

## *I laser ad eccimeri*

### • **Introduzione**

Il laser ad eccimeri è stato introdotto in oftalmologia all'inizio degli anni "80", sostituendosi via via al "bisturi" nell'arte della chirurgia refrattiva.

Grazie a questo prodigioso strumento è stato possibile sviluppare nuove tecniche di chirurgia refrattiva (PRK) e rendere ancor più affidabili procedure ormai quasi del tutto abbandonate come la cheratomileusi; in questo secondo caso si è arrivati allo sviluppo di una tecnica chirurgica (Lasik) di così pregevole fattura da catalizzare su di sé l'attenzione dell'oftalmologia mondiale.

Se è vero che in questi ultimi anni si è avuto un continuo perfezionamento delle tecniche chirurgiche appena menzionate, è altresì progredita in modo esaltante la tecnologia delle apparecchiature che la rendono possibile, vale a dire i laser ad eccimeri.

In pochi anni si è passati dal concetto di "broad beam" al concetto del "flying spot", dai rudimentali sistemi di fissazione (anello di suzione o pinza di fissazione) all'attuale sistema di eye-tracker, dai primordiali sistemi di misurazione dell'energia laser agli attuali e sofisticatissimi sistemi computerizzati di controllo.

E cosa dire poi dell'attuale e prodigioso sistema di ablazione personalizzata (Customized Ablation) che alcune aziende hanno già introdotto sul mercato.

Tutto questo mi porta alla seguente considerazione:

Quanto sto scrivendo sarà ancora attuale tra sei mesi?

La realtà vera è che per chi si avvicina alla tecnologia laser si apre un mondo meraviglioso che giorno dopo giorno si arricchisce di nuova tecnologia che necessita di un aggiornamento costante per poter essere utilizzata nella sua massima potenzialità.

### • **Concetti base dei laser ad eccimeri**

Il laser ad eccimeri appartiene al gruppo di laser in grado di produrre lunghezze d'onda brevi tra i 150 e i 300 nanometri, cioè radiazioni ultraviolette.

La miscela gassosa di questi laser, dalla cui stimolazione si libera energia con una lunghezza d'onda tale da interagire con il tessuto corneale, è costituito dal dimero; si tratta di una reazione tra un gas nobile ed un alogeno.

Il dimero quindi è una molecola che si forma dalla miscela di un gas nobile con un alogeno; esso viene sottoposto ad un campo elettrico che lo porta ad uno stato instabile di maggiore energia (*Excited Dimer*); da qui la forma contratta: *Excimer*.

Una certa quantità di atomi e molecole (cioè la miscela gassosa) può essere stimolata in presenza di un forte campo elettrico (20.000 - 40.000 Volt). Fornire energia a questo gas equivale a creare una nuova condizione di estrema instabilità in quanto gli atomi si eccitano e gli elettroni lasciano il loro stato stazionario per entrare in orbite di livello energetico più elevato; ma questi elettroni tendono a ritornare rapidamente al loro stato originario meno energetico; tutto questo dà luogo alla liberazione di energia sotto forma di fotone: in altri termini viene liberata una radiazione luminosa. Questa radiazione luminosa, che non è altro che energia liberata, viene convogliata nella cavità di risonanza del laser, dove un sistema di specchi, moltiplicandone i fenomeni di impatto atomico e di eccitazione, fa sì che si liberi una radiazione amplificata e monocromatica ad elevata intensità a fluenza di energia tra i 180 e i 200 mJ/cm<sup>2</sup>.

La lunghezza d'onda di un laser in grado di sostituirsi al vecchio bisturi, per un idoneo utilizzo in chirurgia refrattiva, deve essere quello di possedere una energia fotonica in grado di scindere i legami interatomici corneali con il minor danno per i tessuti vicini.

Tra tutte le lunghezze d'onda studiate la più idonea a tal fine si è dimostrata quella prodotta dal dimero fluoruro di argon (ArF), che emette a 193 nm. e che possiede una energia fotonica pari a 6,42 eV.

Cerchiamo di comprendere i motivi alla base di questa scelta.

I legami peptici C-N (carbonio-azoto) presentano un picco di assorbimento intorno ai 190 nm, mentre il collagene e l'acido ascorbico, grazie alla loro componente aminoacida non-aromatica, assorbono intorno ai 260 nm., con il massimo a 240 nm..

Gli acidi nucleici (picco di assorbimento a circa 250 nm.) sono praticamente limitati allo strato epiteliale; i glicosaminoglicani, tra loro comparabili come spettro di assorbimento, mostrano un picco intorno ai 190 nm.

Il flusso fotonico dell'eccimero scaturito da un dimero a 193 nm quale quello Ar-F quando si impatta sulla cornea riesce a disaccoppiare i legami C-C (carbonio-carbonio) e C-N (carbonio-azoto) del substrato peptico delle proteine corneali per i quali è elevato l'assorbimento all'ultravioletto. L'entità della fotoremozione tissutale è funzione diretta dell'assorbimento (ovvero della relazione tra lunghezza d'onda, flusso energetico e durata di esposizione alla radiazione) da un lato e delle caratteristiche cromoforiche della cornea dall'altro.

In questo modo si ottiene la riduzione del tessuto colpito a fotoframmenti di poche unità di peso molecolare; questo determina una lavorazione refrattiva tissutale estremamente precisa e raffinata, con grande rispetto delle zone limitrofe: il danno su base termica delle proteine adiacenti è, cioè, limitato a circa un micron.

### • **Struttura dei Laser ad Eccimeri**

Dal punto di vista strutturale un laser ad eccimeri è costituito da:

- Cavità laser e condensatore in grado di generare una scarica elettrica
- Serbatoio per il gas (Ar-F)
- Percorso ottico per la trasmissione del raggio laser
- Computer per l'impostazione dei dati

(Foto 1)

#### • Cavità

La cavità laser contiene il modulo dove avviene la scarica dell'alta tensione e dove si genera la radiazione laser, la cavità può essere in ceramica o altro materiale a seconda del laser anche se oggi quasi tutte le aziende sono orientate verso l'utilizzo di cavità in ceramica. Al suo interno è mantenuta la miscela di gas in pressione che viene fatta circolare, attraverso una ventola, nella zona dove sono presenti gli elettrodi garantendo un continuo ricambio di gas. Essendo il Fluoro fortemente reattivo, soprattutto durante la scarica, tenderebbe a reagire con il metallo della cavità, contaminandosi e richiedendo frequenti cambi di gas.

La radiazione laser fuoriesce attraverso un'apposita finestra che funziona da specchio di uscita. Questa è l'ottica sottoposta a maggior stress di tutto il sistema in quanto attraverso di essa passa la tutta l'energia di uscita del laser.

#### • Serbatoio per il gas

Alcuni laser ad eccimeri prevedono un alloggiamento ove è contenuta la miscela gassosa già pronta per la reazione, mentre altri prevedono due serbatoi separati contenenti i gas da miscelare successivamente; alcuni laser ad eccimeri, inoltre, utilizzano una bombola contenente azoto che viene convogliato lungo il percorso ottico per conservare la pulizia e la qualità delle ottiche in esso contenute.

- Percorso ottico

È il tragitto che il raggio laser percorre per raggiungere il tessuto corneale. Durante questo tragitto, il raggio laser subisce cambiamenti di forma e di omogeneità.

Poiché la radiazione luminosa a 193 nm viene assorbita e, quindi, dispersa dalle fibre ottiche, essa deve essere trasmessa mediante specchi, lenti e prismi in un ambiente in cui le qualità dell'aria interferisca il meno possibile con la radiazione. Tutto questo condiziona l'omogeneità e la qualità del fascio laser, che devono essere le più elevate possibili per far sì che si abbiano fotoablazioni regolari della superficie corneale.

- Computer per l'impostazione dei dati

È il cervello dell'intera struttura che serve per il controllo di tutte le funzioni che riguardano il laser ad eccimeri, dalla miscelazione del gas, al controllo dell'energia in uscita, alla impostazione dei dati ed all'interfacciamento con dispositivi esterni. Oltre alle caratteristiche tipiche di qualsiasi computer, particolare importanza viene data alla schermatura delle strutture e delle connessioni in modo da evitare interferenze con apparecchiature estranee.

Altre caratteristiche dei laser ad eccimeri sono rappresentate da:

- Sistema di messa a fuoco

Ogni laser utilizza una sua particolare strategia per la focalizzazione del piano di lavoro. Se ne parlerà dettagliatamente nella sezione dedicata a ciascun laser.

- Sistema di distribuzione del fascio laser

### **Broad beam (fascio ad area)**

Impiega un fascio laser di ampie dimensioni che asporta, come il Visx, il materiale a strati. L'effetto correttivo è basato sul fatto che ciascuno strato asportato ha forma diversa dal precedente. In questo modo lo spessore di materiale complessivamente asportato è diverso al centro rispetto che alla periferia della cornea. Questa tecnica è particolarmente adatta a correggere difetti miopici, in quanto per ottenere l'effetto desiderato è sufficiente inviare impulsi laser di forma circolare che siano concentrici e di diametro variabile. Lo stesso principio può essere adottato per correggere l'astigmatismo miopico impiegando fasci di forma approssimativamente rettangolare e di larghezza variabile. La tecnica ad area produce superfici abbastanza regolari e lisce ed è meno sensibile ai movimenti oculari per contro è meno flessibile e richiede Laser di maggiore potenza. ( Foto 2 )

### **Split (fessura)**

Nei laser ad eccimeri che impiegano questo tipo di distribuzione del fascio, un particolare diaframma lascia uscire un fascio rettangolare di dimensioni variabili che viene distribuito sulla cornea con un sistema lineare o a rotazione, che consente di trattare aree di cornea diverse per evitare un'eccessivo surriscaldamento corneale e permette la costruzione di

profili di ablazione per correggere miopia, ipermetropia ed astigmatismo. ( *Foto 3* )

#### **Flying spot (fascio di piccolo diametro)**

La tecnica a "flying spot" impiega invece un fascio di piccole dimensioni che asporta ad ogni impulso una piccola "piastrella" di tessuto. L'effetto correttivo è ottenuto facendo fare al fascio laser una serie di scansioni sulla cornea da trattare, ripassando più volte nelle zone dove è necessario asportare più materiale. Questa tecnica permette, in linea di principio, di correggere cornee con qualsiasi irregolarità di forma, essendo limitata in questo solamente dalle dimensioni del diametro del fascio laser (più piccolo e' quest'ultimo più il sistema e' in grado di correggere irregolarità complesse). ( *Foto 4* )

#### • **Parametri di uso del laser ad eccimeri**

##### ***Lunghezza d'onda***

Gli studi fin ora condotti su questo importante parametro hanno dimostrato che le radiazioni luminose con lunghezza d'onda di 193 nm sono le più idone nel creare delle ablazioni corneali con bordi regolari di escisione e nel limitare il danno nel tessuto adiacente.

La ragione di ciò risiede nelle caratteristiche cromatiche della cornea che a causa della sua trasparenza assorbe poco l'energia proveniente dai raggi laser che emettono nello spettro del visibile; bisogna inoltre ricordare che la cornea possiede una delicata struttura lamellare che viene facilmente danneggiata dagli effetti biologici del laser che possono determinare un'alterazione della struttura della cornea stessa nonché delle sue caratteristiche ottiche e biomeccaniche. L'interazione tra cornea e raggio laser segue le leggi biofisiche e ottiche che regolano il passaggio di una radiazione elettromagnetica all'interno di un tessuto e di un mezzo diottrico; i fenomeni di trasmissione, riflessione, dispersione-diffusione e assorbimento dipendono allora dalle caratteristiche della radiazione incidente in relazione alla composizione cromoforica del tessuto corneale.

Le lunghezze d'onda dell'ultravioletto più breve veicolano energie maggiori, determinando un effetto fotoablativo con minori profondità di dissipazione del danno termico.

