

시야 검사의 효율성과 정확성 향상을 위한 개인 맞춤형 시표 제시 방법

2013. 11. 23

이지형¹, 이백희¹, 이승훈¹, 유희천¹, 강자현²



¹포항공과대학교 인간공학설계기술연구실
²강동경희대학교병원 안과



AGENDA

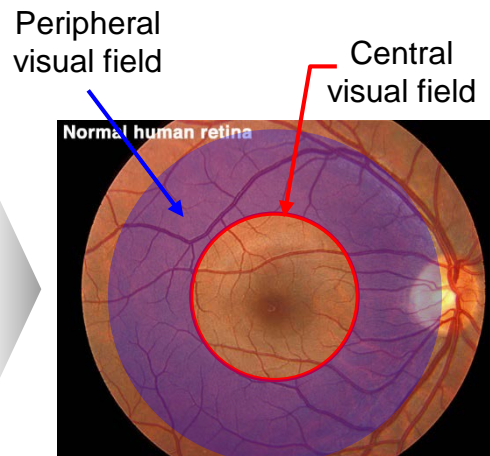
- Introduction
 - ✓ Background
 - ✓ Objective of the Study
 - Visual Field Testing Strategies
 - Personalized Visual Field Testing Methods
 - Discussion
-

Importance of Visual Field Testing

- Visual field test: 중심 시야 또는 주변 시야내의 시신경의 기능성 측정하는 검사로 손상된 시신경 부위와 정도를 정량적 수치로 제공하기 때문에 녹내장 진단에 유용하게 사용됨
- Perimetry: 지정된 검사 영역 내에서 다양한 밝기의 시표를 제시하여 피검사자가 인지 가능한 visual field area와 threshold를 찾아내는 검사 장비



Visual field test
(Humphrey Field Analyzer)



Fundus image (right eye)

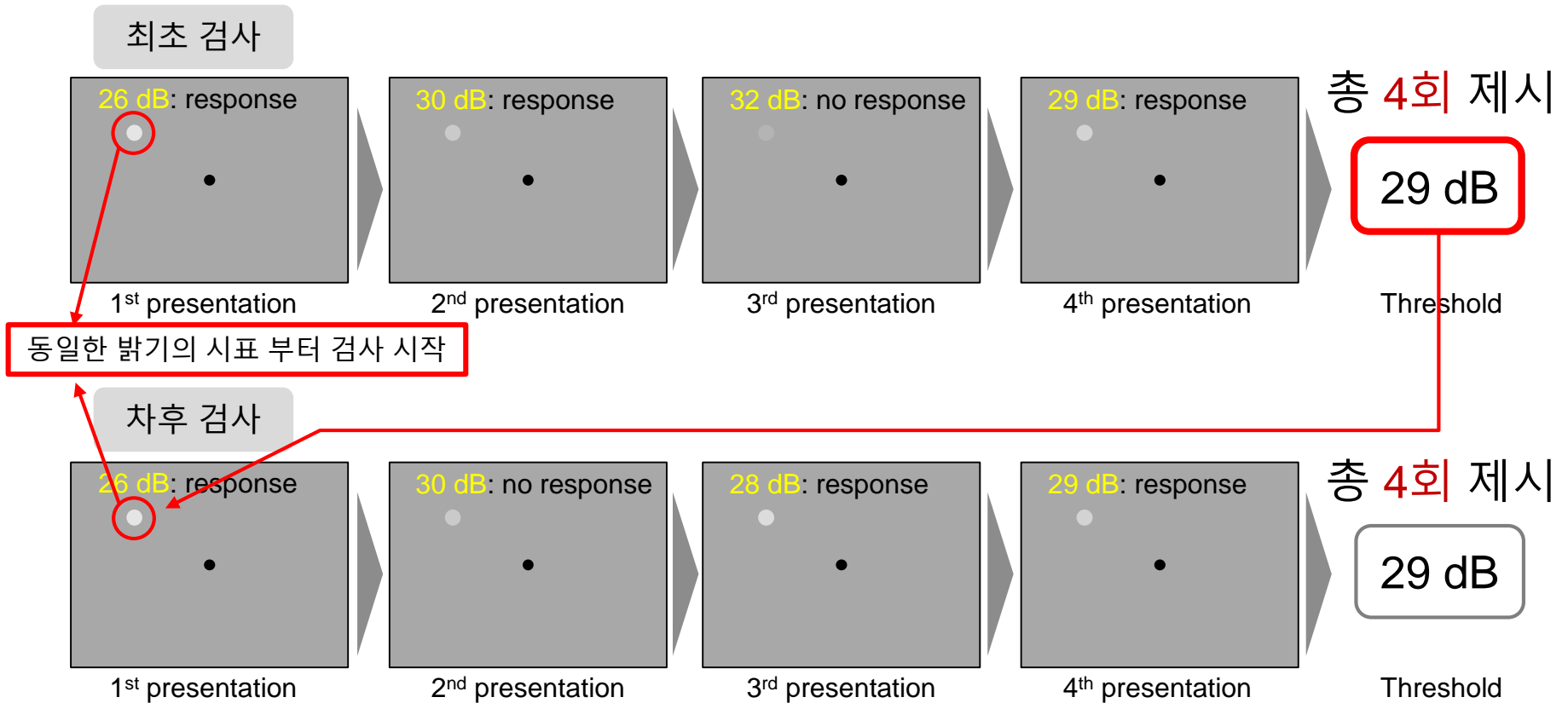
		25	26	24	22		
		30	30	30	26	30	26
		25	31	28	30	28	27
24	27	31	35	33	30	25	30
25	29	32	34	35	32	32	30
		28	32	32	32	31	28
		29	31	32	32	29	28
		26	31		27	30	

Central 24-2 visual field test result (right eye)



