



## PARTE CLINICA

# Il campo visivo: passato, presente e futuro

Andrea Perdicchi · Donatella Caprino · Santi Maria Recupero

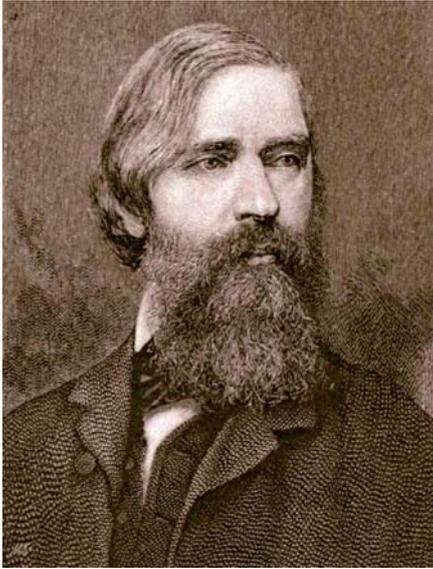
L'esame del campo visivo riveste importanza fondamentale nella semeiotica dell'apparato visivo e di numerose patologie neurologiche

Storicamente, le prime informazioni risalgono a più di duemila anni fa. Ippocrate, nella seconda metà del V secolo a.C., osservò e descrisse un'emianopsia<sup>1-3</sup> e Ptolemio, nel 150 a.C., definì l'estensione e la forma del campo visivo come grossolanamente circolare.

Galeno, all'incirca nel 175 a.C., fece il primo tentativo di determinare e registrare il campo visivo, ma si deve attendere il 1602 per avere la sua prima illustrazione, che viene attribuita ad Ulmus. Qualche anno dopo, nel 1668, Mariotte descrisse la macchia cieca e la correlò alla localizzazione anatomica della papilla ottica sulla retina

All'inizio del 1800, Thomas Young, definì le dimensioni del campo visivo e determinò che esso si estendeva per 50° superiormente, 70° inferiormente, 60° nasalmente e 90° temporalmente. Questi limiti sono stati successivamente meglio definiti da Purkinje e leggermente ampliati, grazie a tecniche di esame più precise e all'uso di mire maggiormente percepibili.

La presenza di aree campimetriche non visibili,



**Figura 1**  
Albrecht Von Graefe

ovvero di scotomi, è stata descritta per la prima volta da Boerhaave nel 1708, e delimitate topograficamente da Beer nel 1817. Tuttavia, fino alla metà dell'Ottocento, la valutazione del campo visivo è stata quasi totalmente di tipo qualitativo. Nel 1856, grazie ad Albrecht von Graefe (*figura 1*), si parlò per la prima volta di quantificazione del difetto perimetrico.

Von Graefe viene considerato da molti il primo studioso ad aver utilizzato la perimetria nella clinica. A 28 anni pubblicò un articolo intitolato "Esame della funzione visiva in presenza di ambliopia"<sup>4</sup> dove, difetti campimetrici tipicamente glaucomatosi, venivano genericamente riferiti all' ambliopia, poiché a quell'epoca non era ancora definita, come glaucoma, l'associazione tra ipertensione oculare, escavazione del nervo ottico e alterazioni perimetriche.

Si deve a Jannik Bjerrum la diffusione in larga scala della perimetria. Egli ideò ed utilizzò, assieme al suo assistente Henning Rønne, uno schermo tangente di 2 metri e stabilì le caratteristiche di tridimensionalità del campo visivo, usando mire di colore bianco di diversa grandezza proiettate su uno sfondo scuro. Grazie al suo apporto, le potenzialità della perimetria divennero manifeste alla comunità scientifica, e si assistette ad una sua diffusione nella pratica clinica.



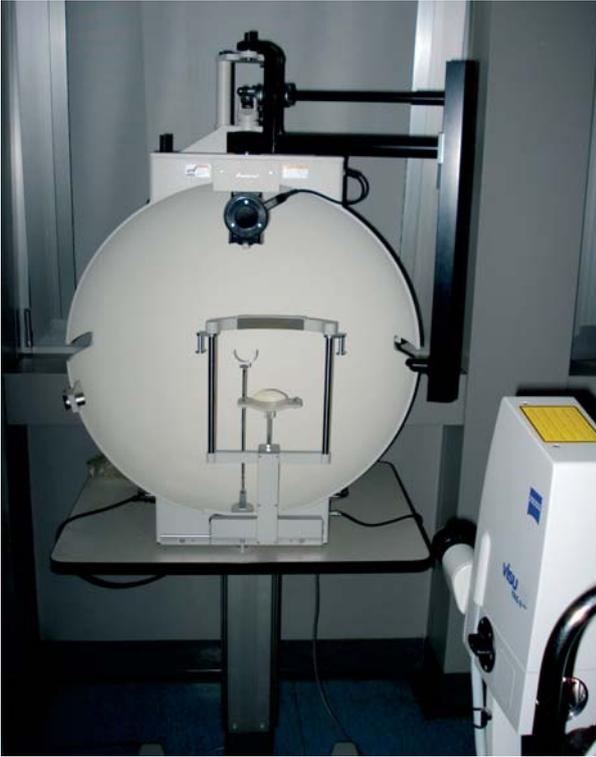
**Figura 2**  
Hans Goldmann

Harry Traquair approfondì ulteriormente il campo di interesse e pubblicò, per primo, un libro sull'utilità della perimetria nella diagnosi e nel follow-up di numerose patologie oculari e neurologiche<sup>5</sup>.

Va comunque sottolineato che, colui che ha maggiormente contribuito alla diffusione universale dello studio del campo visivo, è stato Hans Goldmann (*figura 2*). Nel 1945 egli ideò un perimetro a cupola, di forma emisferica, dotato di uno sfondo ad illuminazione costante, sul quale un sistema mobile proiettava uno stimolo luminoso di intensità maggiore di quella dello sfondo stesso. Lo strumento era in grado di eseguire esami, sia in perimetria cinetica che statica, utilizzando mire di diversa grandezza, intensità luminosa e colore.

Goldman stabilì la relazione che intercorre tra grandezza della mira, luminosità e posizione della stessa e pubblicò numerosi articoli sulle caratteristiche del campo visivo in soggetti sani, in pazienti con glaucoma e con altre patologie oculari e neurologiche. Grazie all'enorme contributo scientifico da lui fornito, il perimetro manuale viene ancora oggi definito "perimetro di Goldmann" (*figura 3*) ed il termine con cui viene chiamata comunemente la perimetria manuale è perimetria di Goldmann.

Un ulteriore passo avanti è rappresentato dal



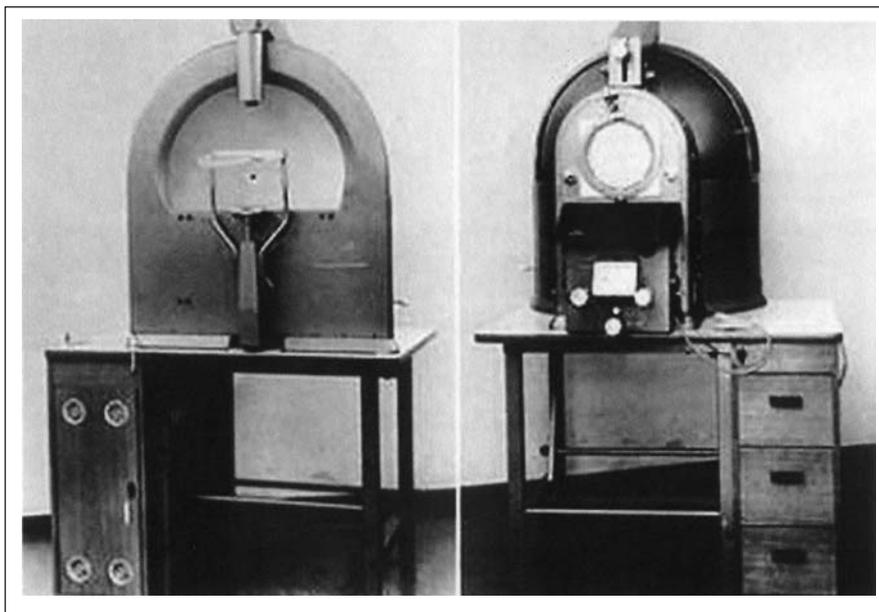
**Figura 3**  
Perimetro a cupola manuale di Goldmann

perimetro di Tübinga (*figura 4*), che venne creato da Elfriede Aulhorn e Henrich Harms tra la fine degli anni 50 e i primi anni 60<sup>6</sup>. Questo strumento fu ideato per eseguire esami in peri-