A tutti questi vantaggi che comportano l'utilizzo di radiazioni luminose con lunghezza d'onda bassa bisogna però aggiungere per dovere di obiettività alcuni svantaggi che queste lunghezze d'onda procurano come per esempio il fatto che la radiazione a 193 nm non consente la trasmissione attraverso le fibre ottiche e danneggia in modo significativo gli elementi ottici del sistema di trasmissione.

##### ***Durata dell'impulso***

questo parametro è in correlazione al fatto che il dimero eccitato presenta una brevissima emivita, da 9 a 23 nanosecondi.

##### ***Frequenza di ripetizione***

Questo parametro indica il numero di impulsi (laser) emessi al secondo e viene misurato in Hertz. Le frequenze dei vari laser verranno riportate nei rispettivi capitoli, si va dai 10 Hz del Summit ai 200 Hz del Lasersight.

L'ablazione del tessuto corneale è indipendente da tale parametro.

I valori teoricamente più utili, ovvero i più rapidi per completare la procedura nel tempo più breve possibile senza che l'idratazione corneale vari in modo importante, non sono

consigliabili a causa dell'aumento dell'effetto termico e della comparsa di danni alla componente ottica del sistema di trasmissione del raggio. Questa affermazione rimane però valida solo per quei laser che utilizzano programmi di ablazione tradizionali mentre non risponde a verità per i laser di nuovissima generazione che eseguono ablazioni mediante sistema a spot volante.

### ***Fluenza***

Viene indicata in  $\text{mj}/\text{cm}^2$  e indica l'esposizione radiante, ovvero l'entità di flusso energetico per impulso e per unità di superficie del tessuto ablatato.

Il suo livello ottimale, lì dove l'efficacia del meccanismo fotoablativo è massima per i nostri scopi sembra essere, così come indicato da numerosi studi, tra i 160 e i 250  $\text{mj}/\text{cm}^2$ .

Viene indicata come "soglia" di ablazione, il punto in cui inizia la rimozione di tessuto da parte della radiazione a 193 nm. Le misurazioni fatte da Puliafito e da Krueger riportano un valore intorno ai 46-50  $\text{mj}/\text{cm}^2$ , al di sotto di tali valori si manifesta una sorta di fotodecomposizione ablativa incompleta che causa irregolarità ed effetti termici.

Interessante a questo proposito può essere lo studio approfondito della curva di relazione tra fluenza e profondità (o efficacia) di ablazione nell'applicazione in superficie fornita dagli studi di Munnerlyn e coll.

Questa curva ha un aspetto grossolanamente sigmoideale, con un inizio piatto, una porzione centrale ascendente corrispondente alla regione di ablazione efficace, ove dal 20 al 90% dei fotoni incidenti vengono assorbiti dal tessuto, che culmina in un picco intorno ai 200-230  $\text{mj}/\text{cm}^2$ , e infine un plateau di perdita progressiva di potere ablativo.

Quanto osservato dipende anche dalla frequenza almeno nel caso di laser che non utilizzano il sistema di ablazione a spot volante: tanto maggiore il "pulse rate", tanto minore è il tempo che il tessuto ha a disposizione per l'espulsione dei detriti e per raffreddarsi.

I principali tipi di laser presenti in commercio utilizzano valori di fluenza a livello corneale tra i 160 e i 250  $\text{mj}/\text{cm}^2$ .

Altro importante parametro della chirurgia refrattiva mediante l'utilizzo di laser ad eccimeri e vale a dire il "cut rate" quantità di tessuto fotoablatato da ogni singolo impulso (tasso di ablazione).

Considerare costante il "cut rate" e non differenziarlo a seconda della profondità del tessuto corneale interessato dall'ablazione, può condurre a dei grossolani errori di ipocorrezione. Il problema si è fatto ancor più sentire dal momento in cui si è utilizzata la procedura Lasik per la correzione dei vizi refrattivi.

### ***Omogeneità***

Questo importante parametro sta ad indicare l'omogeneità con cui viene distribuita l'energia del raggio laser sulla cornea, si intuisce facilmente che quanto più omogeneo si presenta il raggio laser tanto più uniforme e levigata risulterà la superficie trattata.

Il raggio che esce dalla cavità di risonanza degli attuali laser ad eccimeri eccetto quelli di nuovissima generazione con cavità in ceramica e con programma a spot volante, non è mai omogeneo, avendo una densità di energia maggiore al centro rispetto alla periferia e tende a peggiorare man mano che il gas del mezzo attivo si degrada. A causa della conformazione della cavità, il fascio che emerge possiede una configurazione grossolanamente rettangolare "a cappello" di 8 x 24 mm; esso viene veicolato da una combinazione di meccanismi pilotati da un programma informatico, il cosiddetto "delivery system" che ne distribuisce

l'energia al livello corneale.

Taluni elementi ottici posti lungo il tragitto del fascio laser sono dotati di speciali trattamenti di superficie (stratificazioni di fluoruro di magnesio o di calcio) per sostenere le alte energie dell'excimer ed hanno anche funzioni di omogeneizzazione (specchi, lenti e prismi rotanti), in combinazione con integratori spaziali e speciali maschere che eliminano in modo selettivo la parte periferica del fascio laser, trasmettendo la parte centrale più omogenea. Tuttavia, ad ogni interfaccia ottica si ha una degradazione del raggio da perdita di potenza; delle centinaia di millijoule che escono dalla cavità, buona parte, (in talune macchine sino al 70%) vengono perdute lungo il percorso ottico prima di arrivare a livello della superficie corneale.

La qualità spaziale del raggio viene controllata prima di ogni trattamento, direttamente dall'operatore, effettuando appositi test di ablazioni di prova.

#### ***Numero di impulsi***

Questo fattore viene controllato dal chirurgo. Si tenga presente che per un dato "cut rate" il numero degli impulsi determina l'entità dell'ablazione. Viene fornito automaticamente dal computer, che invece riceve il numero di diottrie da correggere.

### **Eye-tracker**

Perché un intervento di chirurgia refrattiva con laser ad eccimeri abbia un esito ottimale, è indispensabile che il trattamento fotoablativo sia ben centrato e che l'occhio sia il più possibile fermo. Sfortunatamente, per quanto abile sia il chirurgo nell'effettuare una centratura ideale del trattamento, è impossibile sperare che l'occhio del paziente sia assolutamente inerte durante l'intero trattamento. Allo scopo di ovviare a questo inconveniente, sono stati ideati diversi sistemi. Alcuni laser della prima generazione prevedevano l'uso di un anello da applicare con una suzione su bulbo oculare e ciò consentiva al chirurgo di effettuare sia la centratura che il riallineamento intraoperatorio del fascio laser sul centro del trattamento. Con l'avvento di strategie fotoablativo che prevedono l'uso di fasci di piccolo diametro e molteplici impatti embricati tra loro a disegnare l'intero trattamento, quali il Planoscan di CHIRON Technolas, è impensabile ricorrere ad un così grossolano sistema di centratura e riallineamento. Nasce così l'esigenza di un sistema di Eye-Tracking che non solo riconosca i movimenti più o meno grossolani del bulbo oculare durante il trattamento, ma che anche si riallinei automaticamente alle nuove posizioni da esso assunte in tempi così brevi da consentire che l'impatto del raggio laser avvenga proprio dove era stato predisposto.

#### **Applicazioni**

Il sistema di eye-tracking proprio di alcuni laser ad eccimeri non è che una delle molteplici applicazioni di questo dispositivo in differenti campi tecnologici. Diverse sono, infatti, le applicazioni al di fuori del campo medico, di tali sistemi.

In origine, fu l'industria bellica, ed in particolare quella aeronautica, a sviluppare la tecnologia di eye-tracking; così come spesso accade, dall'impiego militare discende la possibilità di applicare le tecnologie belliche per scopi ben più nobili.

- *Caratteristiche tecniche*

Qualsiasi sistema di eye-tracking si basa sul riconoscimento del movimento oculare e sulla localizzazione spaziale di questi rispetto ad una posizione iniziale. Il controllo dei movimenti oculari avviene mediante un sistema ad infrarossi.

si tratta di un dispositivo costituito da:

- un sistema di illuminazione con LED (Light Emitting Diodes) che emettono luce a 950 nm (InfraRed) in modo intermittente con una frequenza di (2,5) Hz. L'emissione intermittente (chopped mode) consente di minimizzare l'interferenza dalla luce ambiente (distinguendo la luce IR prodotta dal dispositivo di illuminazione dalla componente IR contenuta nella luce ambiente) e di aumentare il rapporto segnale-rumore del sistema di ricezione (consentendo che il livello di luce IR incidente sia elevato ma che l'energia totale sia ridotta).
- Da un sistema di ricezione :
  - foto-transistors sintonizzati sulla frequenza di emissione dei LED e collocati in prossimità dei LED; il fascio LED ha una ampiezza di 48 gradi, quello dei transistor riceventi di 28 gradi; ciascuna unità (composta da un LED e da un transistor) riconosce la posizione iniziale del bulbo oculare ed i suoi spostamenti decodificando il segnale di ritorno proveniente dal quadrante nasale e da quello temporale. Tale sistema può seguire i movimenti di rotazione del bulbo nell'arco di 30 gradi con una capacità di risoluzione pari a due minuti d'arco
- Da una telecamera CCD, dispositivo fotosensibile alla luce che registra immagini a colori o in bianco e nero, e trasforma l'informazione in forma digitale ( si tratta di sensori analogici), questo tipo di telecamera viene usata sui laser ad eccimeri

### **Conclusioni**

Da una analisi complessiva di quanto detto possiamo concludere che esistono ancora degli ampi margini per arrivare alla realizzazione di una macchina laser in grado di permetterci di lavorare in assoluta tranquillità. I sistemi di eye-tracker vanno ancora perfezionati, anche se alcune macchine, così come vedremo dispongono già di una buona tecnologia in tal senso.

Bisognerà lavorare su macchine che consentiranno una lavorazione refrattiva più omogenea con superfici di trattamento ottimali.

## ***Laser ad eccimeri Bausch & Lomb 217 c***

### **• Introduzione**

Il laser ad eccimeri 217 c della Bausch & Lomb appartiene alla famiglia dei laser (flying spot) di ultima generazione; innovativo è il programma di ablazione chiamato Planoscan che si discosta completamente da tutti gli altri sistemi ablativi a tutt'oggi in commercio.

Innovazioni di rilievo sono altresì costituite da:

- Il sistema di aria filtrata che effettua automaticamente la pulizia delle ottiche ogni qualvolta il Laser viene acceso.  
Questo, oltre a mantenere inalterata l'efficienza del sistema nel tempo, riduce

drasticamente la necessità di interventi tecnici di manutenzione prolungando notevolmente la vita delle componenti ottiche.

- **Il sistema di gas integrato**  
Una sola bombola di gas che contiene la miscela ArF; essa consente di effettuare tra 700 e 900 trattamenti.
- **Due specchi mobili (wobbling mirror) per 180 gradi, l'uno sull'asse x, l'altro sull'asse y** che consentono di effettuare la fotoablazione con il semplice spostamento del raggio di trattamento automaticamente con il controllo del computer, oppure, nel caso di alcuni trattamenti terapeutici, mediante Joy-Stick.
- **Sistema di ablazione Planoscan:** si tratta di un sistema di ablazione che prevede che lo spot, del diametro di 2 mm., impatti punti sempre diversi della superficie corneale; dalla sovrapposizione dei singoli impatti risulta il disegno del trattamento impostato. Il vantaggio fondamentale è rappresentato dal minore traumatismo termico derivato alla cornea. ( *Foto 5* )

- **Cavità**

La cavità del laser 217c-lasik è in ceramica. I vantaggi di questa scelta sono rappresentati dal fatto che la miscela gassosa riduce la formazione di depositi sulle pareti della cavità, aumentando il numero di trattamenti effettuabili per ogni singolo cambio gas, aumentando l'intervallo di tempo tra ogni cambio gas, consentendo una maggiore stabilità energetica durante i trattamenti, prolungando la durata della bombola di gas e diminuendo le spese di manutenzione. ( *Foto 6* )

- **Serbatoio gas**

Costituita da un'unica bombola contenente la miscela gassosa Ar-F alloggiata all'interno della struttura. La sua capacità è tale da permettere 700-900 trattamenti.