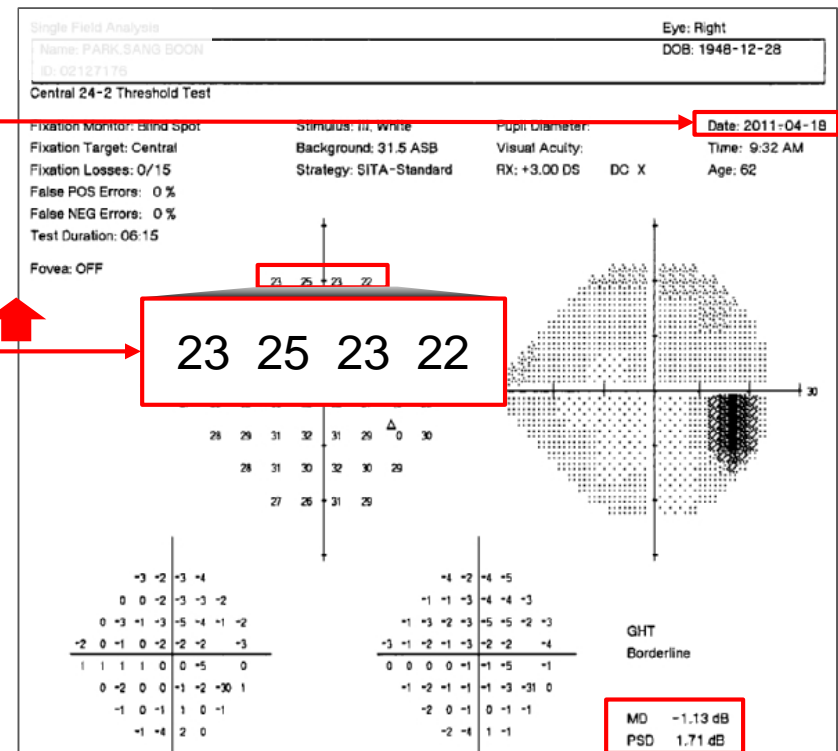
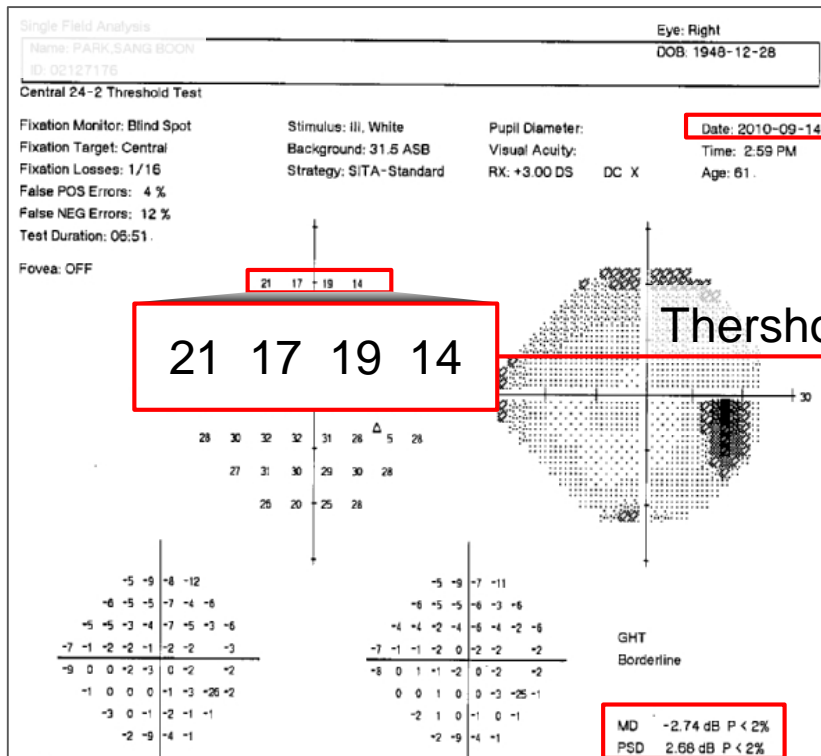
Characteristic of VFTS: Efficiency

- 임상에서 수행된 기존 시야 검사에는 SITA standard™, ZEST 방법 등이 주로 사용되고 있으나 **보다 효율적인 시야 검사**가 가능함



Characteristic of VFTS: Accuracy

- Fluctuation factors: learning effect, reliability, pupil size, age, and **the mode of stimulus presentation** (Stewart & Hunt, 1993) → accuracy ↓



MD -2.74 dB p < 2%
 PSD 2.68 dB p < 2%

MD, PSD 변경 됨

MD -1.13 dB
 PSD 1.71 dB

Objective

효율성과 정확성 향상을 위한 개인 맞춤형 visual field test strategies 개발

1 기존 시야 검사 방법 분석

Maximum likelihood estimation (MLE)

- ZEST: variant of QUEST (zippy estimate of sequential testing)
- S-ZEST (seeded ZEST)
- C-ZEST (continued ZEST)
- RE-ZEST (S + C ZEST)

Mixed search (SC & MLE)

- QUEST* (quick estimate by sequential testing)
- SITA (Swedish interactive threshold algorithm)
 - SITA Standard™
 - SITA Fast™

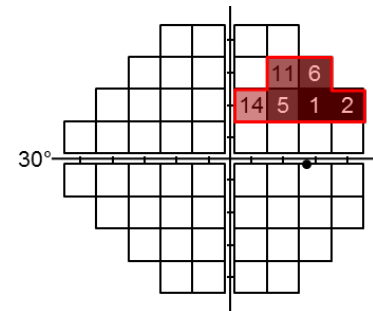
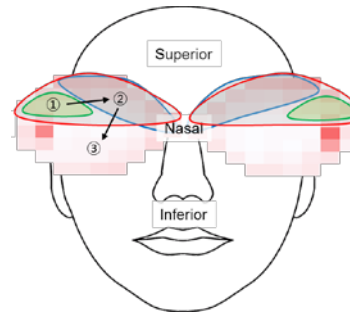
Staircase (SC)

- Full Threshold
 - Full Threshold
 - FastPac™

Binary search (BS)

- REBS* (rapid, efficient binary search)
- MOBS (modified binary search)
- TOP (tendency oriented perimetry)

