto piccoli errori in fase di programmazione sommati tra loro possono trasformarsi in gravi errori chirurgici.

Scelta del software informatico

Nel corso degli anni sono stati prodotti numerosi software di programmazione implantare. Esistono una serie di software che sono stati sviluppati o implementati da case implantari, al fine di fornire un nuovo prodotto ai loro clienti. Tali software sono spesso chiusi, ovvero permettono l'inserimento dei soli impianti della casa produttrice. Al contrario, esistono anche una serie di software che sono stati sviluppati da case indipendenti, che danno completa apertura verso le case implantari, in modo da poter posizionare qualsiasi impianto con lo stesso software. Altro aspetto importante da considerare è il processo di produzione delle mascherine che vengono costruite per mezzo di sistematiche CAD/CAM tramite fresatura, prototipazione rapida, stereolitografia o stampa 3d.

Accoppiamento in chirurgia guidata

La fase di accoppiamento in chirurgia guidata è un momento fondamentale nel coordinare i dati clinici del paziente con quelli derivanti dall'indagine tridimensionale radiografica (DICOM). Di fatto, la necessità è di dare al paziente delle coordinate spaziali in relazione alla futura posizione implantare. Questo processo permette di definire un piano di riferimento sul quale verranno generate le coordinate di posizionamento implantare, in relazione al paziente. Al momento esistono di fatto tre procedure che permettono questa sovrapposizione: dicom-modello, dicom-dicom (o doppia scansione) e dicom-stl;

Accoppiamento DICOM-Modello

Questa procedura prevede di passare da un modello in gesso del paziente per costruire su una dima radiologica con reperti radiopachi. Il modello viene calibrato su di un parallelometro di precisione in modo che i reperi siano posizionati su di un piano di riferimento in relazione al parallelometro. Tali reperi vengono poi riconosciuti all'interno del file DICOM dal software di programmazione che quindi può metterli in relazione al piano del modello e generare la sovrapposizione necessaria. Spesso tale procedura è seguita da un processo di produzione della dima chirurgica direttamente in laboratorio per mezzo di un parallelometro o di altri strumenti atti a replicare sul modello le coordinate implantari generate dal software.

Accoppiamento DICOM-DICOM

Denominata anche "doppia scansione", questa procedura è una delle più usate e documentate in letteratura (Vercruyssen 2008). Di fatto si basa sul principio di utilizzare una dima radiologica (o la protesi del paziente opportunamente modificata con reperi radiopachi), come parametro di

calibrazione. Verranno generati due volumi radiografici Dicom: il primo relativo al paziente che indossa la dima radiografica (o protesi con reperi) ed il secondo della sola dima. A questo punto il software interfaccia i reperi radiopachi tra i due dicom e genera la sovrapposizione tra i due volumi. Il Dicom della dima radiografica verrà anche utilizzata per produrre la dima chirurgica, trasformando il dato DICOM in un dato STL che permetterà poi la produzione con metodiche CAD CAM di stampa 3D. Una volta eseguita la programmazione sul software, le coordinate degli impianti verranno quindi messe in relazione alla dima radiologica che verrà poi trasformata in dima chirurgica.

Accoppiamento DICOM-STL

Questa procedura più recente si basa sulla sovrapposizione di un dato STL, ovvero di una impronta digitale. Nel formato STL vengono salvati i file relativi alle immagini tridimensionali di superfici, ed è quello che viene considerato lo standard internazionale per le impronte digitali, siano esse ottenute da scansioni intra-orali o da scansioni di modelli in gesso. Alcuni software per chirurgia guidata non supportano file universali come STL ma file chiusi generati da specifici scanner intraorali o da laboratorio, senza però modificare il razionale e la logica di accoppiamento.

Tale processo si basa sulla sovrapposizione del dato STL sul dato DICOM del paziente: si devono pertanto sovrapporre aree visibili contemporaneamente sia nell'impronta che nella radiografia. Le mucose orali non sono sufficientemente radiopache all'indagine radiografica per determinarne esattamente forma e volume. Pertanto tale accoppiamento si basa sulla sovrapposizione dei tessuti duri dentali: nei casi di edentulia totale si fa riferimento alla sovrapposizione di reperi che siano al tempo stesso radiopachi (per l'immagine DICOM) e di forma rilevabile allo scanner (per l'immagine STL). Pertanto non sono utilizzabili punti di guttaperca inseriti nella protesi. La generazione della dima chirurgica non avviene più trasformando il dato DICOM della dima radiologica (come avviene nel DICOM-DICOM o doppia scansione) ma disegnando in CAD appoggi mucosi e dentali in relazione alle necessità chirurgiche del paziente.