- **Percorso ottico**

Il raggio laser raggiunge il tessuto corneale dalla cavità nella quale viene generato attraverso un tragitto, definito percorso ottico, lungo il quale subisce trasformazioni che consentono di ottenere le caratteristiche di fluensa e di omogeneità desiderate.

Il fascio laser, uscito dalla cavità subisce una prima deviazione grazie ad un primo specchio, a questo livello esso ha caratteristiche di scarsa omogeneità ed è di forma grossolanamente rettangolare. Il fascio laser, in seguito, attraversa un sistema detto omogeneizzatore.

A questo punto, viene aggiunto un primo laser He-Ne, di colore rosso (lunghezza d'onda 635 nm.), che segue la stessa direzione del fascio laser ad eccimeri e funge da aiming beam, rende cioè visibile il tragitto percorso dal raggio a 193 nm..

I due raggi laser, a questo punto, attraversano un diaframma di 2 mm. e raggiungono prima la lente di focalizzazione ed, infine, gli specchi oscillanti (x-y) capaci di portare lo spot laser sull'area corneale desiderata. ( *Foto 7* )

- **Computer per l'impostazione dei dati**

Di facile accesso e di semplice impiego, è situato alla destra del chirurgo ed è incorporato nella struttura del laser. Dispone oltre che di un software per la correzione chirurgica dei vizi refrattivi, miopia, ipermetropia e astigmatismo, di un programma



specifico per trattamenti terapeutici manuale e controllato dal computer stesso. Dispone inoltre di un software di controllo per l'assemblaggio del microcheratomo Hansatome.

La macchina dispone già della possibilità di essere interconnessa con un topografo e con un aberrometro per eseguire un'ablazione personalizzata. ( Foto 8 )

- **l'Eye-Tracker**

Questo particolare accessorio, derivato dai più sofisticati sistemi di puntamento militari, compensa i micromovimenti dell'occhio senza interrompere il trattamento. Il range di inseguimento é di 1.5 mm. Ciò significa che, durante l'esecuzione di un trattamento, un movimento del bulbo del paziente superiore a 3 mm. determina il blocco dell'erogazione degli spot (eye-tracker passivo); la ripresa del trattamento può riprendere, esattamente dallo stesso punto nel quale era stato interrotto, solo quando il paziente riprende la fissazione ed il sistema di eye tracking riconosce l'immagine memorizzata. La telecamera ad infrarossi ad alta risoluzione, il sistema di scansione laser ed il computer, inseguono l'occhio in maniera solidale. Il numero di informazioni che vengono scambiate tra i suddetti componenti é di circa dieci milioni al secondo.

Fanno parte del sistema di eye tracker

- un sistema di illuminazione ad infrarossi
- una telecamera ad infrarossi
- un display

La determinazione del centro dell'apertura pupillare avviene tramite il riconoscimento del margine pupillare; su di esso vengono tracciate tre tangenti e dal loro punto mediano originano tre perpendicolari che si incontrano in un punto che viene riconosciuto come il centro della immagine della pupilla.

Il sistema di calcolo prevede l'acquisizione di 50 posizioni al secondo, quindi con riallineamenti che avvengono ogni 20 millisecondi; la risoluzione spaziale, ovvero la sensibilità del sistema di riconoscere spostamenti dell'immagine e di riallinearla di conseguenza é pari a 25 micron.

Nel Laser **BAUSCH & LOMB 116 e 117** la telecamera è posta lateralmente a destra, mentre nel **Laser BAUSCH & LOMB 217c** essa é posta verso i piedi del paziente.

La Bausch & Lomb è impegnata in un piano di ricerca per perfezionare ulteriormente il sistema di eye-tracker, tecnologia indispensabile alla moderna interpretazione della chirurgia refrattiva, il nuovo sistema di puntamento prende il nome di Q3 99.

- **Sistema di distribuzione del fascio laser (Planoscan)**

Negli ultimi anni la tecnologia dei laser ad eccimeri ha subito una enorme evoluzione. Già i laser di seconda generazione avevano in qualche modo posto rimedio mediante l'utilizzo di nuovi programmi di ablazione a quelli che inizialmente apparivano i limiti più grandi di queste macchine.

I primi programmi di ablazione prevedevano un'unica zona ottica di trattamento che

presentava quindi un pendio molto ripido con i conseguenti effetti collaterali: glare notturno, regressione e isole centrali.

Il programma multizone è stato il primo passo avanti nella risoluzione di queste problematiche. Con questo programma veniva introdotto il concetto delle zone ottiche multiple (multizone), in genere doppie o triple, che richiamano la conformazione geometrica di taluni lenti oftalmiche (asferiche) con delle regioni anulari estreme dette "di transizione" che hanno lo scopo di addolcire il passaggio delle curvature e ampliare la zona ottica per ridurre l'entità delle aberrazioni introdotte dalla periferia.

Gli orientamenti per il futuro a proposito della zona ottica da impostare sono verso l'utilizzo di zone sempre più ampie; questo si traduce in maggior profondità del trattamento e questo costituisce un grosso limite quando ci si trova a dover trattare miopie di valore medio alto.

Lavorare con zone ampie può significare da un lato la risoluzione di problematiche come il glare notturno, ma significa altresì aumentare il rischio di superfici non perfettamente levigate, insorgenza di isole centrali e soprattutto maggiore insorgenza di haze nella PRK. Rimuovere molto tessuto significa inoltre stimolare marcatamente la fibroplasia stromale ed indebolire la struttura della cornea.

Nel laser 217c il rilascio degli spot di trattamento avviene a sequenza variabile e sotto il controllo di un computer, il diametro di questi spot è di 2 mm, questo nuovo sistema di ablazione prende il nome di Planoscan.

Si tratta quindi di un fascio laser del diametro di 2 mm. che modella a scopo refrattivo la cornea in modo preciso, e sotto il controllo di un computer. L'algoritmo è ottimizzato, in modo che due colpi consecutivi non vadano in collisione nello stesso punto, in questo modo viene minimizzata la carica termica sulla cornea e perciò si riduce la potenzialità di un trauma o di un edema.

Il Bausch & Lomb 217c ha una sofisticata tecnologia scanning di specchi rotanti che col loro movimento riescono a indirizzare lo spot del fascio laser nella posizione desiderata. Con questa tecnologia non solo è possibile piazzare il raggio laser precisamente nella posizione pre-programmata ma è altresì possibile integrare un sistema attivo di inseguimento dei movimenti dell'occhio (Eye-tracker). ( Foto 9 )

Questa tecnica di scanning ha la capacità di correggere miopia, ipermetropia, astigmatismo miopico e ipermetropico in ogni combinazione.

Il maggior vantaggio dell'algoritmo Planoscan paragonato ad un trattamento in multizone è una superficie ablata molto più liscia.

Questo è dimostrato dal paragone di entrambi i tipi di trattamento sul PMMA. Il profilo Planoscan mostra una corrispondenza migliore con il profilo teorico calcolato che non il trattamento in multizone.

Altro vantaggio è che la tecnica scanning Planoscan non crea Isole Centrali.

La maggior parte degli utilizzatori e dei fabbricanti di laser ad eccimeri hanno compensato al fenomeno dell'insorgenza di isola centrale aggiungendo qualche colpo addizionale nel centro della zona di trattamento fino al valore di correzione desiderato.

Bausch & Lomb dopo lunghe ricerche ha verosimilmente individuato il vero motivo dell'insorgenza di isole centrali ed ha quindi sviluppato un nuovo algoritmo scanning per correggere gli errori refrattivi e cioè il sistema Planoscan.

L'impatto del raggio del laser determina una quantità di 0,25 um di tessuto corneale da vaporizzare. Dopo l'impatto, un'onda shock d'alta pressione si allontana dalla superficie

d'ablazione. Dato che tutte le particelle del materiale di eiezione si allontanano dalla cornea ad alta velocità, si crea una zona di sotto pressione tra la nube di detriti e la superficie corneale. In risposta a questa pressione differenziale, qualche particella è riportata dall'esterno all'interno della nuvola di detriti e riempie la zona di sotto pressione. La velocità di queste particelle mobili è più lenta della velocità della nuvola di detriti che si muove all'insù, quindi qualcuna di queste particelle è spinta sulla superficie corneale per depositarsi in loco. Il risultato di questo effetto è che con ogni colpo c'è una leggera minor quantità di tessuto rimosso dal centro del trattamento rispetto a quanto ne viene asportato dalla periferia.

Se si paragona la fotografia di una esplosione corneale all'impatto del fascio laser ricavata da un trattamento multizone a quella scattata nel corso di un trattamento in planoscan, si può vedere che la nuvola di detriti, nel secondo caso, è molto più sottile e più concentrata di quella che si può reperire nel corso di una metodica multizone. Con la procedura planoscan non si crea quindi nessuna zona di sottopressione e quindi non si crea accumulo di materiale di eiezione nell'area centrale del trattamento in quanto tutte le particelle possono volare via e non vengono spinte nuovamente verso la cornea. La superficie ablata risultante è così molto più levigata senza irregolarità significanti.

Il Bausch & Lomb 217 c offre la possibilità di eseguire trattamenti di PTK mediante due procedure:

-manuale: in cui il controllo del raggio laser avviene mediante un "Joystick" a controllo manuale e con uno spot dal diametro fisso di 2 mm.

- computerizzato: lo spot è sotto il controllo del computer; due parametri sono inseriti nel computer, il diametro e la profondità dello strato che deve essere rimosso. È possibile programmare entrambi i parametri ed è possibile ripetere più volte la procedura.

È anche possibile usare il sistema "eyetracking" attivo per questa procedura.

#### • **Test di controllo dell'energia del fascio laser**

La fluenza rappresenta la quantità di energia posseduta in uscita dal raggio laser. Nel laser BAUSCH & LOMB essa è pari a  $130 \text{ mJ/cm}^2$ .

Poiché alterazioni della fluenza si riflettono in modo direttamente proporzionale sul cut rate (tasso di ablazione), è intuitivo che una cattiva fluenza del fascio laser è in grado di dare luogo ad una cattiva fotoablazione.

Inoltre, riflettendo sulla genesi del fascio laser e sulle modalità con le quali esso viene portato sul tessuto da fotoablare, è possibile riconoscere le cause di una cattiva fluenza.

Nei laser BAUSCH & LOMB, il test di fluenza viene effettuato su di una piastrina di Polimetilmetacrilato (PMMA) sulla quale, con l'interposizione di uno strato di colla è applicata una sottile lamina argentata. Il test di fluenza viene effettuato dopo avere attivato la speciale opzione prevista dal software e dopo avere regolato l'energia di uscita del raggio laser.

La piastrina viene posta sotto al microscopio ed il fascio laser viene allineato e focalizzato su di essa. Dopo avere abilitato il test di fluenza, premendo 's', la pressione sul pedale rilascia i primi impatti laser, del diametro di 2 mm., sulla piastrina di fluenza. Sul monitor appare il numero di colpi erogati, dapprima con una frequenza di 50 Hz, per i primi 50 colpi, poi, automaticamente, con una frequenza di 4 Hz. L'operatore deve, a questo punto, verificare quando si ottiene l'ablazione della lamina argentata e dello strato di colla e, in particolare:

- *quanti colpi sono stati necessari per ottenere la prima comparsa del rosso dello strato di PMMA*

Il numero totale di colpi necessari per ottenere una esposizione completa della lamina di PMMA deve essere pari a  $65 \pm 2$ ; questo significa che possono essere accettati 63 o 67 colpi. Il significato di tale test è quello di testimoniare che il raggio laser possiede una buona energia ed un buon cut rate.