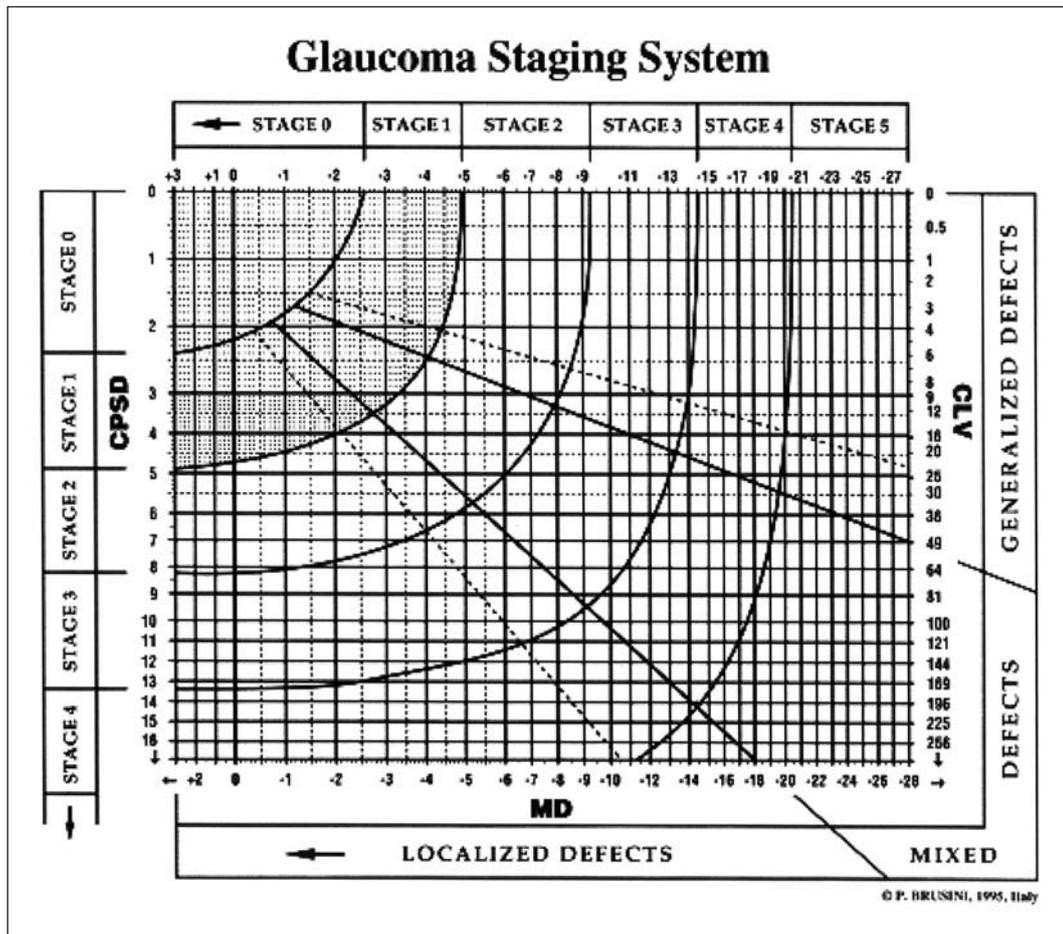
metria statica, sebbene fosse utilizzabile anche nella perimetria cinetica. Esso era dotato di un sistema di analisi amplificata del campo visivo centrale, al fine di ottenere un riscontro più dettagliato di questa area. Il perimetro di Tübinga era inoltre in grado di effettuare misure di sommazione temporale e spaziale del campo visivo, esami con stimolo colorato e numerose altre funzioni, che lo resero estremamente utile ed versatile nella pratica clinica.

Alla fine degli anni 60 e agli inizi degli anni 70 si tentò di automatizzare la procedura di esecuzione del campo visivo, ed alcuni ricercatori americani svilupparono uno dei primi perimetri automatizzati<sup>7</sup>. Tuttavia l'apporto determinante alla nascita della perimetria computerizzata fu fornito da Frank Fankhauser e dai suoi collaboratori, che crearono il primo perimetro automatico, denominato Octopus<sup>8-11</sup>. Successivamente Anders Heijl e collaboratori, dell'Università di Malmo, idearono il perimetro Humphrey, che attualmente è lo strumento più diffuso al mondo<sup>12</sup>.

In Italia si deve al Prof. Mario Zingirian un notevole impulso alla diffusione della perimetria computerizzata, e la creazione di strumenti e di programmi di analisi e di valutazione del campo visivo, sia di interesse clinico che medico-lega-



**Figura 4**  
Perimetro di Tübinga



**Figura 5**  
Glaucoma Staging System

le<sup>13-14</sup>. Sempre in Italia, una particolare menzione va riservata al Dr. Paolo Brusini, al quale si deve la creazione di un semplice sistema di stadiazione e di classificazione del danno campimetrico, denominato "Glaucoma Staging System" (figura 5), applicabile sia ad esami eseguiti con perimetria convenzionale che a raddoppio di frequenza, ed ultimamente anche a metodiche di analisi del danno anatomico nel glaucoma<sup>15-16</sup>.

### Tecniche di esecuzione dell'esame del campo visivo

La più grossolana valutazione dell'estensione del campo visivo è quella che viene praticata ponendo il paziente di fronte all'esaminatore, e chiedendogli di contare le dita (oppure la presenza di un oggetto colorato), poste nelle diverse aree del campo visivo (figura 6)

Nel tempo, sono state proposte numerose tecniche di esame, dalle più semplici alle più sofisticate, sempre condizionate dalla disponibilità di strumentazioni, dalla collaborazione del paziente e dal tempo disponibile per l'esecuzione dell'esame<sup>17-18</sup>.

In origine ci si è avvalsi di uno schermo tangente di 1 o 2 metri di diametro di colore uniformemente scuro, costituito da feltro nero o materiale simile, sul quale piccole mire (bianche, grigie o colorate) venivano presentate. Questa metodica, tuttavia, consentiva di esplorare solo i 30° centrali. Per valutare anche il campo visivo periferico, Aubert e Foster, nel 1869, hanno ideato il primo perimetro ad arco (figura 7). La strumento ebbe una grande diffusione e si dimostrò utile nel valutare l'estensione del campo visivo periferico, ma presentava l'inconveniente di non avere una luminosità costante e stabile dello sfondo. Questo limite venne superato dal peri-



**Figura 6**  
Tecnica di base di esame del campo visivo. Si pone il paziente di fronte all'esaminatore chiedendogli di contare le dita poste nelle diverse aree del campo visivo

metro a cupola di Goldmann, ove la luminosità dello sfondo è costante e lo stimolo viene proiettato su di esso con un'intensità sufficiente a percepirne la presenza. Il perimetro sviluppato da Hans Goldmann negli anni 40 e il perimetro di Tübinga rappresentano i più comuni strumenti a cupola utilizzati nella perimetria manuale.

### Perimetria computerizzata convenzionale

La storia della perimetria computerizzata inizia intorno al 1970, con un primo rudimentale stru-



**Figura 7**  
Perimetro ad arco

mento realizzato negli Stati Uniti da Lynn e Tate che, successivamente, venne migliorato da Fankhauser, che realizzò il primo Octopus<sup>19</sup>. Questo strumento è stato il primo in grado di eseguire una perimetria completamente computerizzata e, sebbene con numerose migliorie, è ancora in commercio ed utilizzato con successo nella pratica clinica e di ricerca. In seguito molti altri perimetri automatizzati o semiautomatizzati, quali il Fieldmaster, DICON, BIO-RAD, Perikon, Humphrey Field, Easyfield Oculus, e il perimetro Medmont sono stati proposti con alterne fortune. Al momento il perimetro Humphrey (*figura 8*), l'Octopus (*figura 9*) e l'Easyfield Oculus (*figura 10*) sono quelli più diffusi<sup>20-28</sup>.

Le strumentazioni oggi disponibili offrono, all'operatore, numerose possibilità di esame e, sebbene i principi di un esame perimetrico siano sostanzialmente analoghi per tutti i perimetri, le caratteristiche di esecuzione differiscono in vari parametri. Comune è la presentazione, secondo un ordine casuale, di stimoli luminosi di colore bianco proiettati su uno sfondo dello stesso colore. Da ciò ne deriva il termine di perimetria bianco/bianco o perimetria acromatica. La superficie della mira normalmente corrisponde alla III del perimetro di Goldmann e copre un'area di 4 mm<sup>2</sup>. È stata scelta questa dimensione, in quanto si è dimostrata idonea sia



**Figura 8**  
Humphrey Field Analyzer



**Figura 9**  
Perimetro Octopus 301

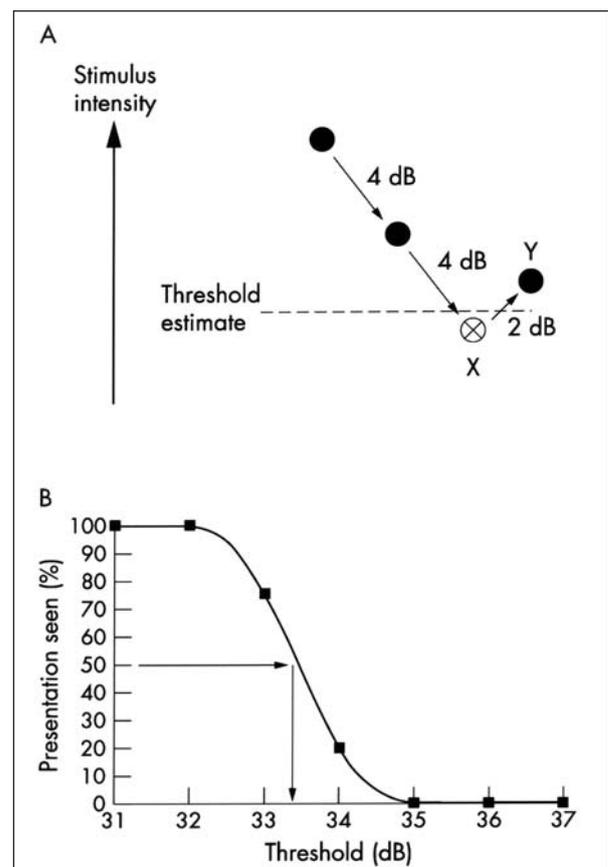
ad esaminare il campo visivo centrale che quello periferico<sup>29</sup>.

Le strategie di esame sono molteplici e si possono riassumere in due grandi gruppi: strategie di screening e strategie di soglia. Sebbene quest'ultime, e soprattutto l'utilizzo di strategie veloci di determinazione dei valori di soglia, abbiano rivoluzionato l'approccio e la scelta dei programmi, vanno brevemente ricordate le tecniche di screening. Esse utilizzano, perlopiù, stimoli sopraliminari, ovvero di un'intensità superiore a quella considerata fisiologica per l'età del paziente. Esse permettono l'identificazione di un difetto perimetrico, senza tuttavia fornire altre utili informazioni, quali gli indici perimetrici. Gli esami di screening sono veloci e indicati se si debbano esaminare molti pazienti<sup>30</sup>, quando si ricerchino difetti neuro-oftalmologici<sup>31</sup> o per la determinazione dell'estensione periferica del campo visivo.