2 개인 맞춤형 시야 검사 방법 개발



Partial threshold

Classification of VFTS for Threshold

Maximum Likelihood Estimation (MLE)

- **ZEST**: variant of QUEST (zippy estimate of sequential testing)
 - S-ZEST (seeded ZEST)
 - C-ZEST (continued ZEST)
 - RE-ZEST (S + C ZEST)



Staircase (SC)

- **Full Threshold**
 - Full Threshold
 - FastPac™



Mixed Search (SC & MLE)

- **QUEST*** (quick estimate by sequential testing)

- **SITA** (Swedish interactive threshold algorithm)
 - SITA Standard™
 - SITA Fast™



Binary Search (BS)

- **REBS*** (rapid, efficient binary search)

- **MOBS** (modified binary search)

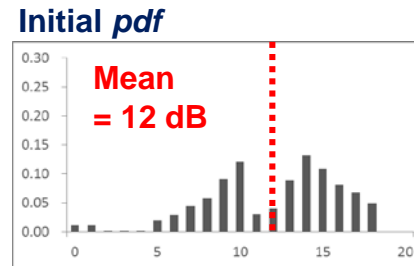
- **TOP** (tendency oriented perimetry)



MLE: ZEST Procedure (1/2)

- 제시하고자 하는 시표의 밝기를 결정할 때, 우도를 가장 높게 하는 **최대 우도 함수(MLE)**를 사용하여 **제시될 확률이 가장 높은** 밝기의 시표를 보여주는 방법

S1. Provide 1st stimulus as the mean of initial *pdf*



↓ Multiply

“YES”/“NO”
S2, S3, ...

S2. Multiply initial pdf with maximum-likelihood function of “NO”

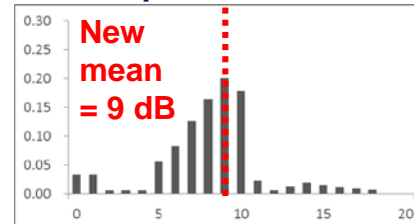
MLE functions

dB	1	2	3	4	5	6	7	8	9
99_1	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
99_3	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.75
99_5	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.83	0.67
99_7	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.875	0.75	0.625
95_1	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
95_3	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.75
95_5	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.83	0.67
95_7	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.875	0.75	0.625
90_1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
90_3	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.75

↓ Rescale

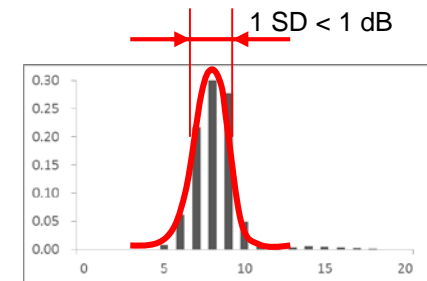
S3. Normalize the pdf (sum of probabilities in the *pdf* = 1)

Second pdf



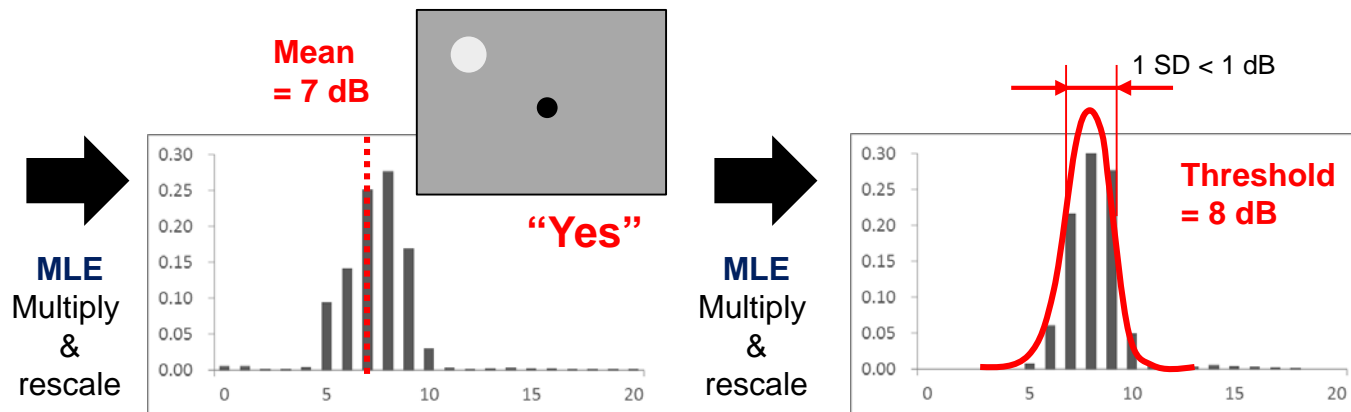
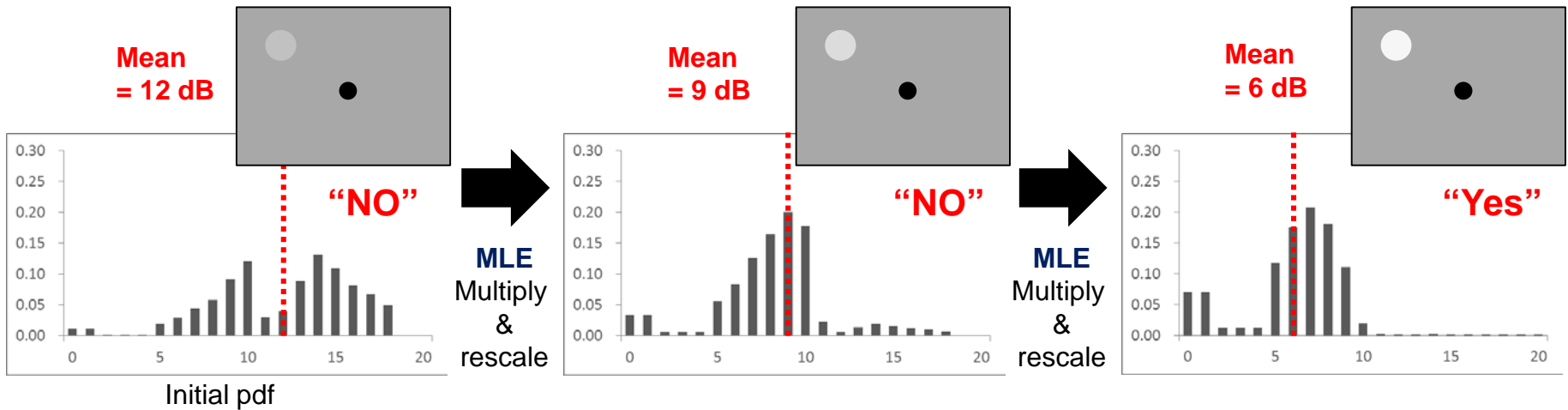
S4. Terminate by the **termination rule**