Se occorre un numero di colpi superiore a 67 per ottenere l'esposizione di un cerchio di PPMA, ciò significa una energia troppo bassa ed un cut rate insufficiente; è necessario agire sull'apposito comando ed aumentare la fluenza, facendo diminuire l'inclinazione dei due attenuatori rispetto alla direzione del fascio laser. Il test viene quindi ripetuto per verificare se si è rientrati nel range previsto.

Se occorre un numero di colpi inferiore a 65 per ottenere l'esposizione di un cerchio di PPMA, ciò significa una energia troppo alta ed un cut rate eccessivo; è necessario agire sull'apposito comando e diminuire la fluenza, facendo aumentare l'inclinazione dei due attenuatori rispetto alla direzione del fascio laser l'energia. Il test viene quindi ripetuto per verificare se si è rientrati nel range previsto.

- *quanti colpi sono stati necessari per ottenere la comparsa di un cerchio rosso completo e quale è stata la modalità con cui sono stati asportati gli strati superficiali (lamina e colla)*

Oltre ad un esame della quantità di energia erogata dal raggio laser, il test di fluenza consente di valutarne le caratteristiche di omogeneità. È molto utile osservare e comprendere non solo con quanti colpi ma anche con quale modalità è avvenuta l'ablazione degli strati più superficiali della piastrina durante il test di fluenza.

Una buona omogeneità nello spot di 2 mm. ci dà la garanzia che la stessa quantità di energia viene portata su tutti i punti della sua superficie. In condizioni normali, si ottiene un viraggio tra bianco (il colore dello strato di colla) e rosso (il colore del PMMA) in un intervallo di 5-6 colpi. Può rimanere una finissima e dispersa granularità bianca; la sua asportazione con un ulteriore colpo può inutilmente portare ad un sovraccarico di energia.

**Il fatto che la Casa Produttrice consideri come accettabile un numero di colpi tra 63 e 67 per garantire una buona fluenza;**

**il fatto che il viraggio bianco/rosso avvenga nell'intervallo di 5-6 colpi;**

**il fatto che, per un cut rate pari a 0,25 micron, 5-6 colpi stiano a significare una ablazione pari a 1,25 - 1,5 micron;**

**il fatto che per ottenere la correzione di una diottria miopica con una zona ottica di 5,5 mm. l'ablazione tessutale sia pari a 20 micron;**

**devono farci riflettere circa l'affidabilità dello strumento e la delicatezza con la quale deve essere affrontata la sua preparazione e taratura.**

Il bordo del cerchio rosso è una sottile linea bianca data dalla sezione dello strato di colla, che deve essere sottile e con le stesse caratteristiche su 360°. È da segnalare il fatto che, nel Laser BAUSCH & LOMB 217C, il contorno del cerchio rosso è poligonale anziché circolare come nelle versioni precedenti.

A volte si ottiene un test di forma non circolare o con bordi bianchi di maggiore spessore. La causa di ciò è molto spesso da ricercare in uno spostamento della piastrina mentre si sta effettuando un test di fluenza, soprattutto se tale anomalia compare improvvisamente.

Una evenienza più complessa è rappresentata dalla possibilità di un cattivo allineamento delle ottiche.

Ogni anomalia nell'esito del test di fluenza deve fare riflettere per trovare quale ne sia stata la causa e deve indurci a sospendere ogni trattamento fino a quando essa non sia stata identificata e risolta.

### **Consigli pratici per l'utilizzo del laser *BAUSCH & LOMB 217c***

- **Posizione di lavoro**

In questa fase preliminare il chirurgo deve assicurarsi che la posizione di lavoro, determinata dall'altezza dello sgabello e dalla posizione della testa del microscopio operatorio sia la più idonea. Va segnalato che la distanza di lavoro é, nel laser BAUSCH & LOMB 217c, lievemente maggiore che nelle versioni precedenti. É necessario regolare gli oculari in base all'eventuale difetto refrattivo ed alla distanza interpupillare. In questa fase, é bene, anche, controllare la pulizia degli oculari ed impostare l'ingrandimento e l'intensità di luce più appropriati per la fase iniziale del trattamento da effettuare.

- **Prima centratura e messa a fuoco**

La prima operazione da compiere, quando il paziente viene posto sotto il microscopio operatorio, è quella di centrare il campo operatorio e di effettuare una prima messa a fuoco. In questa fase è bene lasciare accese la luce di fissazione e il verde di messa a fuoco. La corretta messa a fuoco si ottiene quando, agendo con il joystick, le due luci risultano sovrapposte. Si cerchi di centrare l'insieme delle due luci nel centro del campo pupillare e di controllare fin da questo momento la posizione della testa del paziente.

- **Inizializzazione dell'eye-tracker**

Si tratta di una procedura preliminare alla vera e propria cattura dell'eye-tracker, che consente allo strumento una preliminare taratura, nella scala dei grigi, in base al colore dell'iride ed al diametro della pupilla. La procedura viene effettuata dopo l'apposizione del blefarostato e dopo che è stata fatta una prima centratura e messa a fuoco al massimo ingrandimento del microscopio operatorio; non risente della intensità della luce utilizzata.

- **Messa a fuoco e centratura ottimali**

Vanno effettuati in modo ottimale prima della procedura di aggancio dell'eye-tracker, nel caso della PRK dopo la disepitelizzazione, nel caso della LASIK dopo il sollevamento del lembo (alcuni chirurghi preferiscono effettuare questa operazione dopo il taglio e subito prima di sollevare il lembo). Dalla corretta esecuzione di questa procedura deriva il risultato del trattamento fotoablativo. Perciò è necessario comprendere in che modo ottenerle.

1. **Predisporre il computer all'aggancio dell'eye-tracker**

*Selezionare dall'apposito menù (PRK o LASIK o Refrattiva) la voce "Trattamento" e premere "x" per consentire l'aggancio dell'eye-tracker.*

2. **Spegnere la luce di fissazione e lasciare accese l'aiming beam e la luce verde di messa a fuoco**

- In questo modo si ha la possibilità di focalizzare il sistema sulla superficie corneale e di centrare il fascio laser sul punto desiderato.*
3. Chiedere al paziente di fissare la luce rossa dell'aiming beam  
*In questo modo, il fascio laser crea un riflesso sulla superficie corneale in un punto posto sull'asse che va dall'infinito al punto di fissazione (asse visivo).*
  4. Con il massimo ingrandimento del microscopio operatorio, agendo sul joystick x-y centrare l'aiming beam sulla superficie corneale in corrispondenza di quello che si desidera essere il centro del trattamento  
*L'aiming beam, e dunque il raggio ad eccimeri, viene posizionato sul centro del trattamento*
  5. Agendo sul joystick della messa a fuoco, far sovrapporre la luce verde a quella rossa dell'aiming beam  
*Si ottiene la corretta messa a fuoco del sistema*
  6. Quando il complesso luce rossa dell'aiming beam e luce verde di messa a fuoco sono nel punto della superficie corneale desiderato, invitare il paziente a fissare attentamente la luce rossa, premere il pedale del laser e rilasciarlo immediatamente dopo  
*Si effettua la centratura e la cattura dell'eye-tracker*
  7. Spegnerne l'aiming beam ed accendere la luce di fissazione  
*È meglio spegnere l'aiming beam, perché le modalità di distribuzione degli impatti laser nel sistema Planoscan indurrebbero movimenti di ricerca da parte del paziente*
  8. Verificare la coincidenza della luce di fissazione con quella di messa a fuoco  
*Si tratta di un ulteriore controllo per verificare l'allineamento; almeno teoricamente è superfluo se è stato effettuato in precedenza un beam alignment, cioè se si è provveduto ad allineare correttamente, nella fase di preparazione del laser, il raggio di fissazione con l'aiming beam*
  9. Iniziare il trattamento  
*Durante il trattamento il sistema di puntamento consente di ottenere un riallineamento del sistema nel caso di movimenti dell'occhio del paziente entro il raggio 1,5 mm. La verifica avviene 50 volte al secondo, ovvero ogni 20 millisecondi; il sistema dell'eye-tracker è in grado di riconoscere e correggere micromovimenti di 25 micron. Nel caso che ci sia uno spostamento grossolano dell'occhio del paziente, il sistema si arresta automaticamente, per riprendere quando viene riconosciuta l'immagine acquisita nella fase di aggancio dell'eye-tracker, cioè quando il paziente ha ripreso la fissazione.*
  10. Durante il trattamento, la presenza del sistema di eye-tracking non esclude la necessità di un continuo controllo da parte dell'operatore di quanto accade nel campo operatorio.  
*Nel caso che ci si accorga che il sistema sia defocalizzato, si può procedere ad una rifocalizzazione o ad un nuovo centraggio del trattamento premendo la funzione F4 e regolando la nuova posizione con l'aiuto dei cursori; al termine dell'operazione, premere di nuovo F4 e riprendere il trattamento.*

- ***Posizionamento delle due fonti di illuminazione ad infrarossi del modello 217 c***

Le due fonti di illuminazione ad infrarossi devono essere posizionate con un angolo di inclinazione di trenta gradi rispetto al piano corneale ed ad una distanza di circa 3 cm dall'apice corneale stesso.

Per occhi molto chiari l'angolo di inclinazione deve essere lievemente aumentato, ma mai superiore ai 45 °.

Il posizionamento della fonte luminosa ad infrarossi deve essere effettuata, nella tecnica Lasik, dopo il taglio e prima del sollevamento del lenticolo.

É essenziale per un corretto funzionamento dell'eye-tracker che l'immagine a infrarossi della pupilla ( sullo schermo del computer) sia pulita ed abbia un buon contrasto; l'anello pupillare deve essere visto molto chiaramente e senza ombre. ( Foto 10 – 11 )

L'uso dell'Eye-tracker è sconsigliato nei seguenti casi

- Coloboma dell'iride
- pupille ovalari
- sfocatura della telecamera ad I.R.
- problemi di contrasto tra iride e pupilla nell'immagine ad I.R.

Con la funzione F1 è possibile escludere l'eye-tracker

Cosa fare in caso di defocalizzazione del piano di lavoro?

Rifocalizzare usando la funzione F4

Con un corretto uso di questo dispositivo di eye-tracker è possibile eseguire trattamenti anche in pazienti con nistagmo. ( Foto 12 )

### **Conclusioni**

Questa macchina per le sue peculiari caratteristiche: sistema di ablazione Planoscan mediante spot volante, eye-tracker attivo e passivo, e topo-link rappresenta senza alcun dubbio quanto di più tecnologicamente valido il mercato dei laser ad eccimeri possa offrire.

### **Caratteristiche tecniche del laser Bausch & Lomb 217 c-Lasik**

Cut-rate	0.25 micron per impulso	
Sistema di ablazione:	a scansione (flying-spot)	
Diametro dello spot	2 mm (Planoscan)	
Cavità	in ceramica	
Gas	fluoruro di argon	
Zone ottiche di trattamento (massime):		
	Miopia	ca. 8.5 mm.
	Astigmatismo	ca. 5 X 8 mm.
	Ipermetropia	ca. 9 mm.
Lunghezza d'onda	193nm	
Frequenza di impulsi	50 Hz	
Durata degli impulsi	18 ns ca.	
Fluenza alla cornea	120 mj/cm2	

Eye-tracker	attivo e passivo
Raffreddamento	interno a circuito chiuso
Microscopio	Moeller-Wedel
Ingrandimenti:	3,4x, 6x, 8,5x
Alimentazione	220-230 VAC/16A 50/60 Hz
Dimensioni	lunghezza 2.6 m larghezza 1.2 m altezza 1.5 m
peso	680 Kg.

Il 217c della TecnoLas ha un rendimento ottimale per parametri di temperatura intorno ai 20 gradi centigradi e una umidità non superiore al 45%.