I vantaggi di queste procedure sono diversi, ma i principali vengono indentificati nel dare una maggior evidenza ai tessuti molli soprattutto nei casi di edentulie parziali e nel permettere cerature diagnostiche virtuali per mezzo di software cad/cam.

4. CHIRURGIA CON O SENZA LEMBO D'ACCESSO

Altro aspetto interessante della chirurgia guidata è la possibilità di riduzione dell'invasività chirurgica, evitando di eseguire dei lembi di accesso.

L'implantologia tradizionale prevede lo scollamento di un lembo a tutto spessore per poter visualizzare clinicamente l'osso residuo e poter posizionare l'impianto in maniera corretta, completamente circondato da almeno 1mm di osso. Grazie alle tecniche computer guidate, invece, è oggi possibile eseguire una tecnica flapless, poichè il posizionamento dell'impianto è stato definito a computer tramite l'analisi della TC e la mascherina chirurgica replica perfettamente tale posizionamento.

Nel consensus statement dell'ITI (Hammerle et al. 2009), si definisce la chirurgia flapless come quella in cui non viene sollevato un lembo muco-periostale, potendo così eseguire interventi estremamente mini invasivi, in cui vengono creati degli accessi mediante dei punch o mini incisioni. La chirurgia senza lembo ha diversi potenziali vantaggi, compreso la riduzione delle complicanze a livello del paziente (Nkenke et al, Fortin et al.), vale a dire gonfiore e dolore, la riduzione del sanguinamento intraoperatorio, la riduzione del tempo chirurgico, la conservazione di tessuti duri e molli e il mantenimento del letto vascolare.

Tuttavia, nonostante questi vantaggi, la tecnica senza lembo presenta anche diversi svantaggi tra cui: l'incapacità del chirurgo di visualizzare punti di reperi anatomici e le strutture vitali, il potenziale di trauma termico all'osso dovuta alla limitata irrigazione esterna durante la preparazione del sito implantare con chirurgia guidata, l'incapacità di visualizzare idealmente il punto finale verticale dell'impianto posizionamento (troppo coronale o troppo apicale), l'accesso ai contorni ossei per alveoloplastica è diminuito, impossibilità nell'eseguire una rigenerazione ossea se necessario, e incapacità di manipolare i tessuti molli circonferenziali garantendo le dimensioni ideali di mucosa cheratinizzata intorno all'impianto a cui bisogna sempre prestare molta attenzione. La tecnica flapless è stata inizialmente percepita come consigliabile a chirurghi implantari alle prime armi, ma in realtà diversi autori hanno riportato in letteratura che un risultato di successo spesso richiede esperienza clinica avanzata e attenta valutazione chirurgica, nonché la capacità del chirurgo di poter intervenire mediante lembi a tutto spessore, nel caso in cui si verificassero fenestrazioni ossee.

5. PRECISIONE DELLA CHIRURGIA GUIDATA

Studi sulla precisione

La revisione sistematica di Tahmaseb del 2014 ha analizzato i dati presenti in letteratura sulla precisione e sulla sopravvivenza implantare in chirurgia computer-guidata statica. Inoltre, sono state riportate anche le complicanze intraoperatorie e protesiche che comprendono: la frattura della dima durante la chirurgia, il cambio di programma per cause come l'insufficiente aperture del cavo orale,

una limitata stabilità primaria implantare, la necessità di ulteriori procedure di innesto, l'allentamento della vite protesica e la frattura della protesi.

Per l'analisi della precisione, 24 articoli hanno fornito informazioni utili sulla precisione della chirurgia implantare computer-guidata statica, di cui 14 erano studi clinici e 10 erano studi in vitro eseguiti su modello o su cadavere. In tutti gli studi è stata confrontata la posizione pianificata dell'impianto con la posizione reale dopo l'inserimento. Per il confronto sono stati usati diversi punti di misurazione:

- errore al punto di ingresso valutato al centro dell'impianto;
- errore all'apice valutato al centro dell'apice implantare;
- deviazione angolare;
- errore nell'altezza dell'impianto.