- 1) **SD(σ) of the pdf**
e.g., stop when SD < 1dB
- 2) **# of presentations**
e.g., stop after 3 presentations



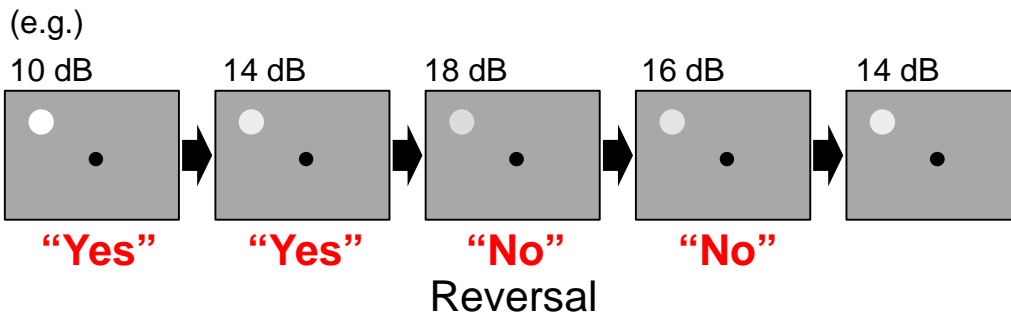
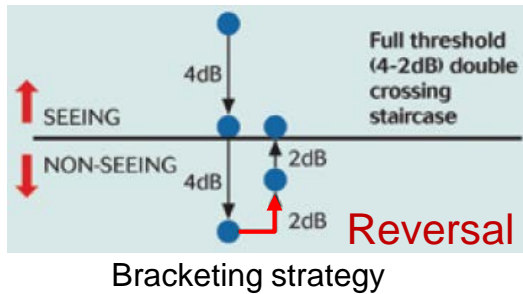
MLE: ZEST Procedure (2/2)

□ 한 개의 시표 위치에서 threshold 결정 과정 예시

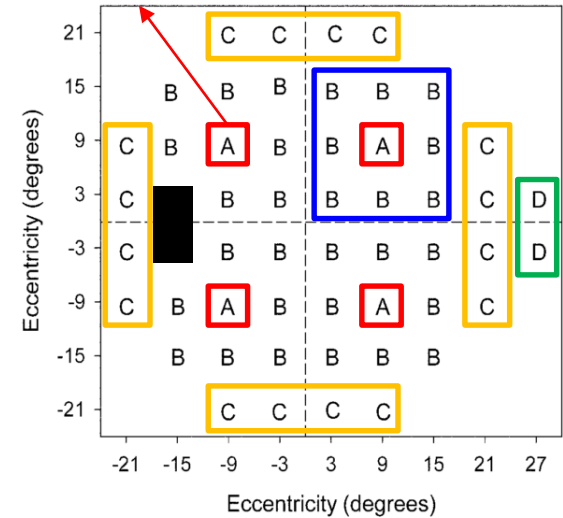


SC: Full Threshold Procedure (1/2)

- 시표의 밝기를 단계적으로 (4 dB ↓, 2 dB ↑) 변화시키며 검사하는 방법
 - ✓ Seed point에서 시작하여 주변 영역으로 확장시키며 검사(e.g., A 시표의 threshold 결정 후 B 시표 검사) A → B → C → D
 - ✓ Reversal 후 시표 밝기 변화 크기: 4 dB → 2 dB

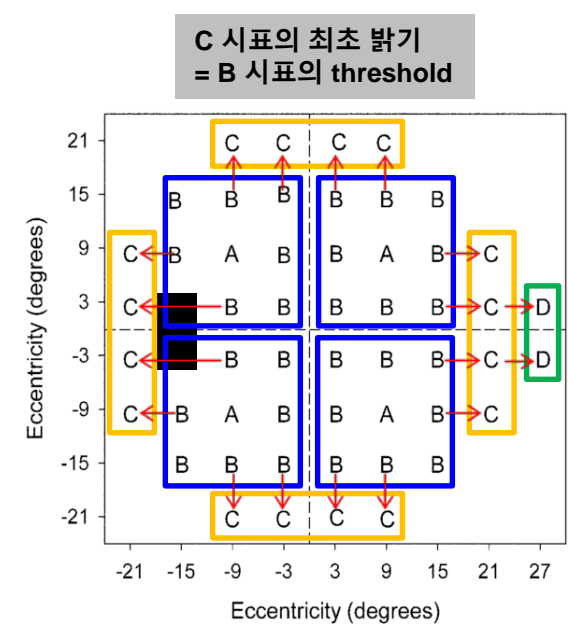
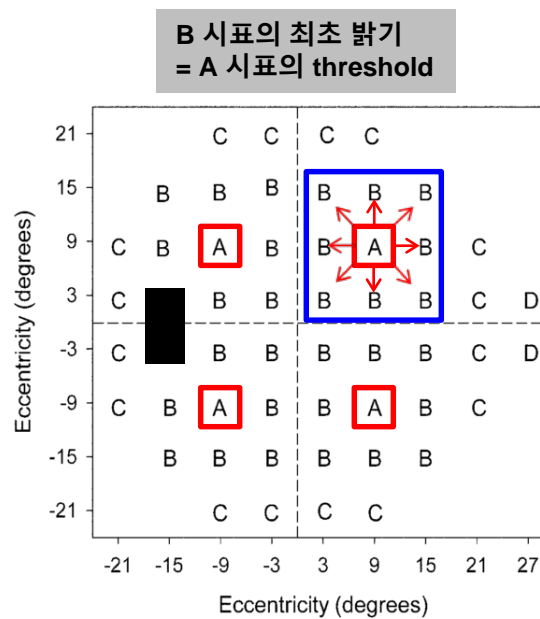
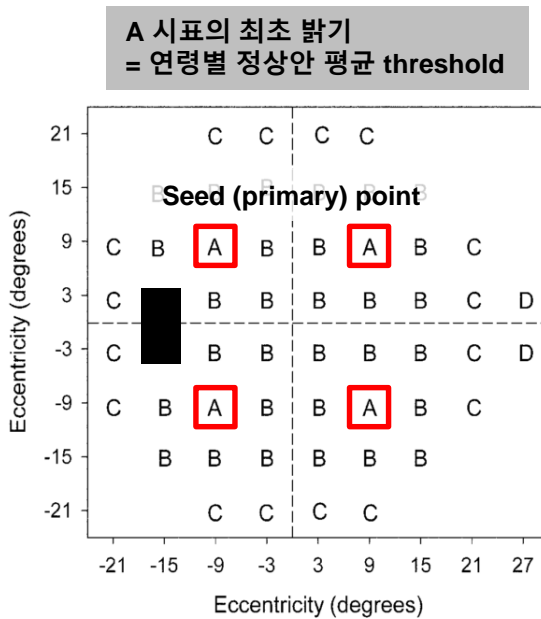