### ***Laser ad eccimeri summit apex plus (model b)***

#### **• Introduzione**

Il laser Summit utilizza un fascio laser a diametro variabile mediante iride meccanica, si tratta quindi di un fascio laser broad beam di 6.5 mm. Oltre alla correzione della miopia con l'ausilio di maschere ablabili è possibile correggere ipermetropia e astigmatismo. Questo laser nonostante la grande evoluzione che si è avuta nel corso degli ultimi anni in materia di eye-tracker, ancora oggi non possiede un sistema di inseguimento dei movimenti dell'occhio in fase di trattamento. ( Foto 13 )

Tre le parti essenziali che caratterizzano i laser Summit.

- Cavità laser ed alimentazione ad alta tensione
- Gruppo idropneumatico di alimentazione del gas alla cavità
- percorso ottico e diaframma manipolatore del fascio laser

Queste tre parti o unità sono strettamente interconnesse tra loro.

#### **• Cavità**

Nella cavità laser vengono generati i fotoni di energia ed in essa è contenuto il materiale eccitabile (gas Arf) sotto vuoto spinto (in assenza di ossigeno). Tale cavità comprende un iniettore (per la miscela di gas) e due elettrodi attraverso i quali avviene la scarica elettrica (poli di carica).

Al raffreddamento della cavità laser sono preposti due sistemi, un circuito chiuso di raffreddamento ad acqua a mezzo di un climatizzatore esterno ed un convogliatore di aria per mezzo di una ventola all'interno dello strumento.

Un sistema a pompa a pressione negativa assicura lo svuotamento e la ricarica del gas eccitabile all'interno della cavità laser.

Un sistema a valvola consente lo scarico del gas già contaminato.

L'alimentazione della cavità comprende un sistema di condensatori di carica ad alto voltaggio (20.000 - 40.000 Volt) disposti in parallelo, e un trasduttore ad alto rendimento



di carica. Per ottenere tensioni più alte ed un circuito di scarica più veloce, i condensatori sono disposti e caricati insieme per mezzo di un secondo condensatore, realizzando così la cosiddetta scarica ad impulso, da cui il termine di laser pulsato.

La fluenza viene continuamente controllata tramite misuratori di energia per ultravioletto che regolano il parametro "alta tensione" in funzione dell'emivita della miscela Arf.

Due misuratori di energia controllano la fluenza all'uscita dalla cavità alla fine del rail ottico.

Il primo misuratore (power monitor 1) è posto in prossimità dell'uscita dalla cavità e da informazioni sul totale dell'energia emessa con valori intorno ai 200 mJ a seconda dello stato del gas eccitabile presente in cavità.

Il secondo misuratore (power monitor 2) è situato alla fine del percorso ottico e garantisce una corretta quantità di energia che deve essere intorno ai 180 mJ.

I due sistemi interagiscono tra loro per ridurre o compensare tutte le perdite di energia del fascio laser lungo il percorso ottico.

- **Serbatoi gas**

Gas utilizzati:

- Argon Gas preMix in contenitore cilindrico pressurizzato da 140 cariche esterno al laser
- Fluorine Gas in contenitore cilindrico da 140 cariche posto all'interno del laser in camera ermetica
- Azoto gas in contenitore cilindrico pressurizzato

- **Percorso ottico**

Il percorso ottico del beam laser e le relative lenti omogenizzatrici sono contenute in ambiente ermetico contenete Azoto tipo PA con grado di purezza del 99.998%. L'azoto, espellendo l'aria dal rail ottico, preserva la maggior parte dell'energia del fascio laser che altrimenti verrebbe fortemente attenuata dalla presenza di aria, evita inoltre il depositarsi sulle ottiche del pulviscolo contenuto nell'aria stessa.

- **Computer per l'impostazione dei dati**

I comandi del computer sono disposti in una posizione opposta al chirurgo, con questa soluzione il chirurgo è impossibilitato ad intervenire in prima persona, durante le fasi dell'intervento, sul computer stesso.

- **Eye-tracker**

Questo laser nonostante la notevole evoluzione tecnologica sviluppatasi in questo settore, ancora oggi non dispone di un sistema di inseguimento dei movimenti oculari. Al paziente viene chiesto di mantenere la fissazione avendo come riferimento un punto luminoso. Per la procedura Lasik molti chirurghi si affidano all'utilizzo di un anello di suzione mantenuto in sede dopo il taglio a valori intorno ai 20 mmHg per mantenere fermo il bulbo oculare in fase di trattamento laser.

- **Sistema di distribuzione del fascio laser**

Questo laser utilizza un sistema di distribuzione del fascio laser chiamato "Broad beam",

si tratta di un concetto quasi del tutto superato dai laser di nuova generazione che utilizzano Flying spot.

Il sistema di distribuzione del fascio laser dalla summit di per sé consente il trattamento della sola miopia, per il trattamento di ipermetropia ed astigmatismo si rende necessario l'utilizzo di maschere ablabili.

- **Test di controllo dell'energia del fascio laser**

La calibratura del sistema laser è essenziale per, raggiungere l'accuratezza che è ritenuta peculiare delle tecniche di chirurgia refrattiva con laser ad eccimeri.

I misuratori sono notoriamente inattendibili ed hanno una precisione non superiore al 20% alle lunghezze d'onda utilizzate nei laser ad eccimeri. Se l'emissione laser è troppo alta, il laser rimuoverà più tessuto del necessario e si realizzerà una ipercorrezione. Se l'emissione del laser è troppo bassa, il laser asporterà meno tessuto ed il paziente risulterà ipocorretto.

Il test di omogeneità del raggio laser viene effettuato su di una test-card fornita dalla ditta. È un test plurimo: la prima parte verifica la perforazione centrale con spot da 1 mm della superficie argentea della carta tra i 67 e i 71 colpi (il numero degli impulsi necessari per ablare una plastica ben definita fornisce una misura diretta del potere ablativo del raggio laser). La seconda parte, effettuata a tutto beam (6.5 mm), verifica in primo tempo la perforazione della test-card che deve avvenire centralmente tra il 64° ed il 68° colpo, ed in secondo tempo l'erosione progressiva della card, che deve avvenire in modo centrifugo e regolare nel 95% dell'area di 6.5 mm, entro i successivi 30 colpi. (In maniera analoga, ma non alternativa, si può utilizzare una carta-gelatina fotografica Kodak da 100 micron, wratten gelatin filter codice n° 96 N.D. 100). La qualità della trasmissione della luce attraverso la plastica risultante viene valutata per uniformità e per "punti caldi" (hot spots). In tal modo la qualità della lente di plastica ablata può essere osservata direttamente ed accertata dalla qualità dell'immagine delle mire nel lensometro.

Questi parametri sono tenuti costanti dal complesso sistema di controllo dell'energia. Vediamo adesso come si procede all'accensione ed alla verifica dell'omogeneità del fascio laser:

In primo luogo bisogna accertarsi di avviare il climatizzatore (chiller) di raffreddamento del laser qualche minuto prima dell'accensione del laser stesso. Aprire sia il gas Azoto che il gas Argon pre-mix. Accendere il laser.

Se spento da più di 7 giorni, utilizzare il gas rimasto in cavità precedentemente per passivare le pareti della cavità ( 300-500 colpi). Impostare una ricarica dei gas (refill) in cavità. Impostare il test di omogeneità del raggio. Questo si effettua su di una test-card fornita dalla ditta di cui abbiamo già parlato.

L'operatore, quando è richiesto dal laser, può provvedere alla immissione di nuovo gas in cavità, ma limitatamente durante le giornate di estremo utilizzo della strumentazione.

Ad ogni ricarica (refill) del gas effettuato al momento dell'accensione della strumentazione, il laser si pone da 1 a 4 livelli di energia a seconda dello stato di efficienza delle ottiche lungo il rail e proporzionalmente alla vetustà delle stesse nel tempo (in genere, a seconda delle funzioni di omogenizzazione del fascio laser, vengono sostituite tra i 60.000 e i 100.000 colpi). La soglia minima di energia del laser è di 22.000

Volt, al di sotto della quale si è obbligatoriamente costretti a salire di livello, mentre sopra i 24.000 è preferibile scendere di livello. Poiché come detto in precedenza, l'energia dell'impulso laser deve essere mantenuta costante per un certo periodo di tempo, dall'equilibrio tra la progressiva degradazione del gas eccitabile e l'incremento della tensione agli elettrodi, fino alla sostituzione del gas della cavità quando la tensione raggiunge il suo limite superiore. Ad ogni livello di energia corrispondono due microricariche di gas Fluoruro detti boost. Una volta che i condensatori giungono a 25.000 Volt, automaticamente si attiva un boost di gas per rinnovare, con un pò di "gas fresco", la miscela Arf in cavità, e di conseguenza il livello di energia si abbassa di nuovo, fino a risalire, con l'uso progressivo del laser, nuovamente alla soglia dei 25.000 Volt e l'inevitabile utilizzo del secondo boost di gas. C Così terminati i due boost, il voltaggio può raggiungere i 26.000 volt oltre la soglia del quale si è costretti a fare un refill completo del gas in cavità con il riassetto del livello di energia preimpostato nel refill precedente e così i boost.

In conclusione, la continua ricerca di equilibrio tra l'emivita del gas in cavità e la tensione di carica elettrica, mantiene costante la fluenza del beam laser in ogni suo punto dei 6.5 mm di fascio, fino alla sostituzione del gas in cavità quando la tensione raggiunge il suo limite superiore oltre il quale lo strumento non assicura l'omogeneità e la qualità del fascio laser. Ad ogni trattamento laser, il sistema simula con un autotest quanto impostato, e solo con un'energia all'interno della forchetta di valori, il laser fa accedere al trattamento.

Al termine è possibile effettuare una procedura automatizzata di pulizia e ricondizionamento della cavità laser con il gas residuo e di mantenimento con una parziale immissione in cavità di gas Arf fresco a bassa pressione. Ricordarsi di chiudere le bombole di gas Azoto ed Argon preMix ed escludere il chiller dopo qualche minuto. Non escludere mai lo strumento dalla rete di alimentazione elettrica in quanto, anche a sistema spento, rimane in funzione all'interno dello strumento un filtro aspirante per l'eliminazione dell'ozono che si sviluppa intorno alla cavità laser, e per mantenere un ambiente più favorevole all'emivita degli elementi ottici.

### **Conclusioni**

Questa macchina fa del controllo dell'energia la sua arma migliore. La strategia di ablazione non al passo con i tempi e la mancanza di dispositivi di eye-Tracker e di topolink fanno sentire il loro peso nella valutazione complessiva.

### **Dati tecnici del laser Summit Apex Plus**

- Cut rate: 0.20 -0.22 micron
- Sistema di ablazione: broad beam
- Cavità: Summit (metallica)
- Modalità del fascio: Spot ad iride meccanico ( diametro minimo 2mm.; diametro massimo 6.5 mm.) per trattamenti sferici  
Laser disk system per ipermetropia, ed astigmatismi miopici ed ipermetropici semplici o

- composti.
- Massima zona ottica refrattiva finale 6.5 mm compresa transizione nel millimetro
  - Densità energia: massima fluensa 200 mJ/cm<sup>2</sup>; in uscita 180 mJ/cm<sup>2</sup>.
  - Frequenza: 10 hz e 20 hz, utilizzo 10 hz.
  - Durata dell'impulso : 7 nanosecondi
  - Eye-Tracher: no
  - Fissazione: led interno per il paziente
  - Messa a fuoco: due laser He-Ne riferiti ai margini della pupilla
  - Microscopio: coassiale
  - Alimentazione: 110-220 V, 15 A
  - Precalibrazione: interna e su lamina speciale
  - Ingombro : larghezza 99 cm.  
profondità 77 cm.  
Altezza 165 cm.
  - Peso circa 640 Kg

### ***Laser ad eccimeri Visx star S2***

- **Introduzione**

Fondata nel 1986, Visx Incorporated (Santa Clara CA, USA) è stata un pioniere nel campo della chirurgia refrattiva. Prima compagnia ad aver trattato un occhio umano (1986), nel 1989 il suo sistema laser (20/20 laser system) ha cominciato ad essere distribuito commercialmente.