Gli errori in ingresso, all'apice e in altezza sono stati misurati in mm o μm , mentre la deviazione angolare è stata misurata in gradi. Il metodo più comune per valutare la deviazione dei punti di ingresso, dell'apice e dell'altezza è stato misurare la distanza effettiva tra i punti pianificati e i punti effettivi in 3D. Altri autori hanno invece misurato la deviazione tenendo conto degli assi x, y e z dove x è in senso bucco-linguale, y è in senso mesio-distale e z è in senso apico-coronale. In questi studi dove sono state utilizzate le misurazioni secondo gli assi x, y e z, i valori sono stati convertiti in deviazioni 3D per uniformare tutti i dati. I risultati ottenuti dal confronto dei dati sono stati i seguenti:

- la deviazione media complessiva nel punto di ingresso dell'impianto era di 1,12 mm e la deviazione massima riportata è stata di 4,5 mm, su un campione di 1530 impianti;
- la deviazione media riportata all'apice era di 1,39 mm, con una massima deviazione riportata di 7,1 mm su 1465 impianti;
- la deviazione angolare media era di $3,89^\circ$ con una deviazione massima di $21,16^\circ$ su 1854 impianti;

- la deviazioni dell'altezza è stata riportata in pochi studi pertanto non è stato possibile fare un confronto adeguato per l'esiguo numero di casi analizzati. Non sono state trovate differenze statistiche significative nella sperimentazione delle modalità nella mascella contro quelle nella mandibola, completamente edentuli contro quelli parzialmente edentuli, o la produzione della guida.

Sono state osservate invece differenze significative nel confronto dei dati dei seguenti parametri:

A. Tipo di studio

Oltre agli studi clinici, sono stati analizzati studi eseguiti su cadavere e su modello. Negli studi su cadavere, su un campione di 390 impianti, le deviazioni medie nel punto di ingresso sono state tra 0,8mm e 1,5mm (valore minimo 0,07 mm e valore massimo 3,54 mm). Gli errori medi all'apice erano tra 0,9 mm e 1,84 mm (valore minimo 0,12 mm e valore massimo 3,64 mm). Le deviazioni angolari medie hanno riportato valori di 1,8° e 7,9° (valore minimo 0,08° e valore massimo 11,9°). Negli studi su modelli i dato ottenuti da 74 impianti hanno riportato una deviazione media nel punto di ingresso tra 0,025 mm e 1,38 mm (valore minimo 0 mm e valore massimo 2,25 mm). La deviazione apicale media variava da 0,34 mm a 1,39 mm (valore minimo 0,12 mm e valore massimo 2,25 mm). Le deviazioni angolari medie invece erano comprese tra 0,7° e 2,16° (valore minimo 0,3° e valore massimo 2,16°). Infine negli studi clinici, dove si è avuto il maggior numero di casi con un totale di 2355 impianti, l'errore medio nel punto di ingresso variava da 0,15 mm a 1,7 mm (valore minimo 0 mm e valore massimo 4,5 mm). La deviazione media all'apice era compresa tra 0,28 mm e 2,99 mm (valore minimo 0,3 mm e valore massimo 7,1 mm). La deviazione angolare media variava da 1,49° a 8,54° (valore minimo 0° e valore massimo 21,16°).

B. Approccio chirurgico

I casi trattati con chirurgia flapless sembrano mostrare una migliore precisione significativa rispetto a quelli in cui è stato eseguito un lembo. Per i casi eseguiti con protocollo flapless l'errore medio nel punto di ingresso è di 1,01 mm, in apice è di 1,28 mm e la deviazione angolare è di 3,42°. Nei casi trattati con lembo invece vengono riportati valori di 1,34 mm per la deviazione media nel punto di ingresso, 1,69 mm in apice e 5,13° per la deviazione angolare.

C. Inserimento implantare

Il posizionamento implantare guidato riporta una precisione statisticamente superiore confrontato con quello a mano libera. Per l'inserimento guidato la deviazione media nel punto di ingresso è di 0,78 mm, in apice è di 1,08 mm e la deviazione angolare è di 2,57°; mentre per l'inserimento a

mano libera l'errore medio nel punto di ingresso è di 1,38 mm, in apice è di 1,74 e la deviazione angolare è di 5,03°.