Seed (primary) point



SC: Full Threshold Procedure (2/2)

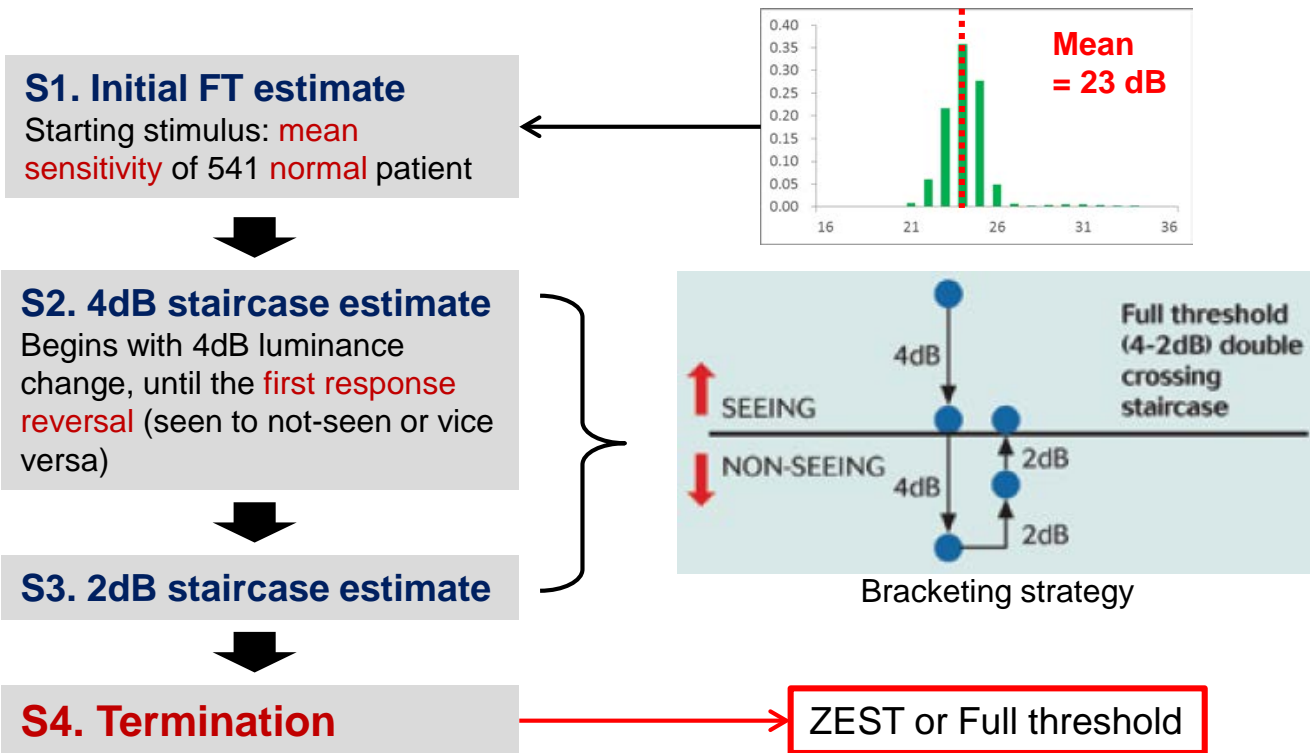
- 시표의 최초 밝기
 - ✓ A 시표(seed point): 연령별 정상안 평균 threshold
 - ✓ B, C, and D 시표: 검사를 통해 결정된 이전 영역 시표의 threshold
- Threshold 결정 조건: reversal이 2회 발생한 경우



Mixed: QUEST Procedure

□ Staircase와 MLE 방법을 동시에 사용한 방법

- ✓ Threshold 탐색 단계: SC 방법의 bracketing strategy 사용
- ✓ Threshold 결정 단계: MLE의 ZEST 방법과 SC의 Full threshold 방법의 결정 요건 중 먼저 충족시키는 방법을 사용