Lo *Star Smoothscan S2* (ultimo aggiornamento di questo sistema) permette la correzione di difetti miopici, ipermetropici, misti ed irregolari. Attualmente Visx ha al suo attivo oltre 350 sistemi installati in 40 paesi, con più di mezzo milione di occhi trattati e 140 soluzioni innovative brevettate.

La tecnica di asportazione VISX *Star S2* può essere fatta rientrare nella categoria dei laser ad area, tuttavia ne differisce sostanzialmente per due caratteristiche. In primo luogo sulla cornea non viene inviato un solo impulso per volta, ma una *combinazione di sette impulsi* che levigano la cornea durante l'ablazione. Questa tecnologia, detta *Smoothscan*, mantiene la superficie corneale ad un grado di levigatezza confrontabile con quella preoperatoria, favorendo la ricrescita epiteliale (PRK) o l'adesione *del lembo* (Lasik). La seconda caratteristica in cui il Visx Star S2 differisce da un laser ad area ordinario è costituita dal fatto che il fascio (o meglio, l'insieme dei sette fasci) può effettuare una scansione in modo simile ad un laser a flying spot. Questa tecnica mista permette agevolmente di trattare *difetti ipermetropici* (anche astigmatici) e, mediante un algoritmo

di calcolo denominato *Contour Ablation Pattern Method* (CAP method) di cui parleremo in seguito, di trattare cornee irregolari.

La possibilità di effettuare scansioni rende lo Star simile *in flessibilità* ad un flying spot, tuttavia il fatto di impiegare un fascio di forma e dimensioni variabili anziché fisse riduce la possibilità dell'effetto mosaico. Infatti la forma complessiva della superficie ablata è ottenuta anche nel caso di scansione dei fasci mediante una "*sovrapposizione* (parziale o completa) *di strati asportati*", anziché mediante un *accostamento* (che non può mai essere perfetto) *di piccole ablazioni* come nel caso del flying spot. ( *Foto 14* )

- **Cavità**

Il Visx Star lavora con una fluenza sul piano corneale di  $160 \text{ mJ/cm}^2$  che corrisponde ad uno spessore di materiale asportato pari a 0,25 micron per impulso. Il laser ad eccimeri richiede per il suo funzionamento di una cavità all'interno della quale vi sono gas in pressione che producono un raggio laser se attraversati da una scarica elettrica ad alta tensione (25-30kV). Maggiore è la tensione, maggiore è l'energia dell'impulso laser prodotto.

- **Serbatoi gas**

I gas sono forniti da due bombole alloggiare all'interno del sistema: una contenete una combinazione premiscelata di Argon , Fluoro, Neon ed Elio (Premix), l'altra contenente Elio di elevata purezza. Solo i gas contenuti nel Premix partecipano all'azione laser, mentre l'Elio proveniente della seconda bombola è sostanzialmente un gas inerte (buffer che serve a mantenere la giusta pressione della miscela nella cavità laser (2600 mbar). Per questo motivo una maggiore concentrazione di premix produce, a parità di tensione, una energia luminosa più elevata, mentre una maggiore concentrazione di Elio, diluendo il Premix, provoca una energia più bassa. Molti accorgimenti sono stati introdotti nello Star per ridurre il consumo di gas

Tra di essi lo sviluppo di un software intelligente che memorizza la "storia" del laser e si adatta costantemente alle lente modifiche di funzionamento (causate principalmente dall'usura delle ottiche) garantendo un impiego di gas sempre efficiente ed ottimizzato.

Il laser contiene anche accorgimenti che aumentano la vita della miscela; tra di essi, un sistema di ricircolo dotato di filtro che depura il gas, un ridotto volume della cavità che riduce la quantità di gas necessario per un riempimento e l'impiego di materiali ceramici a bassissima contaminazione. Il consumo complessivo di gas dipende dal numero di occhi trattati; calcolando una media attorno ai 100 interventi al mese le bombole hanno una durata che varia dai 3 ai 6 mesi. A parte il gas, le uniche parti soggette ad usura del laser sono le ottiche ed i filtri. La loro durata varia da 1,5 a 3 anni.

Inizialmente il programma regola le proporzioni di Premix e di Elio contenute nella cavità in modo da generare la fluenza voluta ad una tensione di 25-kV. Durante il funzionamento del laser il premix si contamina lentamente riducendo la sua efficacia. Se la tensione fosse mantenuta fissa la fluenza sulla cornea e quindi lo spessore di materiale asportato diminuirebbe gradualmente compromettendo la precisione del trattamento. Il sistema di controllo automatico aumenta quindi la tensione di scarica in modo da mantenere la fluenza al valore corretto. Quando la tensione raggiunge i 30 kV, per ripristinare la corretta energia di uscita è necessario sostituire parte del gas contaminato

con nuova miscela. Ciò avviene mediamente ogni 10-20 interventi. Il software di gestione del laser avvisa che è necessario un cambio parziale di miscela e calcola quanto gas è necessario sostituire. Procede quindi alla sostituzione parziale (boost). A questo punto il gas contenuto nella cavità è ritornato ad essere più efficiente e la tensione di funzionamento iniziale di 25kV può venire ripristinata.

- **Il percorso ottico**

Il *laser ad eccimeri* genera la radiazione necessaria per l'ablazione del tessuto corneale, questa radiazione viene inviata in un *sistema ottico* che dà al fascio l'opportuna omogeneità e forma, prima di essere inviato sull'occhio del paziente.

Prima di raggiungere la zona del trattamento la radiazione viene modificata in forma e distribuzione da una serie di moduli presenti nel sistema di trattamento del fascio. Il sistema di trattamento del fascio è posizionato in un modulo che si protende dal corpo del laser e che funge anche da supporto per la consolle del medico. Esso contiene le ottiche (3 specchi e 4 lenti) ed i dispositivi necessari per ottenere il fascio di forma e dimensioni volute. Tutto il modulo è dotato di un sistema di depurazione dell'aria che funziona anche se il laser è spento e mantiene le ottiche pulite.

Per ottenere, a partire dal fascio rettangolare in uscita dal laser gli impulsi di forma voluta, la radiazione viene prima resa omogenea, simmetrica e separata in sette fasci da un modulo detto integratore. Viene poi resa della forma voluta dal beam shaping module. Una lente a bassa aberrazione (contenuta nell'*hyperopia module*) ricombina i sette fasci, permette a questi un movimento a scansione. La sovrapposizione dei fasci e la sincronizzazione del loro movimento temporale sono opportunamente regolate in modo da generare un profilo della superficie ablata estremamente regolare e graduale. In altre parole i sette fasci agiscono in modo coordinato levigando la superficie durante l'ablazione e generando un profilo complessivo estremamente liscio e preciso (tecnologia Smoothscan).

Le ottiche del sistema di trattamento del fascio sono soggette ad usura e necessitano di sostituzione circa ogni 2 anni a secondo del numero di interventi effettuati. ( *Foto 15* )

- **Computer per l'impostazione dei dati**

La gestione del sistema ottico, delle sue movimentazioni meccaniche e di altri comandi è gestita direttamente dal computer, mentre il funzionamento del laser è controllato comunicando ad un secondo *microprocessore* dedicato le prestazioni richieste e lasciando a quest'ultimo il compito di generare i conseguenti comandi di abilitazione. Nella *zona d'intervento* è posizionata la *consolle del medico*, dotata di un *microscopio*, di una *telecamera* e di una serie di comandi che muovono la sedia del paziente, modificano l'ingrandimento del microscopio e regolano l'illuminazione della cornea da trattare.

Il computer di controllo gestisce le varie parti del sistema e permette, attraverso una workstation dotata di tastiera e monitor l'impostazione dei comandi da parte dell'utente.

Tutte le funzioni presenti nel sistema di trattamento del fascio sono controllate direttamente da questo computer. Esso è inoltre costantemente in dialogo con il processore di gestione del laser che gli comunica i dati di funzionamento. La sua funzione di controllo non si limita quindi ad inviare i comandi ai vari moduli, ma verifica costantemente che tali comandi siano stati eseguiti.

Il software di gestione dei trattamenti è dotato delle seguenti opzioni:

trattamento per la rimozione dell'epitelio (trans-epithelial)  
trattamento terapeutico (PTK)  
trattamento correttivo standard (standard PRK)  
trattamento correttivo personalizzato e per correzioni irregolari

- **Eye-Tracker**

Questa macchina non dispone di sistema di eye-tracker e questo rappresenta un limite notevole per gli utilizzatori esposti più che con altre macchine al rischio di decentramenti.

- **Sistema di distribuzione del fascio laser**

La tecnica di asportazione VISX *Star S2* può essere fatta rientrare nella categoria dei laser ad area, tuttavia ne differisce sostanzialmente per due caratteristiche. In primo luogo sulla cornea non viene inviato un solo impulso per volta, ma una *combinazione di sette impulsi* che levigano la cornea durante l'ablazione.

- **Test di controllo dell'energia del fascio laser**

Il programma di interfaccia con l'utente funziona in ambiente windows ed è dotato di una serie di procedure automatiche. Oltre alla gestione del cambio gas, di cui si è parlato, vi è una procedura di calibrazione delle lenti che permette, attraverso la simulazione del trattamento su plastiche di prova (-4 D sfera, -4 D cilindro, 0 D sfera, +2 D sfera), di verificare l'entità del potere diottrico generato dall'ablazione e di effettuare quindi una regolazione fine dell'energia inviata sulla cornea. La tecnologia Smoothscan produce ablazioni su plastica di qualità ottica eccellente, confrontabile con quella ottenuta con lenti molate; ciò permette una lettura estremamente precisa del potere diottrico generato dall'ablazione, garantendo una calibrazione totalmente priva di ambiguità e quindi sempre ottimale per il sistema. Una seconda procedura di calibrazione automatica (patient energy calibration) verifica la densità di energia e la tensione di comando del laser prima di ogni trattamento, come visto in precedenza; nel caso la tensione richiesta superi il valore massimo, il software procede alla sostituzione parziale della miscela. A sostituzione avvenuta la procedura di calibrazione viene ripetuta automaticamente.

- **Trattamento correttivo personalizzato e CAP method**

Secondo le indicazioni della casa produttrice quest'ultima tecnologia dovrebbe consentire la progettazione di strategie di trattamento multizona personalizzate che possono impiegare zone sferiche, cilindriche ed ellittiche, secondo una tabella analoga a quella del trattamento standard. Questo metodo dovrebbe permettere ampia libertà di scelta in relazione al potere, al diametro ed alla forma delle zone da impostare adattandosi a qualsiasi strategia di trattamento dalla più semplice alla più complessa ed elaborata ed inoltre dovrebbe rendere possibile la correzione di difetti corneali irregolari. In relazione a quest'ultima opzione l'algoritmo determina il trattamento ottimale attraverso l'impiego di un software di supporto che analizza in dettaglio i dati ottenuti dalle mappe corneali, suggerendo la strategia ottimale. L'algoritmo su cui è basato il CAP method lavora nel seguente modo: partendo dalla mappa altimetrica della cornea fornita dal topografo, permette al medico di comunicare al topografo i dati del trattamento da impostare; il software elabora tali dati e simula il trattamento laser (ricavato utilizzando l'algoritmo

VISX) determinando quello che sarà il profilo corneale post-trattamento. Ciò rende il chirurgo in grado di prevedere l'effetto della sua strategia prima dell'intervento ed in piena autonomia. Scopo del programma è anche quello di una completa automatizzazione del processo nel quale il software stesso fornisce indicazioni sul trattamento ideale da effettuare per ottenere una superficie corneale post-operatoria più regolare ed otticamente efficace, pur lasciando al chirurgo la possibilità di programmare una strategia diversa proposta dal sistema automatico. ( Foto 16 )

### CAP Method Specifications

CAP Method Abiation Type		Parameters	
		Minimum	Maximum
<b>Myopic Surfaces</b>			
Sphere		0 D	-30.0 D
	Diameter	1.2 mm	6.5 mm
Cylinder		0 D	-15.0 D
	Length	4.0 mm	6.5 mm
	Width	3.0 mm	6.5 mm
	Transition Zone	0.2 mm	0.6 mm
Ellipse		0 D	-30.0 DS -15.0 DC
	Major Axis	2.5 mm	6.5 mm
<b>Hyperopic Surfaces</b>			
Sphere		0 D	+6.0 D
Cylinder		0 D	+4.0 D
	Outer Diameter	6.0 mm	9.0 mm
	Inner Diameter	3.0 mm	6.0 mm
Transition Zone (Outer-inner)		3.0 mm	4.5 mm
<b>Therapeutic Surfaces</b>			
PTK Slit	Length/Width	0.6 mm	6.0 mm
	PTK Circle Diameter	2.0 mm	6.0 mm
	Transition Zone	0 mm	2.7 mm

- **Conclusioni**

Questa macchina ottimale per controllo dell'energia e percorso ottico ha nelle sue ultime versioni introdotto delle innovazioni ( Cap-method) i cui vantaggi devono ancora trovare



conferma dall'esperienza degli utilizzatori.