D. Supporto della dima

La precisione delle dime a supporto di mini-impianti è significativamente più alta rispetto agli altri tipi di appoggio, eccetto l'appoggio mucoso (anche se gli studi a riguardo non sono stati sufficienti per un confronto). Le dime ad appoggio dentale risultano essere lievemente più accurate di quello a supporto mucoso o a supporto mucoso con pin con valori di deviazione media nel punto di ingresso rispettivamente di 0,78mm, 1,07 mm e 1,05 mm. Gli errori medi in apice sono stati 1,01 mm per le guide con supporto dentale, 1,64 mm per le guide a supporto mucoso e 1,24 mm per le dime a supporto mucoso con pin. Per la deviazione angolare media delle guide a supporto dentale, mucoso e mucoso con pin sono stati riportati rispettivamente valori di 2,76°, 4,73° e 3,25°. Infine le guide a supporto osseo riportano i più alti errori medi in quasi tutti i parametri confrontati (1,19 mm nel punto di ingresso, 1,52 in apice e 4,58° di deviazione angolare).

Studi sulla sopravvivenza

Nella revisione di Tahmaseb (2014) sono stati selezionati 15 studi clinici che hanno riportato dati sulla sopravvivenza implantare per almeno 12 mesi. Il tasso di sopravvivenza medio dei 1941 impianti inclusi nella revisione era del 97,1%. Tra i diversi studi non ci sono state differenze significative anche confrontando impianti con protocollo di carico immediato e ritardato. Inoltre, non si sono evidenziate differenze di sopravvivenza degli impianti nemmeno confrontando i dati relazionati ai diversi appoggi delle dime chirurgiche. Tuttavia, una lieve differenza nella sopravvivenza è stata osservata tra gli impianti posizionati nel mascellare superiore e quelli nella mandibola a vantaggio dell'arcata superiore.

Complicanze

Tra i 2355 impianti inseriti nei 343 casi trattati, un totale di 125 casi ha riportato delle complicanze con un tasso di complicanza cumulativo del 36,4% per ciascun caso. Otto studi hanno registrato una frattura della dima durante l'intervento con un'incidenza del 3,6% (7 di 192 dime). Dieci studi hanno riportato variazioni del piano chirurgico per ciascun impianto. L'incidenza complessiva era del 2% (23 dei 1133 impianti). Cinque studi hanno riportato dati sulla

perdita dell'impianto durante il posizionamento per mancanza di stabilità primaria, con un'incidenza complessiva dell'1,3% (5 dei 383 impianti pianificati).

6. COMPLICANZE

Le complicanze in implantologia computer-assistita possono essere relazionate a problemi durante tre momenti fondamentali: la fase di pianificazione, la fase chirurgica o quella protesica. Le complicanze di tipo chirurgico o protesico, a loro volta, possono suddividersi in complicanze di tipo precoce o tardivo a seconda del periodo di insorgenza.

Le complicanze da ascrivere alla fase di pianificazione possono essere:

- 1) Esecuzione della TC troppo precoce rispetto alle estrazioni eseguite: si vedrà quindi un alveolo immaturo, con margini non netti e pertanto sarà impossibile prevedere la reale guarigione ossea finale.
- 2) Indagini radiografiche mosse o dime radiologiche instabili che producono una inevitabile distorsione nella fase di accoppiamento tra immagini radiologiche e cliniche. Una TC eseguita con una dima radiologica instabile o mossa durante l'esame è da considerarsi non utilizzabile per la chirurgia computer guidata.
- 3) Presenza di artefatti con scattering. I restauri in metallici creano artefatti che possono alterare parzialmente o totalmente la visualizzazione nell'indagine tomografica e rendere talvolta non utilizzabile l'indagine per una chirurgia guidata.
- 4) Accoppiamento non coerente tra dato DICOM e riferimenti clinici. Il clinico deve sempre verificare che l'accoppiamento sia effettuato correttamente in quanto, se risultasse errato, l'intera programmazione e chirurgia verrebbe compromessa.
- 5) Pianificazione errata: un errore di pianificazione comporta un inevitabile errore chirurgico. L'approfondita conoscenza del software ed un corretto studio del caso sono indispensabili per evitare errori.