BS: MOBS Procedure

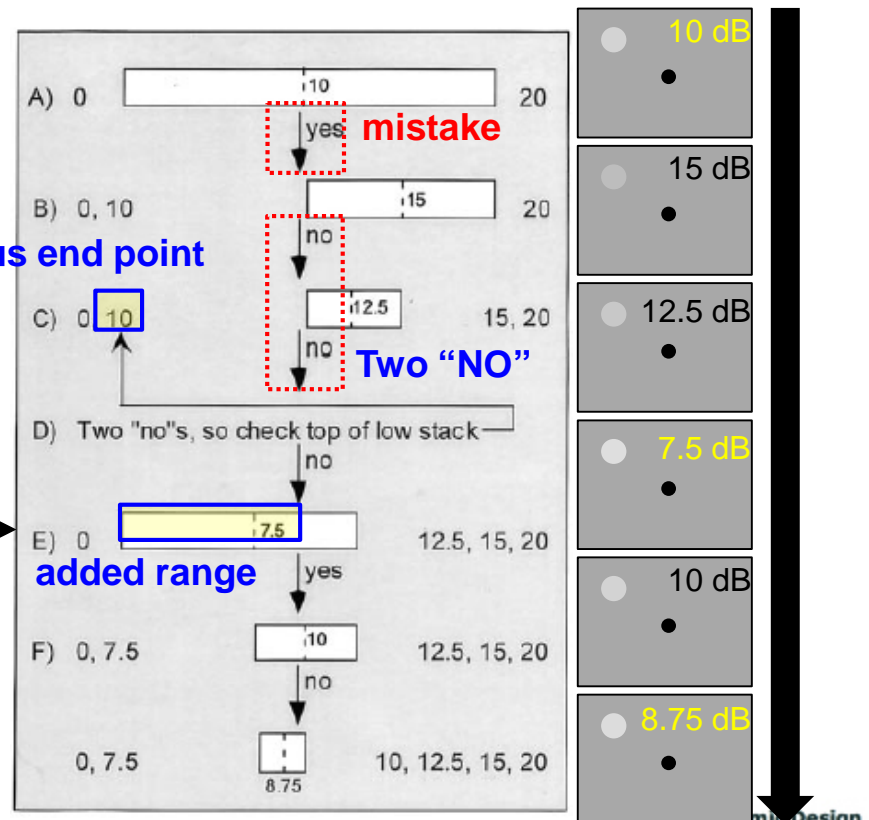
- BS: 전체 시표 밝기 범위에서 중간 밝기의 시표를 제시하고 피검사자의 반응에 따라 선택된 영역의 시표 밝기 범위를 줄여가며 threshold를 찾는 방법
- MOBS: 피검사자가 연속적으로 시표를 확인하거나 그렇지 못할 경우 시표 밝기 범위에 여유 범위를 추가하는 방법

S1. Provide a stimulus as the middle (10 dB) of initial range

If (“YES”, “YES”) or (“NO”, “NO”),
Restore the previous end point

S2. Termination rules

- 1) Minimum width ≤ 3 dB
- 2) Number of reversals = 3



Comparison of Performance

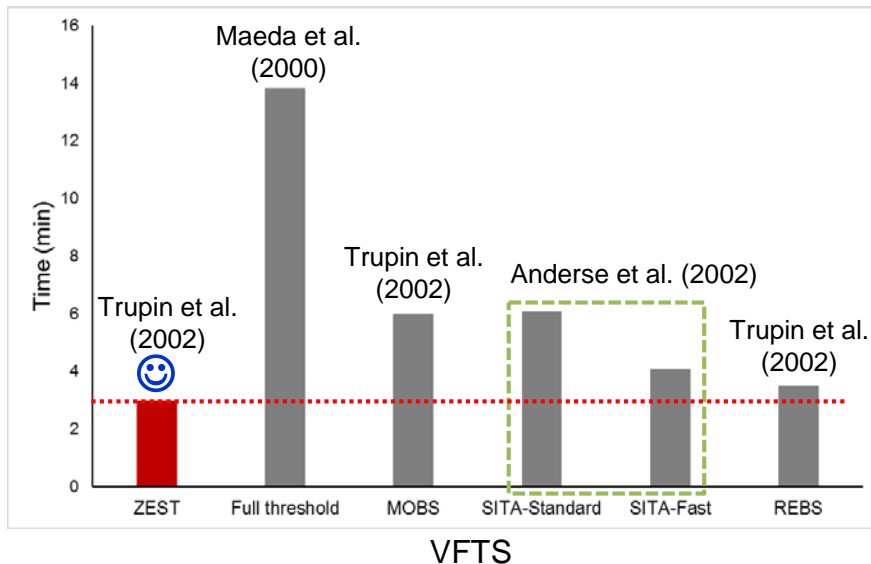
□ 시야검사 **소요시간**과 **정확성** 측면에서 기존 연구들에서 제시한 시야검사 결과의 값들의 scale을 일치시켜 비교함