La mancanza di un dispositivo di eye-Tracker costituisce ancora un limite.

### **Caratteristiche tecniche del laser Visx star S2**

Cut-rate	0,25 micron
Cavità	ceramica
Gas	ArF
Sistema di ablazione	broad beam
zona ottica:	vedi schema CAP Method
Lunghezza d'onda:	193 nm
Fluenza	160 mJ/cm <sup>2</sup> )
Durata dell'impulso:	15-20ns
Frequenza di ripetizione:	10 Hz
fissazione:	led intermittente per il paziente
eye-Tracker:	no
raffreddamento:	interna ad aria +azoto liquido
precalibrazione:	interna e su lenticoli di pmma controllati al
frontofocometro	
Rete:	230VAC singola fase stabilizzata 30 A di spunto 15 A a
regime Tensione di comando:	25-30kV
Dimensioni:	
	larghezza 110 cm.
	Lunghezza 204 c.
	Altezza 150 cm.
Peso: 726 Kg.	
Dimensioni del locale:	almeno 20 m <sup>2</sup> con il lato minore di almeno 3 m.

### **Laser KERATOM - Coherent-Schwind**

#### **• Introduzione**

Schwind iniziò a sviluppare un laser ad eccimeri alla fine degli anni 80, reclutando nel suo gruppo di lavoro una serie di esperti, tecnici ed oculisti, di imprese ed università tedesche. In particolare, si avvalse della collaborazione di tecnici della Lambda-Physik, divisione della Coherent, specialista in laser ad eccimeri. L'esperienza nel campo della tecnologia laser apportata dalla Coherent, offrì un grande sviluppo all'allestimento del Keratom e gli sforzi effettuati furono coronati da successi; i primi laser Keratom furono introdotti in Europa a metà del 1992, ed i primi risultati. clinici furono pubblicati a partire dal 1993.

( Foto 17 )

#### **• Cavità**

La cavità di questo laser è in ceramica (Novatube, Lambda-Physik).

- **Serbatoio gas**

Le bombole contenenti i gas (alogeno-fluoride e argon-neon) sono esterne.

Particolare attenzione è stata posta dalla casa produttrice nell'evitare la fuoriuscita di gas; la bombola di gas argon/neon è atossica ed il generatore di alogeno-fluoride produce piccole quantità di fluoride a bassa pressione durante il cambio-gas; fino al momento del cambio-gas, la sorgente di fluoride rimane in fase solida; inoltre, grazie ad un apposito sistema di filtraggio, non è indispensabile la ventilazione esterna.

- **Il percorso ottico**

L'apertura di un otturatore meccanico consente la fuoriuscita del raggio laser dalla cavità. Il raggio, che a questo livello ha una forma rettangolare viene deviato da uno specchio a 90° verso un integratore prismatico.

Quest'ultimo è un particolare dispositivo che ha il compito di rendere omogeneo il fascio laser.

Il fascio laser così omogeneizzato raggiunge una banda d'acciaio sulla quale sono collocate apposite aperture. Il fascio che ne esce viene focalizzato dall'ultima lente focale sulla cornea, determinando il profilo dell'ablazione. ( *Foto 18 – 19* )

- **Computer per l'impostazione dei dati**

Si trova alla sinistra del chirurgo ed è di facile accesso

- **Eye-tracker**

Il KERATOM è equipaggiato di un eye-tracker passivo, introdotto sin dal 1992, che viene inserito dalla pressione del pedale da parte del chirurgo all'inizio del trattamento. L'eye-tracker passivo è in grado di interrompere il trattamento se la deviazione del bulbo oculare del paziente rispetto alla posizione iniziale è superiore ad un valore prestabilito, che può essere impostata entro un range compreso tra 100 e 1000 micron.

Recentemente è stato messo a punto un eye-tracker attivo.

- **Sistema di distribuzione del fascio laser**

Si tratta di un broad beam, variabile nelle dimensioni da una banda di acciaio con aperture di diametro variabile.

- **Test di controllo dell'energia del fascio laser**

L'energia di uscita dalla cavità è normalmente lasciata a 300 mJ/pulse, ma può raggiungere i 500 mJ/pulse. Essa viene monitorata da un apposito dispositivo interno e stabilizzata automaticamente. La fluttuazione tra impulso ed impulso è mantenuta inferiore al 5%

Il Keratom è equipaggiato, oltre che con un misuratore di energia, con un secondo sistema di monitoraggio subito a valle dell'integratore. Questo duplice sistema di controllo aumenta la sicurezza dello strumento.

Un ulteriore dispositivo di sicurezza è rappresentato dal blocco del lettino operatorio durante la pressione del pedale del laser.

Il controllo da parte del sistema operativo prevede il monitoraggio dell'energia del laser, come già detto, della posizione della banda di acciaio, della lente zoom, del flusso di

azoto, del voltaggio.

Infine, è possibile avvalersi della presenza di un dispositivo che fornisce un flusso laminare di aria filtrata o di azoto per rimuovere i detriti provenienti dalla fotoablazione corneale. Per l'esecuzione del test di fluenza si dispone di un cilindro la cui faccia superiore presenta una apertura, sulla quale viene appoggiata una pellicola Wratten e sulla cui faccia superiore è stratificata una sostanza fluorescente. Quando, dopo un determinato numero di spot, la pellicola viene perforata, ed il raggio laser raggiunge la faccia inferiore del cilindro, determina una fluorescenza la cui intensità viene misurata da un apposito lettore ottico. Il computer è in grado, in questo modo, di conoscere quanti spot sono stati necessari per perforare la pellicola di determinato spessore. Il rapporto spessore di ablazione/numero di spot consente di calcolare il profilo di ablazione.

Periodicamente, inoltre, viene effettuato un apposito test su di una piastrina di PMMA ed inviato alla casa produttrice per il controllo della corrispondenza del valore refrattivo trattato e per la verifica della superficie di trattamento. ( Foto 20 )

### • Conclusioni

Questo laser pur con delle caratteristiche specifiche, presenta qualche limite rappresentato dal sistema di distribuzione del fascio laser e dalla mancanza di un sistema di topo-link.

### Caratteristiche tecniche Laser KERATOM - Coherent-Schwind

Cut-rate	0.25 micron
Cavità	in ceramica (Novatube, Lambda-Physik),
Gas	ArF
Sistema di ablazione	broad beam
Massima area di ablazione	8 mm
Lunghezza d'onda	193 nm
Fluenza	variabile < 250 mJ/cm <sup>2</sup>
Durata dell'impulso	23 nanosecondi
Frequenza di ripetizione	può essere selezionata tra 1 e 30 Hz.
Eye-tracker	attivo e passivo
Raffreddamento	ad aria.
L'alimentazione	230 V, 3,5 kW di potere massimo a 16 ampere

Dimensioni 202 cm. x 145 cm. x 153 cm.

Peso circa 700 Kg..

La durata di ogni ricambio di gas nella cavità può durare sino a 20 giorni.

La vita di una cavità laser è stimata attorno ai 200-30 milioni di impulsi.

Per ottenere il sistema in perfetta efficienza, è bene effettuare una manutenzione di routine almeno due volte l'anno.

Le ottiche vanno pulite dopo 2 milioni di impulsi e dopo 10 pulizie, le ottiche dovrebbero essere sostituite .

## NIDEK - Caratteristiche del Nidek EC 5000 - Modello 2b

- **Introduzione**

Il laser ad eccimeri Nidek EC-5000 consente di effettuare trattamenti fotoablativi per correggere miopia, astigmatismo, ipermetropia, e di effettuare fotoablazioni a scopo terapeutico.

Questa macchina è presente sul mercato da circa 6 anni e viene prodotta in Giappone.  
( Foto 21 )

- **Cavità**

La testa del laser è in ceramica; ciò consente un risparmio, nel tempo, di gas.

La elevata frequenza di erogazione del laser consente trattamenti rapidi. Ciò consente, dunque, una maggiore collaborazione del paziente ed una minore disidratazione del tessuto corneale.

- **Serbatoio gas**

Due bombole sono alloggiate all'interno del laser una contenente elio,argon e neon ed una contenente il gas alogeno ( F ). Una terza bombola contenente azoto è collocata all'esterno del laser. La miscela gassosa è costituita da argon Fluoride, in grado di produrre un raggio con lunghezza d'onda pari a 193 nm. con frequenza di ripetizione sino a 50 Hz; la fluenza è pari a 120/130 mJ/cm<sup>2</sup>, durata dell'impulso 176 nsec.

- **Percorso ottico**

Il fascio laser appena uscito dalla cavità attraversa un misuratore di energia, il suo percorso si compie poi attraverso una serie di ottiche e specchi ( 10) sino ad arrivare sulla superficie corneale.

- **Computer per l'impostazione dei dati**

Il computer è di facile accesso e permette una impostazione rapida dei dati del trattamento. Il computer si trova alla destra del chirurgo. Il software di ablazione, particolarmente semplice e flessibile.

- **Eye-Tracker**

Il sistema è provvisto di un valido eye-tracker di tipo passivo ed attivo con frequenza di 40 Hz.. La velocità di riallineamento è di 6 mm./sec., agisce in un range di 5 mm. con una precisione di 50 micron; la affidabilità è buona anche quando si devono trattare difetti elevati. Inoltre consente di effettuare riallineamenti e focalizzazioni anche durante il trattamento; inoltre, la telecamera che riprende l'immagine del bulbo oculare è coassiale rispetto al microscopio e non laterale come negli altri sistemi, evitando possibili errori dell'eye-tracker dovuti allo spostamento del paziente e consentendo al beam di rimanere perpendicolare nonostante gli spostamenti del microscopio.

- **Sistema di distribuzione del fascio laser**

La fotoablazione corneale avviene portando sulla cornea un fascio a scansione. Tale fessura percorre la cornea su meridiani diversi della zona da trattare, con il duplice

vantaggio di ottenere minore riscaldamento tessutale e superfici più lisce ed omogenee. Inoltre, poiché il diametro maggiore della fessura è di 9 mm., i trattamenti refrattivi e terapeutici sono in grado di coprire una ampia superficie corneale. ( Foto 22 )

• **Test di controllo dell'energia del fascio laser**

La calibrazione viene effettuata mediante l'uso di piastrine in PMMA, con un immediato controllo sia della fluena che della omogeneità del trattamento.

Si effettua una fotoablazione di 3 diottrie su di una piastrina di PMMA prima della seduta chirurgica. Il risultato della fotoablazione viene poi misurato tramite un frontifocometro ed inserito nel computer del laser. Per il calcolo del numero e del diametro dei gradini effettuati dal diaframma durante il trattamento, il software dell'EC-2000 utilizza il rapporto 'cornea/PMMA, calcolato attraverso il nomogramma principale del laser e che ha un valore compreso tra 2.400 e 1.765. Un valore più basso indica una maggiore correzione. Conoscendo questi parametri, l'utilizzatore può modificare in modo proporzionale la correzione globale di miopia ed astigmatismo miopico composto.