Diverse complicanze intraoperatorie sono state descritte in letteratura:

- 1) Instabilità o frattura della dima chirurgica: la dima viene appoggiata ai tessuti duri e/o molli fissandola o meno con pin di fissazione. Durante l'osteotomia vengono applicate forze che possono alterare la posizione della dima o addirittura comprometterne la integrità. E' essenziale che il clinico valuti sempre che la dima sia bene stabile e che non subisca stress eccessivi.
- 2) alterata posizione dell'impianto rispetto al piano digitale: si è già visto come la posizione chirurgica dell'impianto non è mai identica a quella del piano digitale, e il clinico deve valutare

molto attentamente questi margini di discrepanza al fine di evitare errori intraoperatori. Il rischio maggiore è che durante l'osteotomia in flapless si verificano deiscenze e/o fenestrazioni che, a lembo chiuso, rischiano di non rendersi palesi. Il clinico deve sempre verificare che tale occorrenza non si verifichi.

- 3) Mancanza di distanza interarcata: l'ingombro della dima e delle frese è talvolta importate e un errore in fase di pianificazione potrebbe indurre il clinico a sottovalutare gli spazi necessari, rendendo impossibile la chirurgia nei settori posteriori. Fondamentale quindi provare la dima e gli ingombri prima della chirurgia effettiva.
- 4) Mancanza di stabilità primaria: la precisione dell'osteotomia in chirurgia guidata è tale da permettere sempre una stabilità primaria compatibile con la fase di osteointegrazione se non per un carico immediato. E' anche vero che se l'esame radiologico è eseguito con una Cone Beam, la scala di grigi che viene mostrata spesso viene erroneamente confusa con una scala Hounsfield, che in realtà è garantita solo con una TC multislice. Pertanto, il clinico potrebbe pensare di trovarsi di fronte ad una qualità ossea elevata con una elevata probabilità di avere una stabilità primaria sufficiente ad un carico immediato, quando in realtà la qualità ossea non lo permetterebbe.
- 5) Gestione dei tessuti molli: La gengiva cheratinizzata va salvaguardata e mantenuta attorno agli impianti. Gli interventi in flapless che comportano la rimozione di un punch di mucosa devono essere possibilmente evitati al fine di mantenere maggior componente cheratinizzata. Una corretta gestione dei tessuti anche con mini lembi di pochi millimetri, potrebbe evitare errori di eccessiva rimozione gengivale con conseguente mancanza di gengiva aderente.

Anche le complicanze protesiche possono essere diverse, ma per questioni di spazio verranno solo brevemente trattate. Per quanto riguarda le complicanze protesiche dei carico immediato, sono stati descritti diversi casi di misfitting o allentamenti della protesi, di necessità di estese modifiche occlusali, di difficoltà nel parlare e di morsicamento delle guance (Hultin 2012). Dal confronto tra due recenti reviews della letteratura, tuttavia, sembra che l'insorgenza di complicanze di tipo protesico su impianti inseriti mediante metodica computer-assistita sia inferiore a quella su impianti inseriti a mano libera (Gervais 2007). Secondo la revisione di Tahmaseb (2014) 10 studi hanno registrato il verificarsi delle fratture di protesi. L'incidenza è stata del 10,19% (26 su 238 protesi). Cinque studi hanno registrato la presenza dell'allentamento della vite con incidenza del 2,9% (23 su 798). Sette studi hanno riportato dati sulla presenza di un misfit al momento della connessione delle sovrastrutture. L'incidenza è stata del 18% (34 su 189 protesi). Cinque studi hanno riportato dati sulla necessità di un'ampia regolazione occlusale dopo il posizionamento delle sovrastrutture con incidenza del 4,6% (7 su 153 protesi).

7. VANTAGGI E SVANTAGGI

In letteratura non esistono molti studi per valutare gli effettivi vantaggi della chirurgia computer-assistita rispetto alla chirurgia tradizionale (Hultin 2012). Questo perché la chirurgia convenzionale è una metodica ampiamente validata con diversi studi con follow-up anche a lungo termine mentre per la chirurgia computer-guidata esistono solo studi con follow-up a breve o medio termine e soprattutto sono ancora meno gli studi che paragonano direttamente le due metodiche.