✓ 시야검사 소요시간 ↓: ZEST

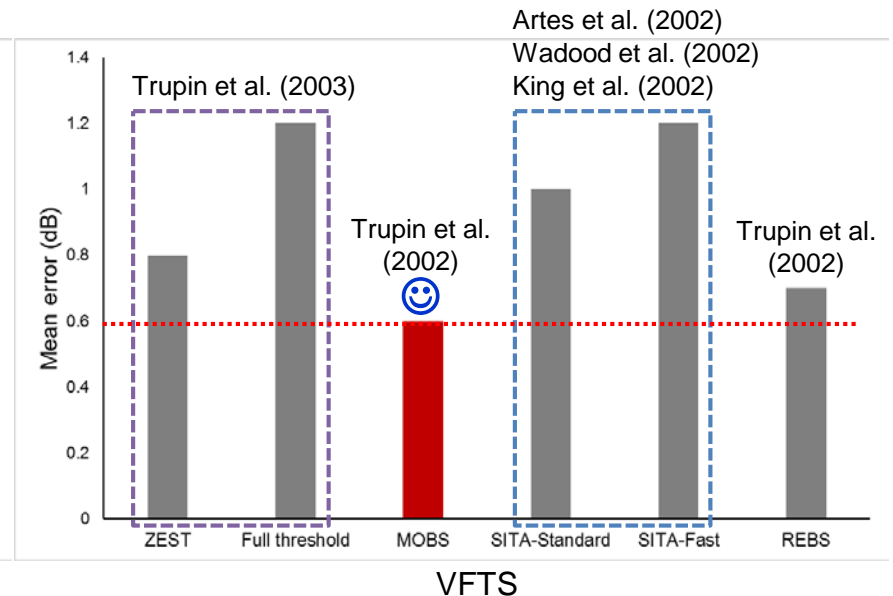
✓ 시야검사 error ↓: MOBS

⇒ 시야검사 S/W 개발 시 **ZEST**와 **MOBS**를 **benchmarking**하는 것이 제안됨

소요 시간



평균 error



Comparison of Characteristics

VFTS	ZEST (MLE)	Full Threshold (SC)	QUEST (SC & MLE)	MOBS (BS)																																																																																																														
Illustration	<p>dB</p> <table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td></tr> <tr><td>99.1</td><td>0.99</td><td>0.99</td><td>0.99</td><td>0.99</td><td>0.99</td><td>0.99</td><td>0.99</td><td>0.99</td><td>0.99</td></tr> <tr><td>99.3</td><td>0.99</td><td>0.99</td><td>0.99</td><td>0.99</td><td>0.99</td><td>0.99</td><td>0.99</td><td>0.99</td><td>0.75</td></tr> <tr><td>99.5</td><td>0.99</td><td>0.99</td><td>0.99</td><td>0.99</td><td>0.99</td><td>0.99</td><td>0.99</td><td>0.83</td><td>0.67</td></tr> <tr><td>99.7</td><td>0.99</td><td>0.99</td><td>0.99</td><td>0.99</td><td>0.99</td><td>0.99</td><td>0.875</td><td>0.75</td><td>0.625</td></tr> <tr><td>95.1</td><td>0.95</td><td>0.95</td><td>0.95</td><td>0.95</td><td>0.95</td><td>0.95</td><td>0.95</td><td>0.95</td><td>0.95</td></tr> <tr><td>95.3</td><td>0.95</td><td>0.95</td><td>0.95</td><td>0.95</td><td>0.95</td><td>0.95</td><td>0.95</td><td>0.95</td><td>0.75</td></tr> <tr><td>95.5</td><td>0.95</td><td>0.95</td><td>0.95</td><td>0.95</td><td>0.95</td><td>0.95</td><td>0.95</td><td>0.83</td><td>0.67</td></tr> <tr><td>95.7</td><td>0.95</td><td>0.95</td><td>0.95</td><td>0.95</td><td>0.95</td><td>0.95</td><td>0.875</td><td>0.75</td><td>0.625</td></tr> <tr><td>90.1</td><td>0.9</td><td>0.9</td><td>0.9</td><td>0.9</td><td>0.9</td><td>0.9</td><td>0.9</td><td>0.9</td><td>0.9</td></tr> <tr><td>90.3</td><td>0.9</td><td>0.9</td><td>0.9</td><td>0.9</td><td>0.9</td><td>0.9</td><td>0.9</td><td>0.9</td><td>0.75</td></tr> </table> <p>Multiply</p>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	99.1	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	99.3	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.75	99.5	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.83	0.67	99.7	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.875	0.75	0.625	95.1	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	95.3	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.75	95.5	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.83	0.67	95.7	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.875	0.75	0.625	90.1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	90.3	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.75	<p>Seed (primary) point</p>	<p>Full threshold (4-2dB double crossing staircase)</p>	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9																																																																																																									
99.1	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99																																																																																																									
99.3	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.75																																																																																																									
99.5	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.83	0.67																																																																																																									
99.7	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.875	0.75	0.625																																																																																																									
95.1	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95																																																																																																									
95.3	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.75																																																																																																									
95.5	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.83	0.67																																																																																																									
95.7	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.875	0.75	0.625																																																																																																									
90.1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9																																																																																																									
90.3	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.75																																																																																																									
Initial stimulus	Mean of normal and glaucoma pdf	Mean of normal pdf	Mean of normal pdf	Middle of the initial range																																																																																																														
Dependency of response	95%	100%	<table border="1"> <tr><td>Exploration</td><td>100%</td></tr> <tr><td>Termination</td><td>95%</td></tr> </table>	Exploration	100%	Termination	95%	< 100%																																																																																																										
Exploration	100%																																																																																																																	
Termination	95%																																																																																																																	
Target location	Random	Seed point → outside points	Seed point → outside points	Random																																																																																																														

VFTS: Summary

- 대부분의 연구는 **threshold determination**에 초점을 두고 있음
- 기존 시야검사 방법은 최초 시표 밝기 결정 시 **average threshold**만 사용됨
 - ✓ 효율적 알고리즘 개발을 위해서는 **initiation 단계**에서도 다양한 방법 고안 필요

시야 검사 진행 단계

Focus

Initiation

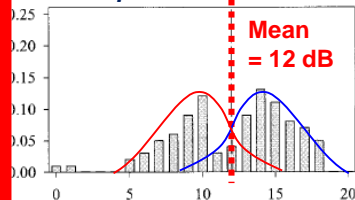
시작 시표 밝기 선정

1) Expected threshold

- Normal & glaucoma
- Normal

		Threshold (dB)				
		n	Age (y)	Minimum	Maximum	Mean
Normal + Glaucoma		506	67 ± 16	0	20	13.52 ± 2.03
Normal		352	67 ± 12	0	20	8.96 ± 4.15
Glaucoma						

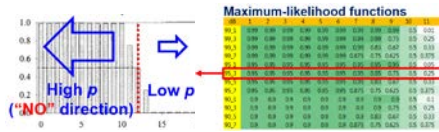
Initial pdf



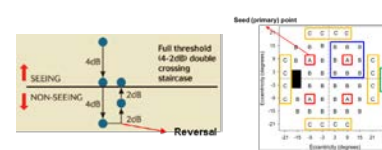
Threshold Determination

인지 가능한 최소 시표 밝기 탐색

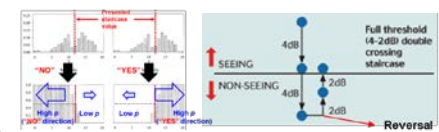
1) Maximum likelihood estimation (MLE)