Le strategie di determinazione della soglia calcolano, solitamente, la soglia di sensibilità luminosa differenziale, ovvero la differenza tra luminosità dello stimolo e quella dello sfondo sul quale esso viene proiettato. La prima strategia di soglia, in ordine cronologico e di importanza clinica, è quella di soglia piena (Full Threshold), o di approssimazione a gradini<sup>32-33</sup> (figura 11). Essa calcola il valore di soglia per ogni punto testato ed ha il vantaggio di essere molto accurata, a scapito di un tempo di esecuzione molto lungo, che ne riduce la compliance da parte del paziente. Si è cercato così di creare strategie ve-



**Figura 10**  
Perimetro Easyfield Oculus



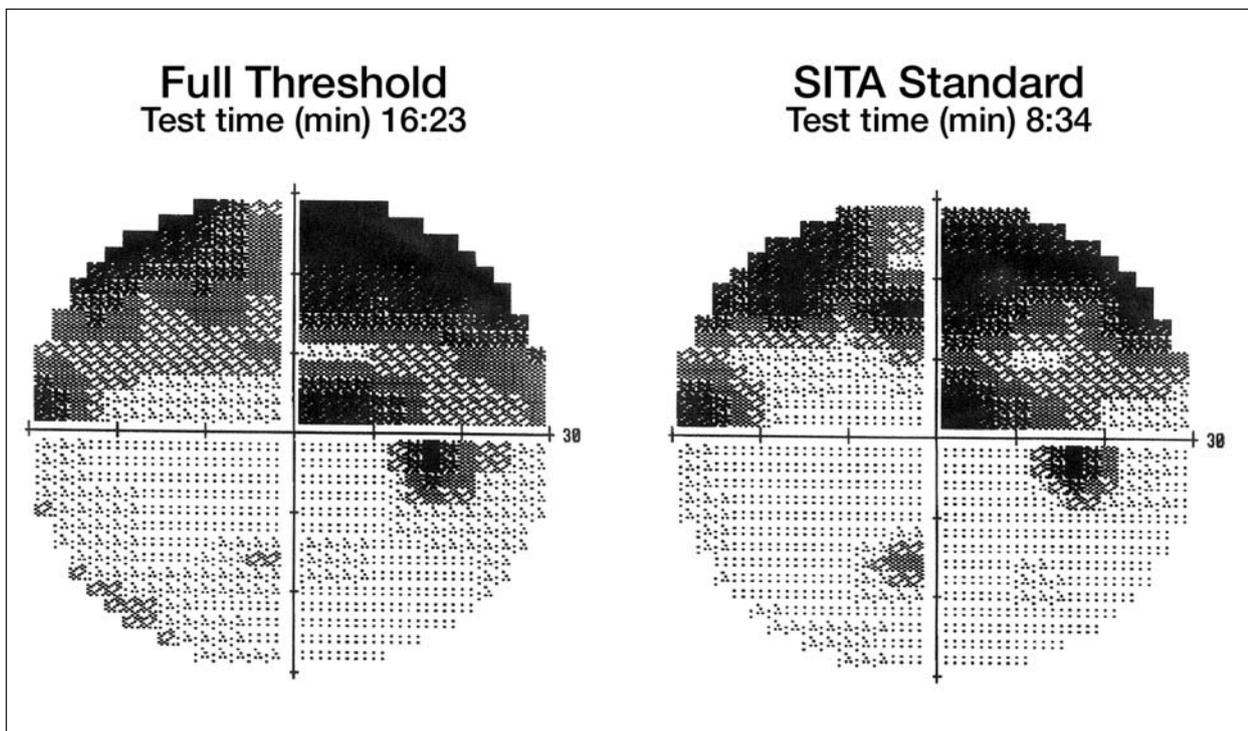
**Figura 11**  
Strategia completa di determinazione della soglia (full threshold). La mira luminosa viene presentata ad una determinata intensità. Se questa viene percepita se ne presenta un'altra di 4 dB inferiore e così via fino a quando il paziente non percepisce più lo stimolo. A questo punto si presenta una mira di 2 dB superiore fino a quando essa viene di nuovo vista dal paziente.

loci che consentissero la determinazione dei valori di soglia in tempi più ridotti<sup>34-35</sup>. Negli ultimi anni è stato introdotto sui perimetri Humphrey<sup>36</sup> un nuovo algoritmo per il calcolo di soglia veloce, chiamato SITA (Swedish Interactive Threshold Algorithm)<sup>37-40</sup>. Quest'ultimo si basa sull'elaborazione di una "curva di probabilità di soglia"<sup>41</sup>. Per ciascuno punto da testare, il principio della SITA si fonda sull'esistenza di due curve presunte di probabilità di soglia: una per valori normali ed una per valori francamente patologici. L'innovazione di questa strategia, consiste nel continuo modificarsi di queste due curve nel corso dell'esame, in base alle risposte fornite dal paziente, secondo un principio statistico che prende il nome di teorema di Bayes o della "probabilità a posteriori"<sup>42</sup>. Quando, nel corso dell'esame, per ogni punto viene raggiunto un grado statistico di corrispondenza o meglio di confidenza sufficiente tra la due curve, la determinazione del valore di soglia, per quel punto, viene interrotta e si passa al calcolo di un nuovo punto<sup>43</sup>. Questo permette un risparmio del tempo di circa il 50% e la stessa riproducibilità, non-

ché sensibilità e specificità, nel determinare un danno da glaucoma (*figura 12*). Esiste anche una versione ancora più veloce di calcolo della soglia, denominata SITA Fast (*figura 13*), da riservarsi a casi selezionati.

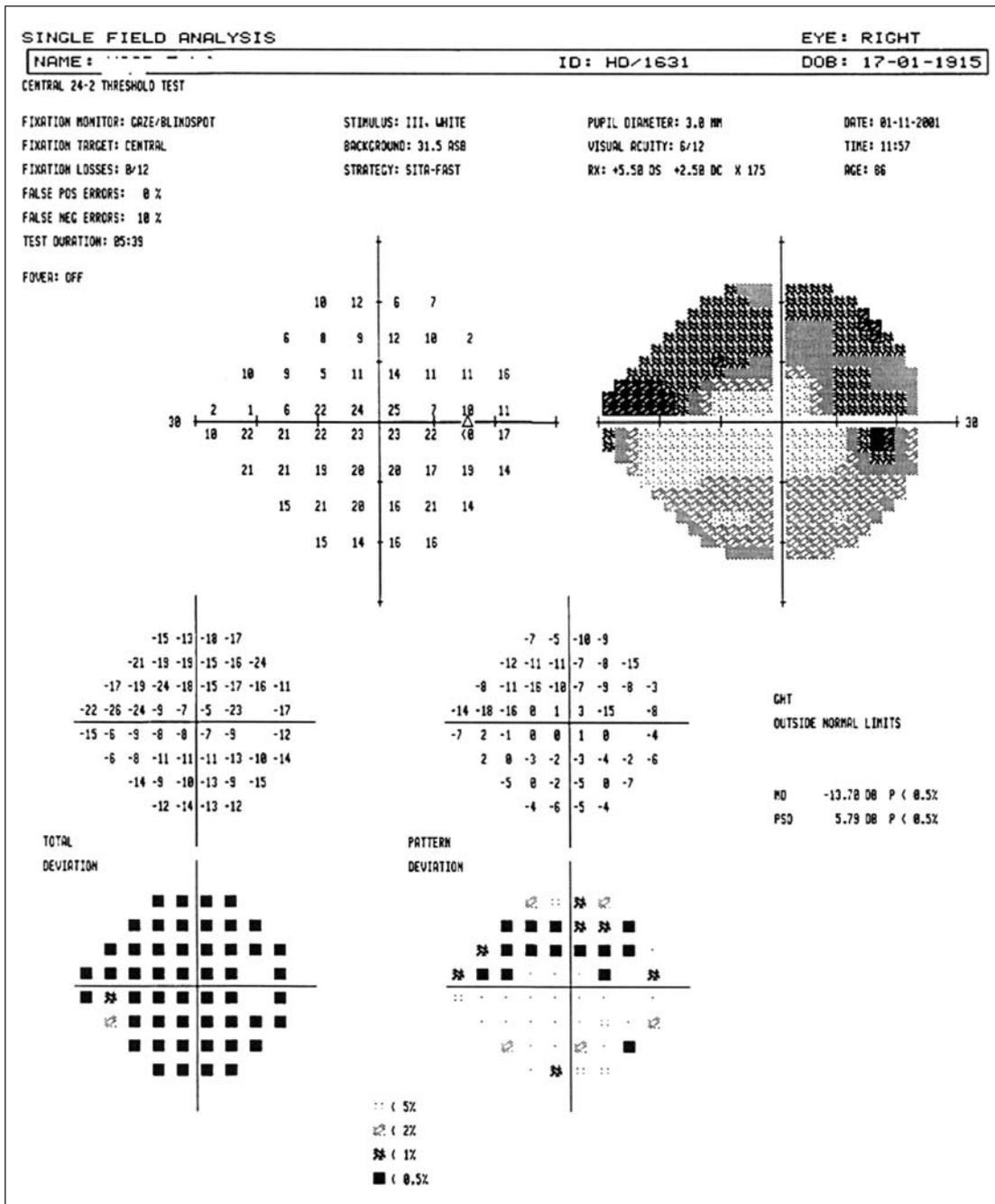
La perimetria Octopus è dotata di altre strategie di soglia veloce: la strategia dinamica e la TOP (Tendency Oriented Perimetry)<sup>44-46</sup>. La strategia dinamica utilizza, per il calcolo dei valori di soglia, intervalli di luminosità variabili in rapporto al livello di sensibilità atteso in una determinata sede retinica (*figura 14*). La durata di questo test è di circa  $1/4$  inferiore a quello della soglia piena, ed ha una buona sensibilità nelle zone di campo visivo normale e minore in quelle alterate<sup>44</sup>.