Vantaggi

I vantaggi dell'impiego di una tecnica di chirurgia guidata possono comprendere diversi aspetti, la rilevanza di ciascuno dei quali va valutato in base alle necessità del paziente. Per prima cosa, è possibile ridurre i tempi operativi rispetto a sedute tradizionali. Arisan et al (2010) ha evidenziato che la riduzione dei tempi è in media di circa 24 minuti. Tale entità è probabilmente ascrivibile al risparmio temporale legato all'assenza della sutura nei casi eseguiti con tecnica flapless. Il razionale e le indicazioni dell'impiego di una procedura flapless è stato trattato precedentemente. I vantaggi di tale procedura comprendono una forte riduzione del post-operatorio sia in termini di dolore che in termini di assunzione di farmaci e di rischio di sanguinolento post-operatorio (Hultin 2012). Infine questa tecnica in quanto minimamente invasiva può essere utilizzata con successo in pazienti affetti da patologie sistemiche che potrebbero influenzare l'intervento chirurgico con una maggiore probabilità di rischi, come nel caso di pazienti diabetici o in terapia con farmaci anticoagulanti. A parte i vantaggi della procedura flapless, va sottolineato che la gestione dei tessuti molli peri-implantari resta comunque un elemento fondamentale anche nella gestione e manutenzione delle protesi su impianti. L'approccio flapless non può quindi essere applicato in maniera indiscriminata su tutti i pazienti, ma va attentamente ragionato.

Altro vantaggio è che l'utilizzo di strumenti diagnostici e di pianificazione chirurgica virtuale, quali i moderni apparecchi TC e i software implantari, permettono al clinico di visualizzare le strutture ossee pre-operatoriamente riducendo gli interventi rigenerativi. Inoltre è possibile inserire gli impianti in situazioni anche di anatomia poco favorevole comunque mantenendo in fase di progettazione una distanza di sicurezza da strutture anatomiche nobili, quali vasi e nervi (Bornstein 2014).

Un lavoro di Fortin (2009) ha cercato di valutare se la chirurgia computer-guidata possa sostituirsi alle tecniche di incremento osseo permettendo al clinico l'inserimento guidato di impianti anche in pazienti con creste ossee ridotte. Nel suo studio sono stati valutati impianti inseriti con chirurgia guidata su mascellari parzialmente edentuli con creste ossee fortemente riassorbite e seno mascellare espanso. I risultati del suo studio sono stati una percentuale di sopravvivenza implantare dopo 4 anni pari al 98%, dato sovrapponibile a quella di impianti inseriti in creste non riassorbite. Nonostante ciò una delle indicazioni per la chirurgia guidata è la presenza osso qualitativamente e quantitativamente adeguati e la presenza di volumi ossei ridotti espone il clinico a possibili complicanze intraoperatorie. Va pertanto sottolineato che l'impiego di tali procedure in situazioni limite deve essere attentamente valutato ed il clinico deve essere pronto a modificare il protocollo chirurgico in caso di variazioni rispetto a quanto pianificato.

Altro vantaggio della chirurgia computer-assistita è la possibilità di programmare la posizione degli impianti secondo la futura riabilitazione protesica, permettendo in questo modo una gestione protesica successiva più agevole e, nei casi in cui le condizioni siano possibili, l'esecuzione di protocolli di carico immediato. È stato dimostrato che la sopravvivenza degli impianti a carico immediato inseriti con tecniche di chirurgia computer-guidata è molto elevata con percentuali comprese tra il 95% e il 99,4% (Sanna 2007; Johansson 2009; Tahmaseb 2012). Il vantaggio nel carico immediato è soprattutto di tipo protesico, perché il tecnico conosce già la posizione implantare e può lavorare con componentistiche prima ancora che il paziente venga sottoposto all'intervento. Va comunque sottolineato che il grado di errore sempre presente in interventi di chirurgia guidata implica la necessità di eseguire una passivazione direttamente in bocca dell'eventuale protesi confezionata prima dell'intervento.

Gli studi condotti da Quirynen tra il 2014 e il 2016 hanno mostrato come l'implantologia computer-guidata sia efficace e precisa anche se l'accuratezza è variabile e legata a movimenti della dima durante l'intervento chirurgico e alla curva di apprendimento degli operatori. Nonostante ciò un corretto posizionamento degli impianti può facilitare la successiva realizzazione dei manufatti protesici migliorandone la durata a lungo termine. La chirurgia computer guidata appare comunque più precisa dell'inserimento implantare a mano libera.