**Conclusioni:**

Macchina con buone caratteristiche di affidabilità; ottimali sono, infatti, i risultati refrattivi e terapeutici che si riesce ad ottenere. Il trattamento dell'ipermetropia rappresenta, per questa macchina, una sfida così come la fotoablazione su guida topografica (topo-link) di cui ancora non si sente parlare.

**Caratteristiche tecniche del Nidek EC 5000**

Cut-rate	0.25 micron	
Sistema di ablazione	Slit Scanning	
Cavità	ceramica	
Gas	ArF	
Diametro massimo ablazione:	9 mm.	
Lunghezza d'onda	193 nm	
Frequenza	50 Hz	
Durata dell'impulso	17 msec	
Fluenza	108-120 mJ	
Eye Tracker	Passivo/Attivo	
	Sensibilità	50 micron
	Range	5 mm.
	Frequenza	50
Microscopio	Zeiss	
Potenza richiesta	220 V, 50/60 Hz, 3,3k VA Max	
Dimensioni:		
	Lunghezza	0,750
	Larghezza	1,370
	Altezza	1,516
Peso	650 Kg.	
Le dimensioni di ingombro sono di 2,0 m. x 2,8 m.		

## **Laser ad eccimeri modello *LSX* marca *lasersight***

- **Introduzione**

L' *LSX* è uno strumento compatto di ultima generazione comparso sul mercato in questi ultimi anni, le cui peculiarità sono basate sull'omogeneità di trattamento e sulla contenuta quantità di energia erogata per ogni spot emesso. Lo strumento, grazie, al sofisticato software gestionale permette di effettuare correzioni di miopia, astigmatismo, ipermetropia, trattamenti terapeutici con procedure PRK e LASIK.

L'*LSX* utilizza uno spot di diametro variabile da 0.8 a 1.0 mm con una tecnica di scansione detta " flying spot". Questo tipo di scansione permette di coprire l'intera zona di trattamento su tutti 360 gradi, secondo movimenti software guidati, in funzione del trattamento prescelto con zone trattate aventi diametro fino a 9 mm. Il laser è dotato di un lettino motorizzato estremamente stabile con controllo dei movimenti macrometrici e micrometrici lungo gli assi **X,Y** e **Z**. Il software in dotazione comprende procedura di auto calibrazione , trattamenti terapeutici ,miopia, ipermetropia , astigmatismo trattamenti combinati ,trattamenti con procedura LASIK e procedura di auto diagnosi. ( *Foto 23* )

- **Cavità**

Lo strumento utilizza una cavità in ceramica che grazie ad una sofisticata concezione tecnologica utilizza una frequenza di lavoro pari a 200 Hz' Questo principio di funzionamento unitamente alla bassa energia per colpo erogata (0.7 - 1.2 mj) consente all'operatore di utilizzare il microspot da 0,8 mm con un tempo globale di intervento molto contenuto o addirittura scegliere di utilizzare uno spot pari a 0.4 mm con un tempo di intervento globale standard. Tale versatilità fornisce una perfetta amalgabilità tra innovazione tecnologica e richieste dell'operatore. Inoltre, il connubio tra microspot, bassa energia ed alta frequenza di trattamento é in grado di fornire una buona precisione di trattamento con superfici ben levigate grazie alla omogeneità di distribuzione dell'energia dovuta al microspot. L'utilizzo di valori energetici estremamente contenuti elimina completamente il fenomeno dello shock acustico e contiene l'incremento della temperatura corneale entro valori clinicamente non significativi (2°C), anche per trattamenti massivi (fino ed oltre 15 diottrie) . L'alta frequenza inoltre, circa 5 o 10 volte superiore ai sistemi tradizionali (a seconda dell'impostazione del sistema), garantisce una durata di intervento, a parità di zona ottica e potere trattato comparabile con i sistemi tradizionali o addirittura pari alla metà, pur sfruttando i vantaggi della tecnologia a microspot.

- **Serbatoio gas**

La macchina alloggia al proprio interno due bombole di gas, di cui la prima di Arf e la seconda di He. La percentuale di fluoruro è estremamente contenuta (pari allo 019%) pertanto non si richiede uno specifico impianto di evacuazione gas .La bombola di Arf consente di effettuare circa 100 ricariche.

Per ogni carica della cavità è possibile effettuare circa 40 trattamenti (comprese le procedure di calibrazione e taratura). Pertanto il numero potenziale totale di interventi effettuabili con una coppia di bombole di Arf e He è di circa 4000

- **Percorso ottico**

Il fascio in uscita dalla cavità, di sezione rettangolare, attraversa dapprima un attenuatore; una parte del raggio viene prelevato grazie ad un beam splitter e testato per quanto riguarda la sua energia; un sistema di controllo regola l'inclinazione dell'attenuatore in modo che l'energia effettiva sul tessuto corneale sia quella prevista dal test di fluenza precedentemente effettuato. Una lente focale porta, quindi, il raggio laser ad impattarsi su due lenti galvanometriche, responsabili della corretta direzione assunta dal fascio laser ed, infine, una lente angolata a 45° indirizza il raggio sul tessuto corneale.

- **Computer per l'impostazione dei dati**

L'utilizzatore è, nell'operatività chirurgica completamente indipendente dal centro assistenza tecnica. Difatti l'LSX dispone di un potente software in grado di gestire per intero con semplici procedure automatiche, refili (ricambio gas, calibrazione ed allineamenti). Un particolare software che prende il nome di CIPTA (corneal interactive programmed topographic ablation) è adibito al calcolo del profilo di ablazione per il Link topografico.

- **Eye-Tracker**

L'apparecchio incorpora un sistema di fissazione con un Target di riferimento per il paziente. È possibile avere un sistema di eye tracker opzionale, di tipo attivo con tempo di riallineamento del fascio laser pari a 8.3 msec.

- **Sistema di distribuzione del fascio laser**

Il fascio laser del diametro variabile da 0.8 a 1.0 mm. viene distribuito sulla cornea secondo una tecnica a scansione detta "flying spot" .

- **Test di controllo dell'energia del fascio laser**

Per avviare l'LSX è necessario effettuare le procedure automatiche di refill, calibrazione ed allineamenti.

- Per tali procedure sono necessari circa 10 minuti La durata effettiva del trattamento è funzione dello stesso facendo riferimento ad un trattamento miopico medio di -6 diottrie con zona ottica di 6mm. sono necessari circa 30 secondi.

- **Conclusioni**

Questa macchina sulla carta si presenta con buone credenziali, vista la sua giovane età aspettiamo che gli utilizzatori siano in grado di fornire al più presto dati e follow -up tali da consentire una reale valutazione della stessa.

### **Caratteristiche tecniche del laser Isx marca lasersight**

Cut-rate:	0.25 micron
Sistema di ablazione:	flying-spot

Modalità di ablazione:	Scansione controllata tramite software;
Dimensioni dello Spot:	da 0,8 a 1,0 mm
Cavità	in ceramica
Gas	fluoruro di argon
Zona di ablazione:	da 1 a 9 mm regolabile
Lunghezza d'onda:	Arf 193 nm
Frequenza di pulsazione:	200 Hz
Durata dell'impulso:	10 nanosecondi
Fluenza globale:	da 120 a 160 mJ/cm <sup>2</sup>
Energia per impulso all'uscita della cavità:	da 7 a 10 mJ;
Energia per impulso in cornea:	da 0,7 a 1,2 mJ;
Repetition rate:	10 msec
Eye-tracker:	si (opzionale), attivo
Riallineamento spot (E.T.):	8,3 msec.
Raffreddamento:	aria
Alimentazione elettrica	

Potenza RICHIESTA: 220 V monofase  
Frequenza di funzionamento: 50/60 HZ  
Assorbimento: 1.1 KVA

#### Dimensioni

	Larghezza laser: 130 cm.
	Altezza laser: 119 cm.
	Profondità laser : 64cm,
Peso laser:	140kg,
Larghezza lettino:	95 cm
Lunghezza lettino:	200 cm

### Laser ad eccimeri Mel 70 G Scan

- **Introduzione**

Il laser ad eccimeri Mel 70 G Scan è un laser di terza generazione della Esculap Meditec, completamente progettato ex novo. Questa macchina permette di lavorare in modo veloce ed affidabile in scansione puntiforme con un raggio a distribuzione gaussiana d'energia di 2 mm di diametro.

Tale metodo consente di ottenere buoni risultati per quanto riguarda l'omogeneità della superficie trattata.

La tecnologia a scansione utilizzata dal Mel 70 permette una minor incidenza di isole centrali.

- **Cavità**

Il laser Mel 70 G Scan adotta una cavità in ceramica.



- **Serbatoio gas**

Il Mel 70 è un laser che utilizza il fluoruro di argon. Sono presenti due bombole di gas premiscelato. Ogni bombola permette di effettuare 120 cariche consentendo un minimo di 600 trattamenti totali.

Il raffreddamento è garantito da un radiatore interno acqua/aria a circuito chiuso.

- **Percorso ottico**

Una serie di specchi e di ottiche rende ottimale l'omogeneizzazione del fascio laser.

- **Computer per l'impostazione dei dati**

L'hardware è gestito da un programma in ambiente Windows 95 che permette un'estrema flessibilità con la possibilità di successive implementazione. L'impostazione dati ed il controllo post operatorio sono semplificati dal programma ad icone e dall'utilizzo della banca dati presente all'interno del sistema. Il programma è dotato di "assistente interno" che permette sia la guida passo passo del laser, proponendo le modalità ritenute più idonee, sia l'uso in manuale con normogrammi direttamente sviluppati dall'operatore, quindi non richiede il supporto di personale specializzato.

- **Eye-tracker**

Questo laser si avvale di un velocissimo eye - tracker attivo a contrasto stabile.

Il sistema di eye tracking a contrasto stabile elimina le interruzione del trattamento. La stabilità di contrasto è garantita dalla superficie chiara di un anello di suzione. Questo anello svolge anche la funzione di rimozione attiva dei fumi e di soppressione dei movimenti saccadici. Il trattamento viene automaticamente interrotto sia per movimenti orizzontali che obliqui fuori dalla norma. Esiste un anello per la PRK ed un altro per la LASIK.

- **Sistema di distribuzione del fascio laser**

Il nuovo Mel 70 G Scan ha abbandonato il classico sistema di distribuzione del fascio laser sulla cornea proprio della vecchia generazione dei laser meditec è che era caratterizzato da una distribuzione scanning slit.

Il nuovo Mel 70 utilizza una scansione a spot randomizzata.

Il diametro dello spot è di 2 mm..

- **Test di controllo dell'energia del fascio laser**

Questo test avviene mediante un sistema di taratura e controllo della fluenza basato su un test oggettivo di due scansioni su un supporto specificatamente preparato e testato dal produttore.

### **Caratteristiche tecniche del laser ad eccimeri mel 70 g scan**

Sistema di ablazione  
Cavità

scansione a spot  
ceramica

lunghezza d'onda	193 nm
frequenza di ripetizione	regolabile da 1 a 50 Hz.
Gas	ArF
Dimensioni dello Spot	2 mm.
Lunghezza d'onda	193 nm
Durata dell'impulso	5 nanosecondi
Energia per impulso all'uscita della cavità	1200mJ
Energia per impulso in cornea	180 mJ/cm <sup>2</sup>
Repetition rate	da 10 a 50 Hz
Eye-tracker	attivo
Raffreddamento	radiatore interno acqua/aria a circuito interno
Alimentazione	elettrica 230v
Dimensioni	
	Larghezza laser: 200 cm.
	Altezza laser: 120cm
	Profondità laser : 250 cm.
Peso laser	unità laser 500 Kg