La TOP Strategy (Tendency Oriented Perimetry) si basa sul principio che la sensibilità di un punto retinico è correlata a quella dei punti circostanti. Si parla quindi di "interdipendenza o tendenza" dei valori di soglia di punti contigui: un valore positivo innalza la soglia dei punti circostanti e viceversa (*figura 15*). Questa metodica riduce il tempo di esecuzione di una



**Figura 12**

Esame perimetrico eseguito sullo stesso paziente eseguito con strategia completa (full threshold) e con strategia SITA: si ottengono risultati analoghi con un risparmio del tempo di circa il 50%

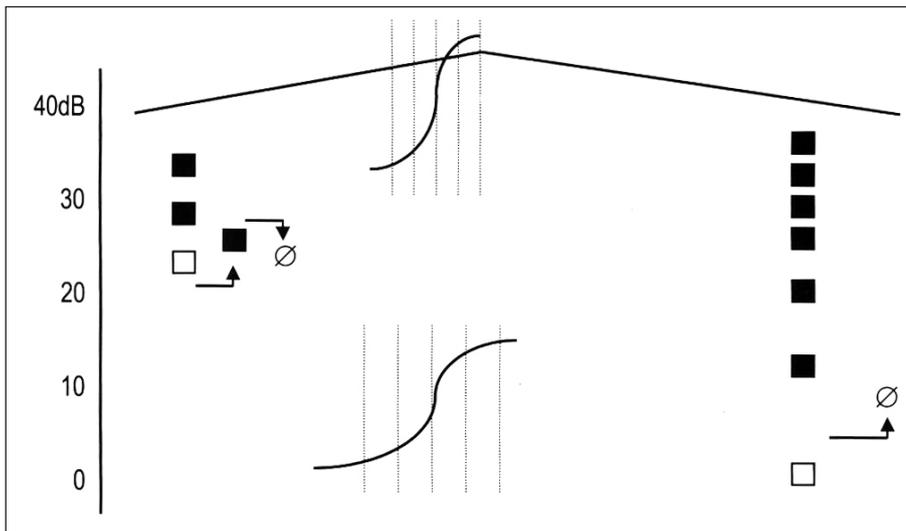


**Figura 13**  
 Esame perimetrico eseguito con strategia SITA Fast

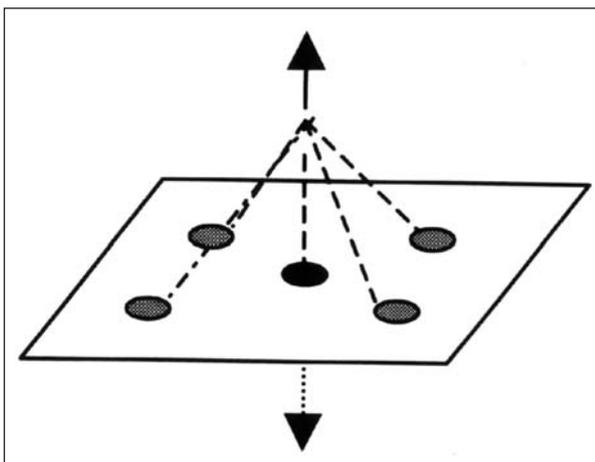
perimetria di circa l'80%, mentre la sua specificità e sensibilità sono simili a quella di una perimetria di soglia tradizionale, con la sola eccezione di una minore profondità nelle aree scotomatose segnalate<sup>46</sup>.

In definitiva, si può affermare che l'introduzione delle tecniche di determinazione veloce della soglia ha notevolmente migliorato la compliance del paziente verso la perimetria compu-

terizzata. Metodiche che consentano l'esecuzione di un campo visivo in tempi ridotti sono, quindi, da preferirsi in pazienti poco collaboranti e dove sia ipotizzabile la presenza di un campo visivo molto alterato. Infatti, in questi casi, una sottostima delle aree scotomatose, spesso presente con l'uso di strategie veloci, non diminuisce il significato clinico dei risultati ottenuti.



**Figura 14**  
 Strategia dinamica di determinazione della soglia. Si utilizzano intervalli di luminosità variabili in rapporto al livello di sensibilità atteso in una determinata sede retinica. Nei punti centrali prossimi alla fissazione l'intervallo di decremento degli stimoli presentati per il calcolo della soglia sarà più stretto. Nelle zone più periferiche l'intervallo di decremento può giungere fino a 10 dB



**Figura 15**  
 TOP Strategy (Tendency Oriented Perimetry). La sensibilità di un punto retinico è correlata a quella dei punti circostanti: un valore positivo innalza la soglia dei punti contigui e viceversa

## Tecniche di perimetria non convenzionale

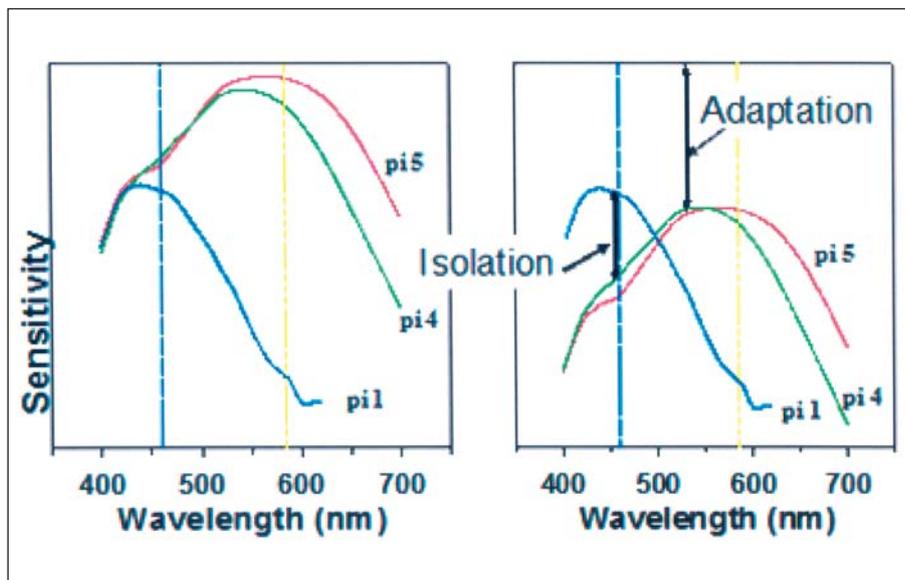
La perimetria computerizzata acromatica rimane ancora oggi la tecnica di semeiotica strumentale più utilizzata nella diagnosi e nel controllo del glaucoma. Tuttavia, questo esame presenta numerosi limiti, soprattutto nella diagnosi precoce del danno perimetrico. È infatti noto che è neces-

saria una perdita superiore al 20%-40% delle cellule ganglionari e delle fibre nervose prima che si possa evidenziare un danno significativo del campo visivo<sup>47</sup>.

Sono state proposte, nel tempo, numerose metodiche perimetriche non convenzionali, atte a diagnosticare un difetto più precocemente della perimetria convenzionale, con minore variabilità e in maniera più oggettiva. La caratteristica comune di tutte queste tecniche è quella di isolare una piccola parte del sistema visivo, stimolando selettivamente una popolazione limitata di cellule ganglionari. Questo concetto prende il nome di ridondanza ridotta<sup>48-49</sup>. In questo modo si evita che, un eventuale difetto iniziale, possa essere mascherato da una risposta suppletiva delle cellule circostanti, che vengono invece globalmente stimulate da uno stimolo non selettivo, come avviene nella perimetria acromatica.

Numerose tecniche non convenzionali sono state proposte nel tempo, ma solamente poche sono state impiegate a scopo clinico. Tra queste, le più interessanti e diffuse sono:

- 1) Perimetria a corta lunghezza d'onda (Short-Wavelength Automated Perimetry SWAP) o perimetria blu/giallo.
- 2) Perimetria a duplicazione di frequenza (Frequency Doubling Technology FDT).



**Figura 16**

Perimetria a corta lunghezza d'onda (SWAP). Utilizza stimoli blu con una lunghezza d'onda di 440 nm, capaci di stimolare selettivamente i coni specifici per il colore blu. Contestualmente viene utilizzato un filtro di colore giallo a 530 nm, ad elevata luminanza, che illumina lo sfondo della cupola in grado di saturare i coni sensibili al rosso e al verde. In questo modo vengono isolati ed eccitati solamente i coni S sensibili al blu e le loro connessioni con le cellule ganglionari bi stratificate che afferiscono allo strato koniocellulare del nucleo genicolato laterale

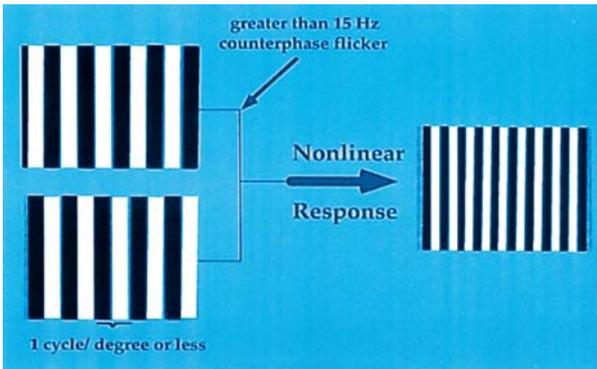
La Perimetria a corta lunghezza d'onda (SWAP) utilizza stimoli di colore blu, dotati di una lunghezza d'onda capace di stimolare selettivamente i coni specifici per questo colore. Contestualmente alla proiezione dello stimolo viene utilizzato un filtro di colore giallo, ad elevata luminanza, proiettato sullo sfondo della cupola. Questo filtro è in grado di saturare i coni sensibili al rosso e al verde e che rispondono a stimoli di media e lunga lunghezza d'onda (*figura 16*). In questo modo vengono isolati ed eccitati solamente i coni sensibili al blu, connessi alle cellule ganglionari bistratificate, che a loro volta afferiscono allo strato koniocellulare del nucleo genicolato laterale.

Numerosi studi clinici hanno dimostrato che la SWAP è in grado di evidenziare nel glaucoma ed in altre patologie un difetto iniziale del campo visivo prima della perimetria bianco su bianco<sup>50-56</sup>. Purtroppo, la sua utilità viene fortemente compromessa dalla presenza di opacità catarattose, anche subcliniche, è molto impegnativa per i pazienti e la variabilità inter e intraindividuale è molto più alta che con la perimetria acromatica<sup>57</sup>. L'applicazione di strategie veloci anche nel-

la SWAP è degli ultimi anni, e sembra aver dato nuova linfa a questa metodica, soprattutto riducendo fortemente la variabilità a lungo termine. Tutto questo, probabilmente, aiuterà a superare i limiti di di questa interessante tecnica perimetrica e a stimolare nuovamente l'interesse per essa, che attualmente appare fortemente ridimensionato.