Svantaggi

Uno degli svantaggi dei sistemi computer-assistiti è il considerevole costo aggiuntivo rispetto alle metodiche tradizionali, a fronte di numerosi benefici (Ewers 2005) legati al fatto che la programmazione dell'intervento chirurgico in tridimensionale aiuta ad evitare complicanze

operative quali fenestrazioni e deiscenze ossee, danni neurologici e perforazioni della membrana sinusale di Schneider (Verstreken 1996, Verstreken 1998).

Nonostante si abbia una riduzione dei tempi operatori di circa la metà rispetto alla chirurgia convenzionale (Arisan 2010), quindi un maggior vantaggio per il paziente, va ricordato che la chirurgia computer-assistita comporta una fase di progettazione più lunga e complessa. Inoltre è richiesta all'operatore una buona conoscenza in merito all'uso del computer e l'acquisto di software per la ricostruzione 3D dell'osso dai dati acquisiti dall'esame tomografico e dalla pianificazione virtuale protesicamente guidata del piano di trattamento implantare (Sicilia 2012).

Un altro svantaggio della chirurgia guidata è che non è adottabile questo tipo di trattamento in pazienti con ridotte possibilità di apertura del cavo orale in quanto risulta difficile il corretto posizionamento della mascherina chirurgica e dello strumentario per la preparazione del sito implantare (Sicilia 2012).

Inoltre tutti i casi di chirurgia computer-guidata, anche i più semplici, necessitano di un esame tomografico per poter programmare l'intervento tramite software con un incremento nell'esecuzione di indagini radiologiche (Bornstein 2014)

Infine la problematica più frequente in fase operatoria è che la dima chirurgica non sia adeguatamente stabile o si fratturi durante l'intervento rendendola inutilizzabile: ciò perché potrebbe compromettere l'intervento con il rischio di un posizionamento implantare non accurato rispetto alla programmazione stessa (Hultin 2012; Tahmaseb 2014).

Un ulteriore aspetto negativo è legato alla necessità di esporre il paziente ad indagini radiografiche tridimensionali. L'applicazione di protocolli di chirurgia guidata prevede l'impiego di tomografie computerizzate, indipendentemente dall'estensione dell'edentulia. Pertanto, l'indispensabile necessità di applicare protocolli di chirurgia guidata deve anche confrontarsi con la giustificazione ad esporre il paziente a radiazioni ionizzanti magari in siti chirurgici privi di apparenti difficoltà operative.

Altra considerazione da fare è circa i costi di intervento: diverse studi analizzati in revisioni della letteratura hanno messo alla luce come questa procedura non presenti in realtà un evidente vantaggio economico per il paziente ma che talvolta comporti delle spese aggiuntive che pertanto devono essere considerate e ponderate nella valutazione costi/benefici della procedura (Lalemann 2016).

8. CONCLUSIONI

La chirurgia computer guidata presenta una serie di vantaggi e svantaggi, che vanno valutati paziente per paziente al fine di identificare quale sia di maggior impatto nel trattamento di ciascun specifico caso clinico. Di sicuro, la letteratura ha ormai dimostrato che vi è una differenza tra la posizione degli impianti programmati e quelli posizionati durante la chirurgia guidata. Tale errore di posizionamento appare, però, inferiore rispetto all'inserimento di impianti in chirurgia implantare tradizionale. Resta il vantaggio legato ad una migliore individuazione della posizione implantare e degli assi protesici, oltre al fatto di poter pianificare con maggior attenzione un eventuale carico immediato. Un altro grande vantaggio è rappresentato dal poter dedicare diverso tempo a studiare attentamente il caso, cosa che permette un'applicazione più razionale del piano di trattamento, non legato a decisioni prese durante l'atto operatorio. L'impiego di software informatici, però, implica una curva di apprendimento specifica che permetta al clinico di approfondire i vari aspetti del software prima ancora di iniziare ad applicare i concetti sul paziente. Peraltro, il vantaggio economico dell'esecuzione di queste procedure rimane tutt'ora incerto.