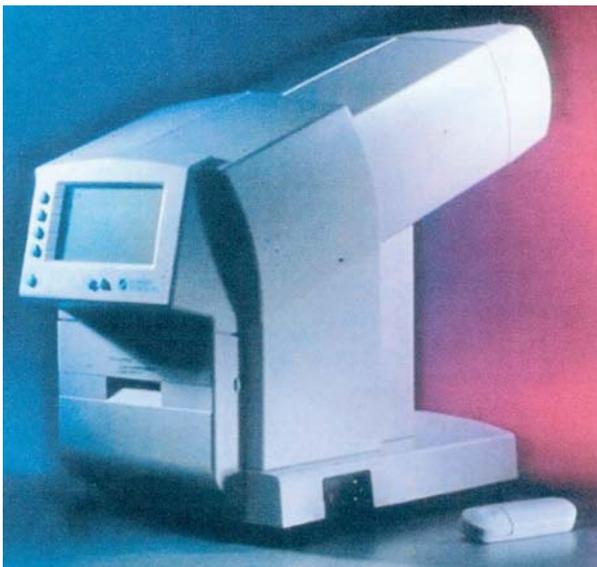
La Perimetria a Duplicazione di Frequenza (FDT), studia selettivamente le risposte del sistema magnocellulare, costituito dalle cellule ganglionari M che sono sensibili a stimoli a bassa frequenza spaziale ed alta frequenza temporale. Lo stimolo che si utilizza nell' FDT è costituito da barre sinusoidali alternate chiare e scure, con bassa frequenza spaziale (0,25 cicli/grado) ed alta frequenza temporale (25 Hz), nelle quali viene variato il contrasto di presentazione<sup>58</sup> (*figura 17*).

A questa frequenza, il numero delle barre appare raddoppiato, da cui il nome di perimetria a raddoppio di frequenza. Il perimetro FDT di prima generazione (*figura 18*) presentava 17 o 19 grosse mire in varie locazioni del campo visivo (*figura 19*), mentre l'apparecchio di se-



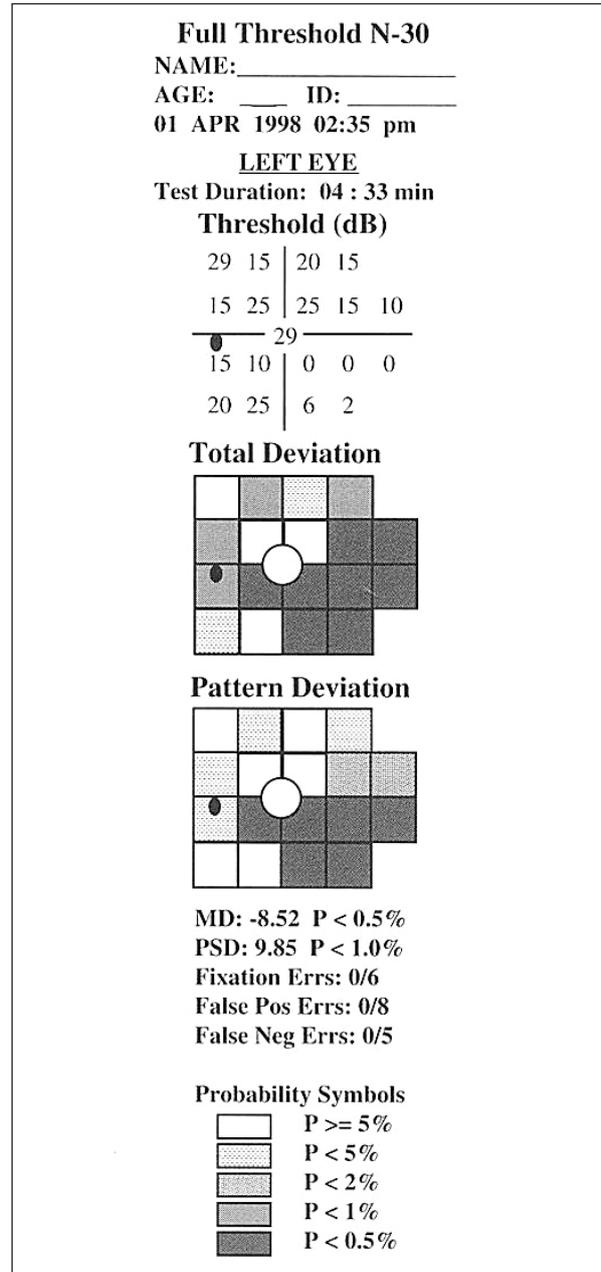
**Figura 17**

Stimolo della perimetria a raddoppio di frequenza (FDT). Lo stimolo è costituito da barre sinusoidali alternate chiare e scure con bassa frequenza spaziale (0,25 cicli/grado) ed alta frequenza temporale (25 Hz), nelle quali viene variato il contrasto di presentazione<sup>14</sup>. A questa frequenza, il numero delle barre appare raddoppiato, da cui il nome di perimetria a raddoppio di frequenza (figura 3)



**Figura 18**  
FDT Zeiss-Humphrey

conda generazione, denominato FDT Matrix (figura 20), è in grado di fornire mire più piccole e di eseguire esami topograficamente analoghi a quelli per lo studio della macula e dei 30° o 10° centrali, già utilizzati in perimetria acromatica (figura 21 e 22). La perimetria FDT è attualmente la tecnica non convenzio-



**Figura 19**  
 Stampa di un programma di soglia con FDT Zeiss- Humphrey: il grado di ombreggiatura delle mappe corrisponde alla significatività del difetto registrato. Vengono forniti inoltre gli indici perimetrici ed i parametri di attendibilità come nella perimetria convenzionale

nale più diffusa, per la rapidità d'esame, per la facilità d'impiego e per la sua buona sensibilità nel rilevare difetti glaucomatosi iniziali. Inoltre, offre il vantaggio di essere scarsamente influenzata dalla presenza di opacità catarattose e di essere relativamente indipendente dalla correzione ottica<sup>59-65</sup>.

La capacità di percepire uno stimolo intermittente su uno sfondo ad illuminazione costante è alla base della perimetria flicker<sup>66</sup>. I vantaggi principali di questa tecnica, che esprime i valori di sensibilità in Hertz (*figura 23*), sono quelli di essere utile nell'identificare danni campimetrici precoci e di essere poco influenzata dalla presenza di cataratta. Tuttavia è anch'essa una metodica che ha trovato una relativa applicazione clinica, per le difficoltà di esecuzione e per essere commercialmente disponibile solo sui perimetri Octopus.

La Perimetria High-pass Resolution o Ring Perimetry, proposta da Frisén<sup>67-70</sup>, analizza selettivamente il sistema parvocellulare, impiegando mire anulari filtrate, presentate su di un mo-

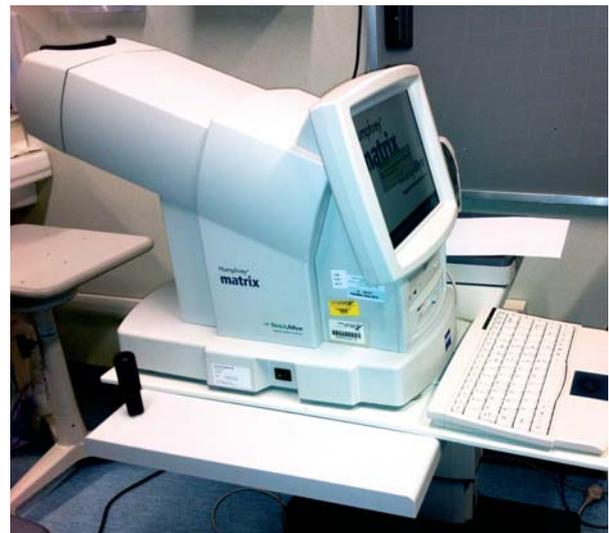


Figura 20  
FDT Matrix

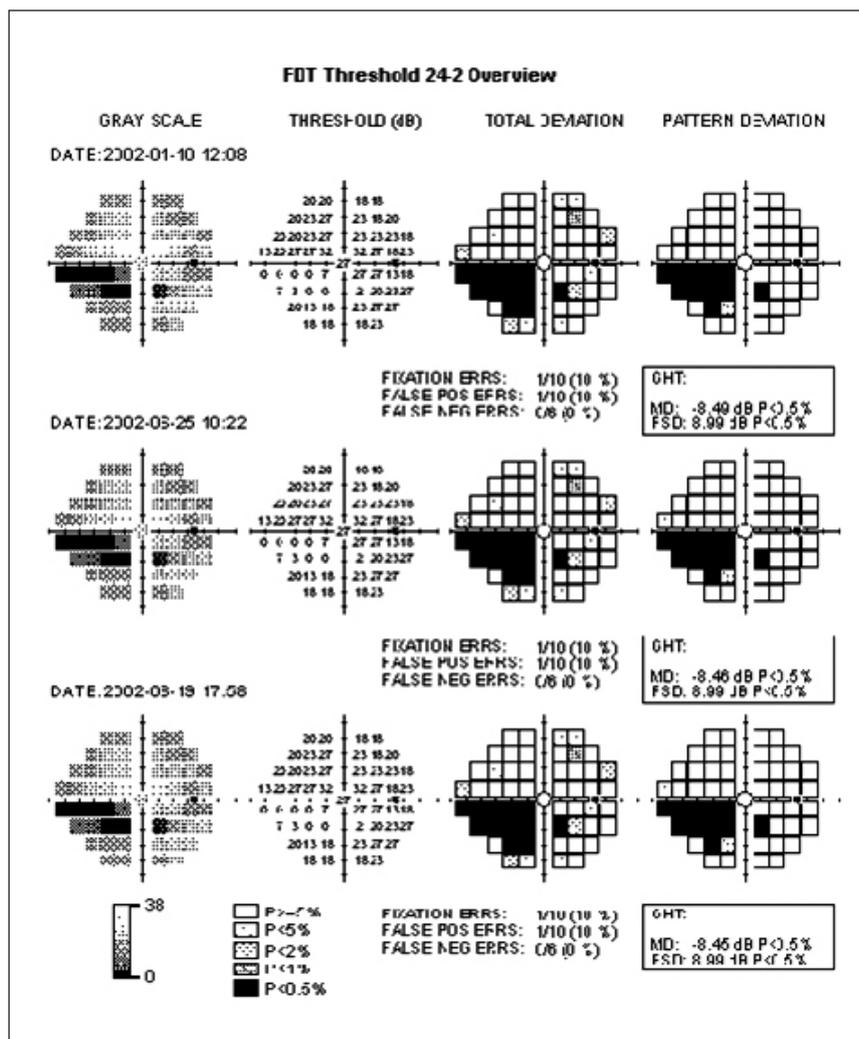
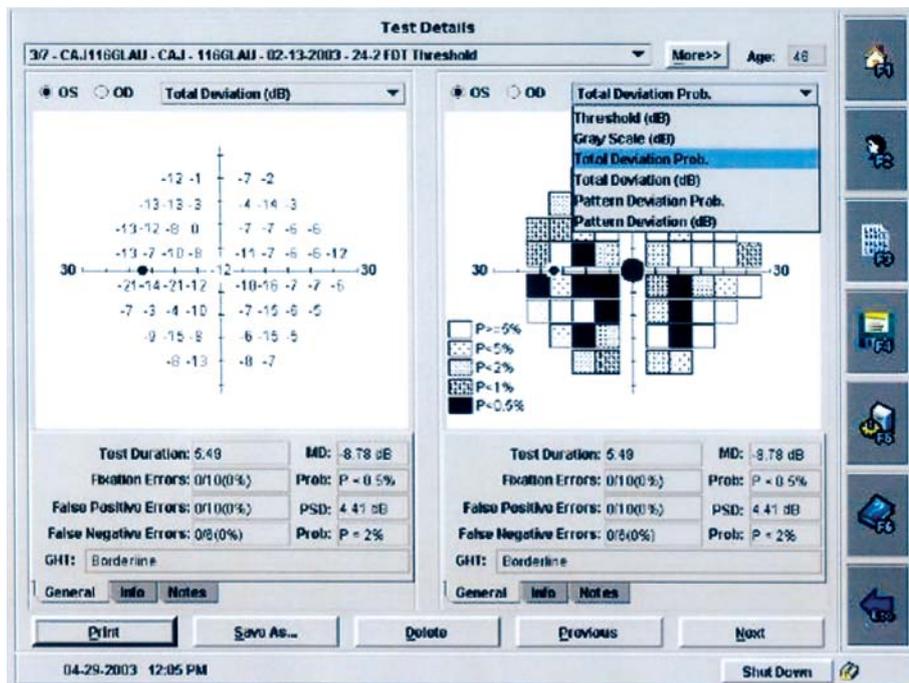
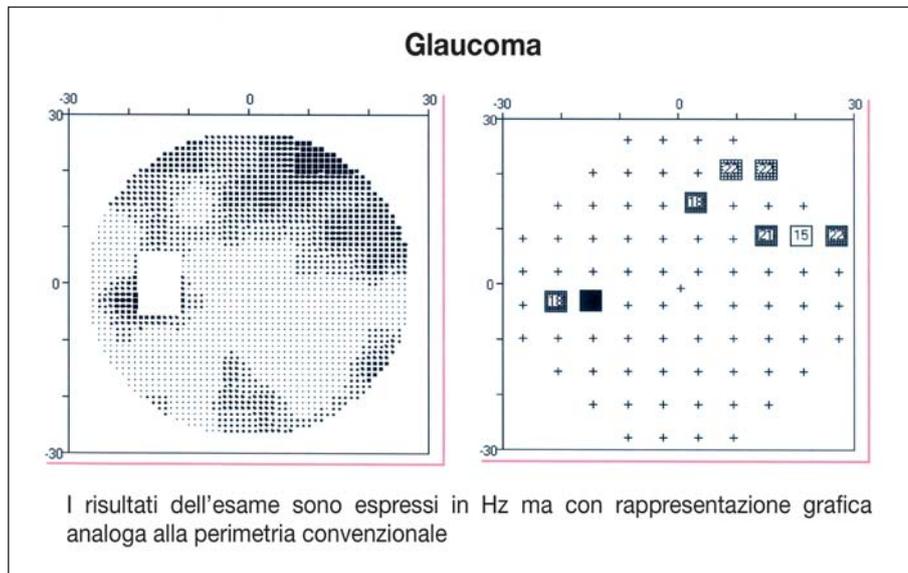


Figura 21  
Overview di una serie di esami eseguiti con FDT Matrix. La grafica di rappresentazione è simile a quella della perimetria convenzionale



**Figura 22**  
Esecuzione di un esame con FDT Matrix: L' operatore può monitorizzare la fissazione del paziente e lo stato di avanzamento dell'esame



**Figura 23**  
Perimetria Flicker: Si basa sulla capacità di percepire uno stimolo intermittente su uno sfondo ad illuminazione costante. I valori di sensibilità sono espressi in Hertz ma la scala dei grigi è analoga a quella della perimetria convenzionale

nitor. Gli anelli sono formati da due bordi grigi e da una parte intermedia più chiara. La media delle due tonalità di grigio equivale alla tonalità dello sfondo. Queste caratteristiche fanno sì che la soglia di risoluzione sia sovrapponibile alla soglia

di percezione. Le dimensioni degli anelli vengono aumentate o diminuite in base alle risposte del paziente, fino alla determinazione della soglia. I risultati sono analoghi alla perimetria tradizionale, ma la fluttuazione delle risposte è mi-

nore, l'esame è rapido e fornisce utili informazioni. Sfortunatamente questo perimetro non è più reperibile sul mercato.

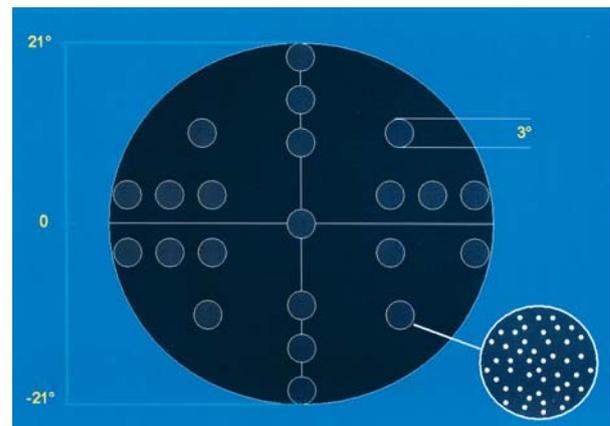
La perimetria di movimento analizza il movimento di uno o più stimoli su uno sfondo. Questa metodica esprime interessanti potenzialità di applicazione, poiché il movimento è una funzione visiva primaria, resistente a modificazioni dello stimolo quali variazioni del contrasto, dimensioni e illuminazione di fondo. Questo tipo di perimetria può essere condotta: a) determinando la minima quantità di movimento necessaria per accorgersi di un movimento (perimetria di spostamento), b) valutando la quantità di movimento necessaria per determinare una direzione coerente di un gruppo di punti all'interno di altri che si muovono in maniera casuale (perimetria di coerenza di movimento) (figura 24), c) determinando la direzione del movimento, d) valutando la velocità necessaria per notare il movimento, e) misurando la grandezza necessaria per percepire la direzione di movimento di un gruppo di punti<sup>70</sup>.

Molti studi hanno dimostrato che le varie tecniche di perimetria di movimento mettono in evidenza difetti campimetrici precoci da glaucoma e da altre patologie oculari e neurologiche. Tuttavia, anche esse hanno, allo stato attuale, una scarsa applicazione clinica per le loro difficoltà pratiche di esecuzione.

Recentemente sono state presentate due nuove tecniche non convenzionali molto promettenti: la perimetria Pulsar e la Rarebit Perimetry.

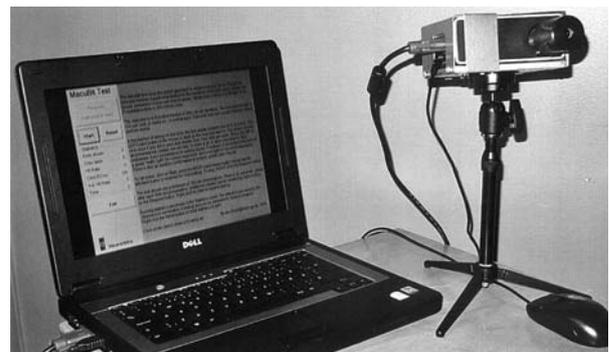
La perimetria Pulsar si esegue con un monitor sul quale vengono presentati stimoli anulari concentrici pulsanti, dei quali possono essere variati contrasto, risoluzione spaziale, velocità di movimento e frequenza di oscillazione (figura 25). Questa tecnica si è dimostrata molto interessante con una buona sensibilità nel determinare danni perimetrici precoci.

La Rarebit Perimetry<sup>71-72</sup>, invece, si avvale di uno o due stimoli di piccole dimensioni presentati all'interno di 30 piccole aree circolari su di uno schermo. La mira di fissazione è mobile e il paziente deve segnalare l'avvenuta percezione e il numero di stimoli visti. Si tratta di una metodica completamente nuova, che sembra avere un'ottima sensibilità al danno funzionale pre-



**Figura 24**

Perimetria di coerenza di movimento. Valuta la quantità di movimento necessaria per determinare una direzione coerente di un gruppo di punti all'interno di altri che si muovono in maniera casuale



**Figura 25**

Prototipo di perimetro Pulsar

coce sia nel glaucoma che in neuro-oftalmologia (figura 26). Entrambe queste nuove tecniche sembrano avere una potenzialità di applicazione clinica con sensibilità e specificità analoga a quelle di tecniche non convenzionali già conosciute, quali la perimetria a raddoppio di frequenza<sup>73</sup>.

Esistono infine metodi di esplorazione, che dovrebbero consentire di valutare il campo visivo in maniera del tutto oggettiva, indipendentemente dalla collaborazione del paziente. Si tratta di tecniche estremamente interessanti, ma ancora in fase di perfezionamento e tra queste ricordiamo la Pupillo-perimetria<sup>74-75</sup>.