9. BIBLIOGRAFIA

Arisan V, Karabuda ZC, Ozdemir T. Accuracy of two stereolithographic guide system for computer-aided implant placement: a computed tomography-based clinical comparative study. *J Periodontol.* 2010;81(1):43-51.

Bornstein MM, Al-Nawas B, Kuchler U, Tahmaseb A. Consensus statements and recommended clinical procedures regarding contemporary surgical and radiographic techniques in implant dentistry. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2014;29(suppl):78-82.

Ewers R, Schicho K, Undt G, Wanschitz F, Truppe M, Seemann R, Wagner A. Basic research and 12 years of clinical experience in computer-assisted navigation technology: a review. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2005;34:1-8.

Fortin T, Bosson JL, Isidori M, Blanchet E. Effect of flapless surgery on pain experienced in implant placement using an image-guided system. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2006 Mar-Apr;21(2):298-304.

Fortin T, Isidori M, Bouchet H. Placement of posterior maxillary implants in partially edentulous patients with severe bone deficiency using CAD/CAM guidance to avoid sinus grafting: a clinical report of procedure. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2009;24(1):96-102.

Gervais MJ, Wilson PR. A rationale for retrievability of fixed, implant-supported prostheses: a complication-based analysis. *Int J Prosthodont*. 2007 Jan-Feb;20(1):13-24.

Hammerle CH, Stone P, Jung RE, Kapos T, Brodala N. Consensus statements and recommended clinical procedures regarding computer-assisted implant dentistry. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2009;24:126-131.

Hassfeld S, Muhling J. Computer assisted oral and maxillofacial surgery-a review and an assessment of technology. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2001;29:276-281.

Hultin M, Svensson KG, Trulsson M. Clinical advantages of computer-guided implant placement: a systematic review. *Clin Oral Implants Res* 2012;23(suppl 6):124-135.

Johansson B, Friberg B, Nilson H. Digitally planned, immediately loaded dental implants with prefabricated prostheses in the reconstruction of edentulous maxillae: a 1-year prospective multicenter study. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2009;11(3):194-200.

Laleman, I., Bernard, L., Vercruyssen, M., Jacobs, R., Bornstein, M. M., & Quirynen, M. Guided Implant Surgery in the Edentulous Maxilla: A Systematic Review. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants* 2016; 31 Suppl, s103–17

Nkenke E., K.A. Schlegel, F.W. Neukam. Reduced invasivity of implant placement in the maxilla by flapless surgery facilitated by cad/cam methods: First results. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 2005; 34, Suppl 1

Quirynen M, Al-Nawas B, Meijer HJ, Razavi A, Reichert TE, Schimmel M, Storelli S, Romeo E. Small-diameter titanium Grade IV and titanium-zirconium implants in edentulous mandibles: three-year results from a double-blind, randomized controlled trial. *Clin Oral Implants Res*. 2015;26(7):831-40.

Roberts DW, Strohhahn JW, Hatch JF, Murray W, Kettenberger H. A frameless stereotaxic integration of computerized tomographic imaging and the operating microscope. *J Neurosurg*. 1986;65:545-549.

Sanna AM, Molly L, van Steenberghe D. Immediately loaded CAD-CAM manufactured fixed complete dentures using flapless implant placement procedures: a cohort study of consecutive patients. *J Prosthet Dent.* 2007;97:331-339.

Sicilia A, Botticelli D; Working Group 3. Computer-guided implant therapy and soft- and hard-tissue aspects. The third EAO Consensus Conference 2012. *Clin Oral Implants Res.* 2012;23(suppl 6):157-61.

Tahmaseb A, Wismeijer D, Coucke W, Derksen W. Computer technology applications in surgical implant dentistry: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2014;29(suppl):25-42.

Vercruyssen M, Jacobs R et al. The use of CT scan based planning for oral rehabilitation by means of implants and its transfer to the surgical field: a critical review on accuracy. *J Oral Rehabil* 2008;35(6):454-474.

Verstreken K, Van Cleynenbreuger J, Marchal G, Naert I, Suetens P, van Steenberghe D. Computer-assisted planning of oral implant surgery: a three-dimensional approach. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1996;11:806-810.

Verstreken K, Van Cleynenbreuger J, Martens K, Marchal G, van Steenberghe D, Suetens P. An image-guided planning system for endosseous implants. *IEEE Trans Med Imaging.* 1998;17:842-852.