Essa si basa sulla registrazione dei movimenti pupillari tramite un pupillografo a raggi infrarossi collegato ad un perimetro automatico. Si analizza la latenza o l'ampiezza della contrazione pu-

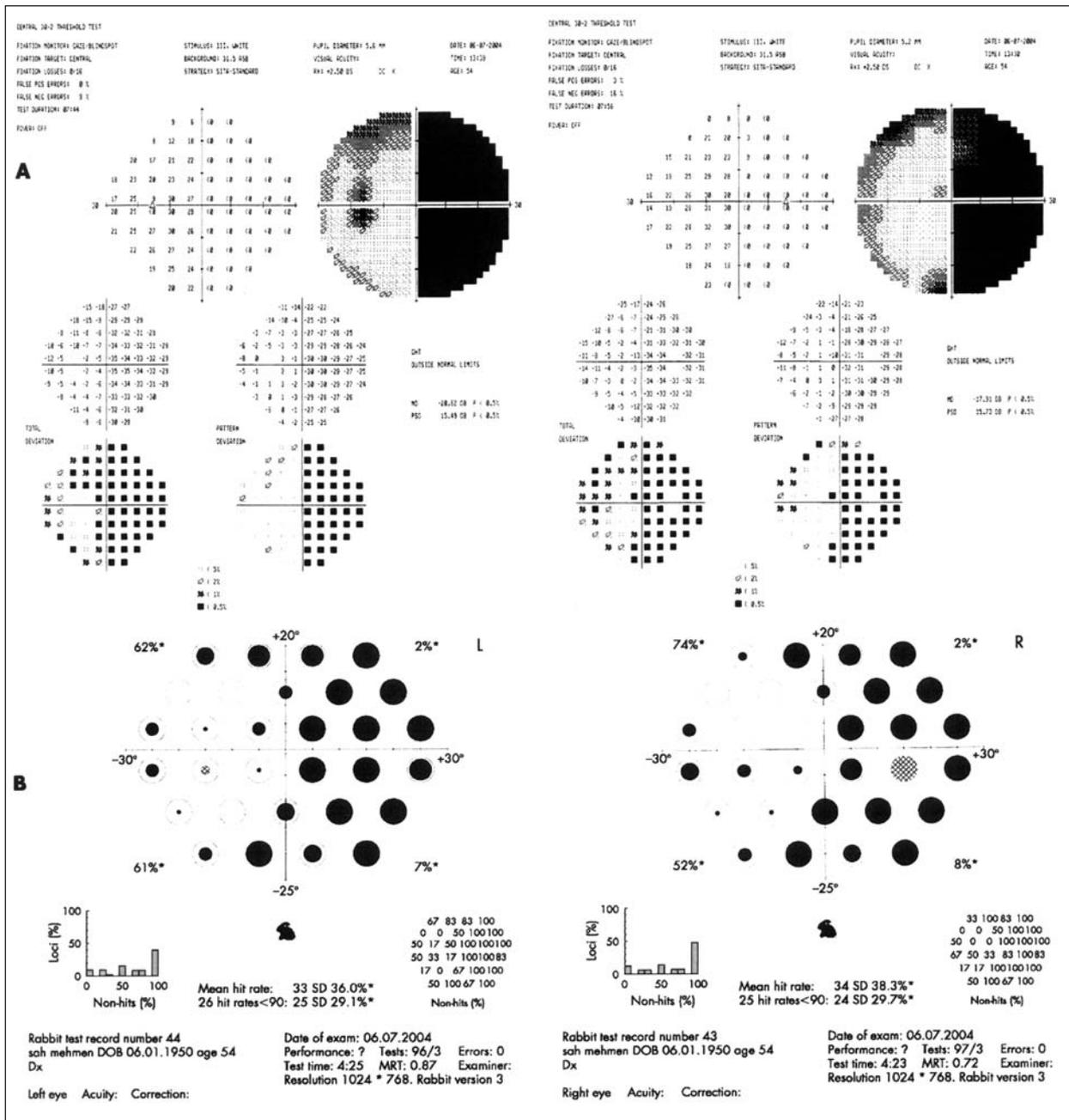


Figura 26

Rabbit perimetry. Si avvale di stimoli di piccole dimensioni presentati all'interno di piccole aree circolari su di uno schermo. La mira di fissazione è mobile e il paziente deve segnalare l'avvenuta percezione e il numero di stimoli visti. Utile nel glaucoma ed in neurooftalmologia

pillare, in risposta a stimoli molto luminosi di grandi dimensioni.

In conclusione si può affermare che l'esame del campo visivo è stato sottoposto a cambiamenti rivoluzionari negli ultimi 20 anni, soprattutto per ciò che riguarda gli strumenti disponibili, la standardizzazione e valutazione dei risultati, nonché la qualità e accuratezza di questi ultimi<sup>76-77</sup>. Va tut-

tavia ricordato che, i principi di base sull'esecuzione pratica di un esame del campo visivo, rimangono sostanzialmente analoghi a quelli utilizzati due secoli fa. Resta, quindi, alto l'interesse scientifico e clinico ed è ancora attuale la sfida ad introdurre metodiche di esame sempre più oggettive e sensibili nell'esecuzione di questo esame semeiologico, di gran lunga il più eseguito in Oftalmologia.

## BIBLIOGRAFIA

1. THOMPSON HS, WALL M. Imaging and Perimetry Society (IPS). *A History of Perimetry*.
2. LASCARATOS J, MARKETOS S. A historical outline of Greek ophthalmology from the Hellenistic period up to the establishment of the first universities. *Doc Ophthalmol* 1988;68:157-69.
3. THOMPSON HS. How visual field testing was introduced into office ophthalmology. Paper presented at the 1993 David G. Cogan Ophthalmic Historical Society Meeting, 1993
4. VON GRAEFE A. Ueber die Untersuchung des Gesichtsfeldes bei amblyopischen Affectionen. *Graefes Archiv fur Ophthalmologie* 1856; 2(Pt 2):258-98.
5. TRAQUAIR HM. An Introduction to Clinical Perimetry. St. Louis, MO: Mosby; 1927.
6. AULHORN E, HARMS H. Visual perimetry. In: Jameson D, Hurvich LM, eds. Handbook of Sensory Physiology: Volume VII/4: Visual Psychophysics. Berlin, Germany: Springer-Verlag; 1972:102-45.
7. TATE GW, LYNN JR. Principles of Quantitative Perimetry: Testing and Interpreting the Visual Field. New York, NY: Grune&Stratton; 1977.
8. BEBIE H, FANKHAUSER F, SPAHR J. Static perimetry: strategies. *Acta Ophthalmol* (Copenh) 1976;54:325-38.
9. BEBIE H, FANKHAUSER F, SPAHR J. Static perimetry: accuracy and fluctuations. *Acta Ophthalmol* (Copenh) 1976;54:339-48.
10. FANKHAUSER F, SPAHR J, BEBIE H. Three years of experience with the 'Octopus' automatic perimeter. *Doc Ophthalmol Proc Series* 1977; 14:7-15.
11. FANKHAUSER F. Developmental milestones of automated perimetry. In: Hendkind P, ed. ACTA: XXIV International Congress of Ophthalmology. Philadelphia, PA: JB Lippincott; 1982:147-50.
12. HEIJL A, PATELLA VM. Essential Perimetry. The Field Analyzer Primer (3rd ed), Dublin California: Carl Zeiss Meditec, 2002.
13. GRIGNOLO A, ZINGIRIAN M, FRUGONE G, GIANNOTTI E, TAGLIASCO V. The visual field examination and its automation. *Doc Ophthalmol* 1977; 43(1):45-50
14. ZINGIRIAN M, GANDOLFO E, CAPRIS P, MATTIOLI R. Computerized system for static and kinetic automated perimetry. *Eur J Ophthalmol* 1991; 1 (4):181-86
15. BRUSINI P. Clinical use of a new method for visual field damage classification in glaucoma. *Eur J Ophthalmol* 1996; 6(4): 402-7
16. BRUSINI P. GDx Staging System: A New Method for Retinal Nerve Fiber Layer Damage Classification. *J Glaucoma*. 2010 Jun 23. Epub ahead of print
17. WALL M, JOHNSON CA. Principles and techniques of the examination of the visual sensory system. In: Miller NR, Walsh FB, Hoyt WF, eds. Walsh and Hoyt's Clinical Neuro-Ophthalmology, vol. 1. Philadelphia, PA: Lippincott, Williams and Wilkins; 2005:83-149.
18. KELTNER JL, JOHNSON CA. Automated perimetry I. A consumer's guide. *Ann Ophthalmol* 1981;13:275-9.
19. GLOOR BP. Franz Fankhauser: the father of the automated perimeter. *Surv Ophthalmol* 2009; 54:417-25
20. KELTNER JL, JOHNSON CA. Automated perimetry. II. Devices manufactured in the United States and abroad. *Ann Ophthalmol* 1981;13:395-7.
21. KELTNER JL, JOHNSON CA. Comparative material on automated and semi-automated perimeters. *Ophthalmology* 1981;88(suppl):67-9.
22. KELTNER JL, JOHNSON CA. Comparative material on automated and semiautomated perimeters-1982. *Ophthalmology* 1982;89(suppl):65-80.
23. KELTNER JL, JOHNSON CA. Comparative material on automated and semiautomated perimeters-1983. *Ophthalmology* 1983;90(suppl):1-35.
24. KELTNER JL, JOHNSON CA. Automated and manual perimetry-a six-year overview. Special emphasis on neuro-ophthalmic problems. *Ophthalmology* 1984;91:68-85.
25. KELTNER JL, JOHNSON CA. Comparative material on automated and semiautomated perimeters-1984. *Ophthalmology* 1984;91(suppl): 25-50.
26. KELTNER JL, JOHNSON CA. Automated perimetry. American Academy of Ophthalmology recommendation. *Ophthalmology* 1984; 91(suppl):51-7.
27. KELTNER JL, JOHNSON CA. Comparative material on automated and semi-automated perimeters-1985. *Ophthalmology* 1985; 92(suppl):34-57.
28. KELTNER JL, JOHNSON CA. Comparative material on automated and semiautomated perimeters-1986. *Ophthalmology* 1986;93:1-25.
29. CHOPLIN NT, SHERWOOD MB, SPAETH GL. The effect of stimulus size on the measured threshold values in automated perimetry. *Ophthalmology* 1990; 97:371-4.
30. SIATKOWSKI RM, LAM B, ANDERSON DR. Automated suprathreshold static perimetry screening in neuro-ophthalmology. *Ophthalmology* 1996; 103:907-17.
31. SPONSEL WE, RITCH R, STAMPER R et al for the Prevent Blindness America Glaucoma Advisory Comitee. Prevent Blindness America visual field screening study. *Am J Ophthalmol* 1995; 120:699-708.
32. HEIJL A. Humphrey Field Analyzer. In Drance SM, Anderson DR. Automatic Perimetry in glaucoma: a practical guide. p 129 Orlando FL, Grune & Stratton 1985.
33. HEIJL A. Humphrey Field Analyzer. Concepts and Clinical Results. *Doc Ophthalmol Proc Ser* 1985; 43:55-64.
34. O'DONNELL NP, BIRCH MK, WISHART PK. Fastpac error is within the long term fluctuation of Standard Humphrey threshold visual field testing. In Mills RP, Wall M, editors. Perimetry Update 1994/95: Proceedings of the XIth International Perimetric Society Meeting Washington DC 1994 p239, 1995, Kugler.

35. MILLS RP, BARNEBEY HS, MIGLIAZZO CV, LI-Y. Does saving time using Fastpac or suprathreshold testing reduce utility of visual fields? *Ophthalmology*. 1994;101:1596-603.
36. JOHNSON CA, CIOFFI GA, DRANCE SM, ET AL. A multicenter comparison study of the Humphrey Field Analyzer I and the Humphrey Field Analyzer II. *Ophthalmology*. 1997; 104:1910-17.
37. SHIRATO S, INOUE R, FUKUSHIMA K, SUZUKI Y. Clinical evaluation of SITA: a new family of perimetric testing strategies. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 1999; 237:29-34.
38. INAZUMI K, TSUJI A, YAMAMOTO T, KITAZAWA Y. Evaluation of the Swedish interactive thresholding algorithm, a new thresholding algorithm, of the Humphrey Field Analyzer in glaucoma patients. *Nippon Ganka Gakkai Zasshi*. 1998; 102:667-72.
39. BENGTTSSON B, HEIJL A, OLSSON J. Evaluation of a new threshold visual field strategy, SITA, in normal subjects. Swedish Interactive Thresholding Algorithm. *Acta Ophthalmol Scand*. 1998; 76:165-9.
40. BENGTTSSON B, OLSSON J, HEIJL A, ROOTZEN HA. New generation of algorithms for computerized threshold perimetry, SITA. *Acta Ophthalmol Scand*. 1997; 75: 368-75
41. OLSSON J, ROOTZEN H. An image model for quantal response analysis in perimetry. *Scand J Statistics*. 1994; 21: 375-87.
42. EVERETT BS. Dizionario Cambridge di statistica medica. // *pensiero scientifico*, Roma 1998
43. OLSSON J, HEIJL A, ROOTZEN H. US patent number 5, 461,435, issued Oct 24, 1995.
44. WEBER J. Perimetry with normal Octopus technique and Weber 'dynamic' technique. Initial results with reference to reproducibility of measurements in glaucoma patients. *Ophthalmology*. 1996; 93:420-7.
45. MORALES J, WEITZMAN ML, GONZALEZ DE LA ROSA M. Comparison between Tendency-Oriented Perimetry (TOP) and Octopus threshold perimetry. *Ophthalmology*. 2000; 107:134-42.
46. MAEDA H, NAKAURA M, NEGI A. New perimetric threshold test algorithm with dynamic strategy and tendency oriented perimetry (TOP) in glaucomatous eyes. *Eye*. 2000; 14: 747-51
47. QUIGLEY HA, DUNKELBERGER GR, GREEN WR. Retinal ganglion cell atrophy correlated with automated perimetry in human eyes with glaucoma. *Am J Ophthalmol*. 1989;107: 453-64.
48. ZRENNER E, GOURAS P. Characteristics of the blue sensitive cone mechanism in primate retinal ganglion cells. *Vision Res*. 1981; 21:1605-9.
49. SAMPLE PA, BOSWORTH CF, BLUMENTHAL EZ, GIRKIN C, WEINREB RN. Visual function-specific perimetry for indirect comparison of different ganglion cell populations in glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2000; 41:1783-90.
50. JOHNSON CA, ADAMS AJ, CASSON EJ, BRANDT JD. Blue-on-yellow perimetry can predict the development of glaucomatous visual field loss. *Arch Ophthalmol*. 1993; 111:640-50.
51. SAMPLE PA, MARTINEZ GA, WEINREB RN. Color visual fields: a five-year prospective study in suspects eyes and eyes with primary open angle glaucoma. In Mills RP ed. *Perimetry Update 1992/1993*. Kugler Publ, Amsterdam; 1993. 467-73.
52. URGULU S, HOFFMAN D, GARWAY-HEATH DF, CAPRIOLI J. Relationship between structural abnormalities and short-wavelength perimetric defects in eyes at risk of glaucoma. *Am J Ophthalmol*. 2000; 129:592-7.
53. WILD JM. Short Wavelength automated perimetry. *Acta Ophthalmol Scand*. 2001; 79:546-59.
54. QI S, JIANG Y. Short-wavelength perimetry in diagnosis of early glaucoma: comparison with standard automated perimetry *Zhonghua Yan Ke Za Zhi*. 2002 Jan;38(1):31-5.
55. POLO V, LARROSA JM, PINILLA I, PEREZ S, GONZALVO F, HONRUBIA FM. Predictive value of short-wavelength automated perimetry: a 3-year follow-up study. *Ophthalmology*. 2002;109(4):761-5.
56. SIT AJ, MEDEIROS FA, WEINREB RN. Short-wavelength automated perimetry can predict glaucomatous standard visual field loss by ten years. *Semin Ophthalmol*. 2004;19(3-4):122-4
57. KWON Y, PARK HJ, JAP A, UGURLU S, CAPRIOLI J. Test-retest variability of blue-on-yellow perimetry is greater than white-on-white perimetry in normal subjects. *Am J Ophthalmol*. 1998; 129:29-36.
58. BRUSINI P, BUSATTO P. Frequency doubling perimetry in glaucoma early diagnosis. *Acta Ophthalmol Scand*. 1998; 76: S227:23-4.
59. LESTER M, MERMOUD A, SCHNIDER C. Frequency doubling technique in patients with ocular hypertension and glaucoma. *Ophthalmology*. 2000; 107:288-94.
60. TRIBLE JR, SCHULTZ RO, ROBINSON JC, ROTHE TL. Accuracy of glaucoma detection with Frequency-Doubling Perimetry. *Am J Ophthalmol*. 2000; 129:740-5.
61. RAVI T, BHAT S, MULIYIL JP et al. Frequency doubling perimetry in glaucoma. *J Glaucoma*. 2002; 11:46-50.
62. SAMPAOLESI R, BRUSINI P, SAMPAOLESI JR. Korrelation zwischen der konfokalen Tomographie des Nervus opticus (HRT) und der perimetrischen Frequenzverdoppelungstechnik (FDT). *Klin Monatsbl Augenheilkd*. 2003; 220; 754-66.
63. FITZKE FW, POINOOSAWMY D, ERNST W, HITCHINGS RA. Peripheral displacement threshold in normals, ocular hypertensives and glaucoma. *Doc Ophthalmol*. 1987; 49:447-52.
64. MANSBERGER SL, JOHNSON CA, CIOFFI GA, CHOI D, KRISHNADAS SR, SRINIVASAN M, BALAMURUGAN V, KIM U, SMITH SD, WILKINS JH, GRITZ DC. Predictive value of frequency doubling technology perimetry for detecting glaucoma in a developing country. *J Glaucoma*. 2005;14(2):128-34.
65. KORZEKWA W, KORZEKWA M, MARKOWSKA J, WOJCIK-NIKLEWSKA B, ROMANIUK W, KORZEKWA A, MICHALSKA-MALECKA K. Frequency doubling perimetry in diagnosis of early glaucomatous optic nerve fiber damage *Klin Oczna* 2004;106(1-2 Suppl):222-4.
66. JOHNSON CA, SAMPLE PA. Perimetry and visual field testing. In: Alm A, Kaufmann P, eds. *Adler's Physiology of the Eye: Clinical Approach*, 10th ed. St. Louis, MO: Mosby; 2002:552-77.
67. FRISÉN L. A computer graphics visual field screener using

- high-pass spatial frequency resolution targets and multiple feedback devices. *Doc Ophthalmol Proc Ser.* 1987; 49: 441-6.
68. FRISEN L. High-pass resolution perimetry. A clinical review. *Doc Ophthalmol.* 1993;83:1-25. Review
69. AIRAKSINEN PJ, TUULONEN A, VÄLIMÄKI I, ALANKO HI. Retinal nerve fiber layer abnormalities and high-pass resolution perimetry. *Acta Ophthalmol.* 1990; 68:687-9
70. BRUSINI P, MIANI F, TOSONI C. "High-pass resolution perimetry" (HRP) nel glaucoma. *Minerva Oftalmol* 1993; 35:47-57.
71. FRISEN L. New, sensitive window on abnormal spatial vision: rarebit probing. *Vision Res.* 2002; 42:1931-9.
72. BRUSINI P, SALVETAT ML, PARISI L, ZEPIERI M. Probing glaucoma visual damage by rarebit perimetry. *Br J Ophthalmol.* 2005;89(2):180-4.
73. SALVETAT ML, ZEPIERI M, TOSONI C, PARISI L, BRUSINI P. Non-conventional perimetric methods in the detection of early glaucomatous functional damage. *Eye* 2010; 24(5):835-42.
74. BERGAMIN O, TURTSCHI S, SCHÖTZAU A, HENDRICKSON P, FLAMMER J, ZULAUF M. Pupil perimetry with the Octopus 1-2-3: first experience. In Mills RP, Wall M eds. *Perimetry Update 1994/1995. Kugler Publ, Amsterdam, New York; 1995. 125-9.*
75. KARDON RH, THOMPSON S. Pupil perimetry: methods of threshold determination and comparison with visual responses. In Mills RP, Wall M eds. *Perimetry Update 1994/1995. Kugler Publ, Amsterdam, New York; 1995. 119-23.*
76. JOHNSON CA, WALL M, THOMPSON HS. A History of Perimetry and Visual Field Testing. *Optom Vis Sci.* 2011;88:8-15.
77. BRUSINI P, PERDICCHI A. La semeiologia della funzione visiva: l'esame perimetrico in: *Il Glaucoma di Stefano Gandolfi e Autori Vari Ed. Mattioli 2005:109-144*