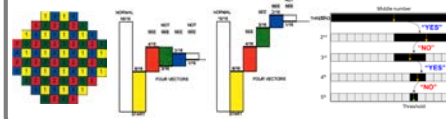
2) Staircase (SC)



3) Mixed search (SC & MLE)



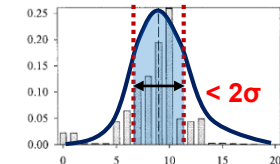
4) Binary search (BS)



Termination

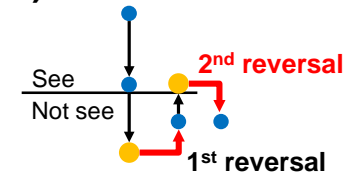
최종 시표 밝기 결정

1) SD(σ) of the pdf



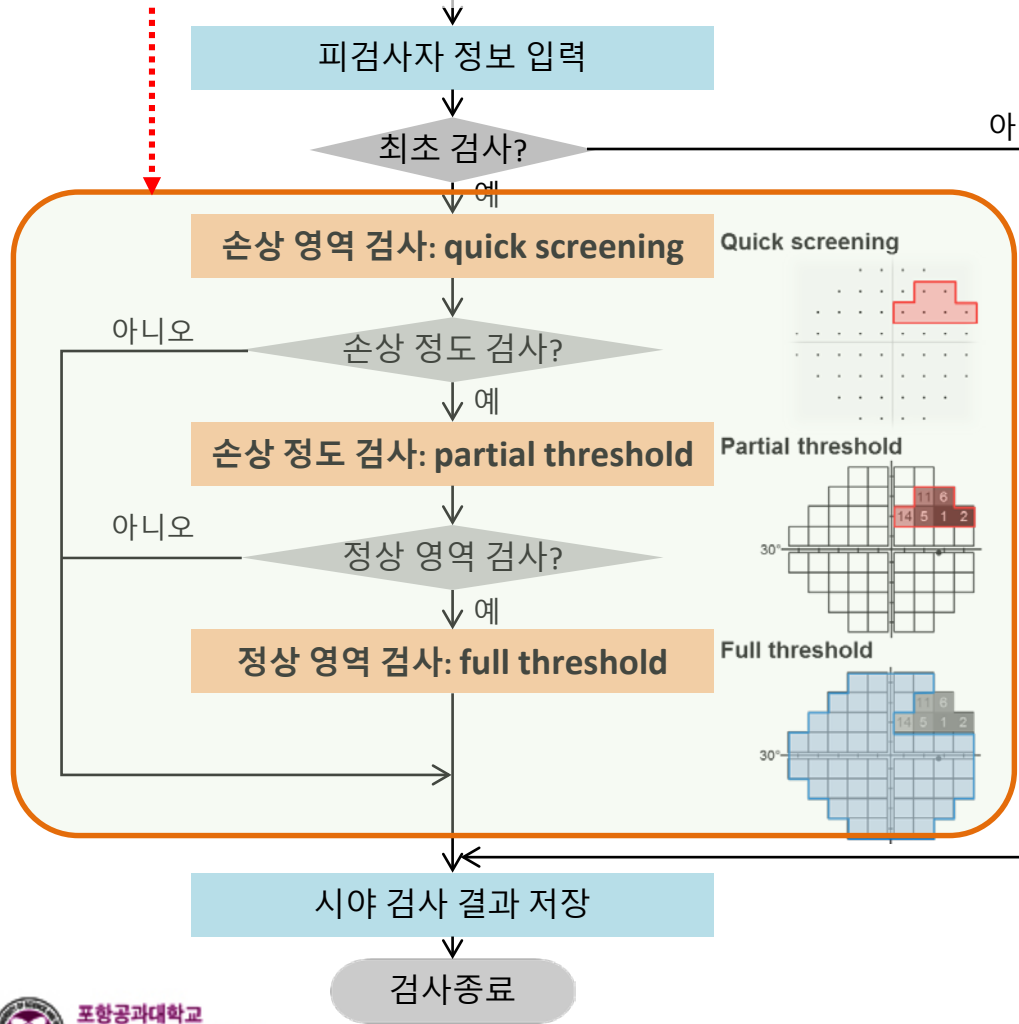
2) # presentations

3) # reversal

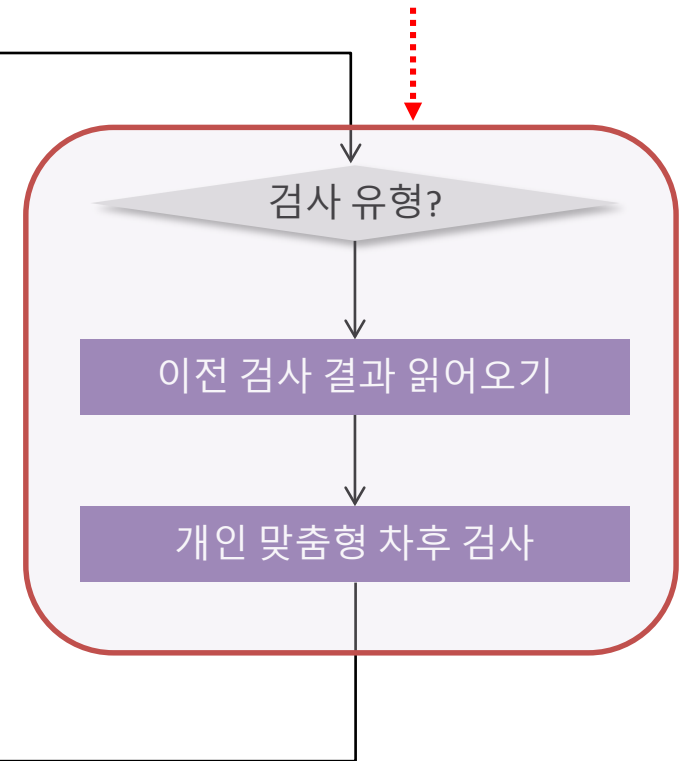


개인 맞춤형 VFTS: Overview

1. 최초 검사: 세분화된 검사 방법 활용



2. 차후 검사: 시야 검사 이력 활용

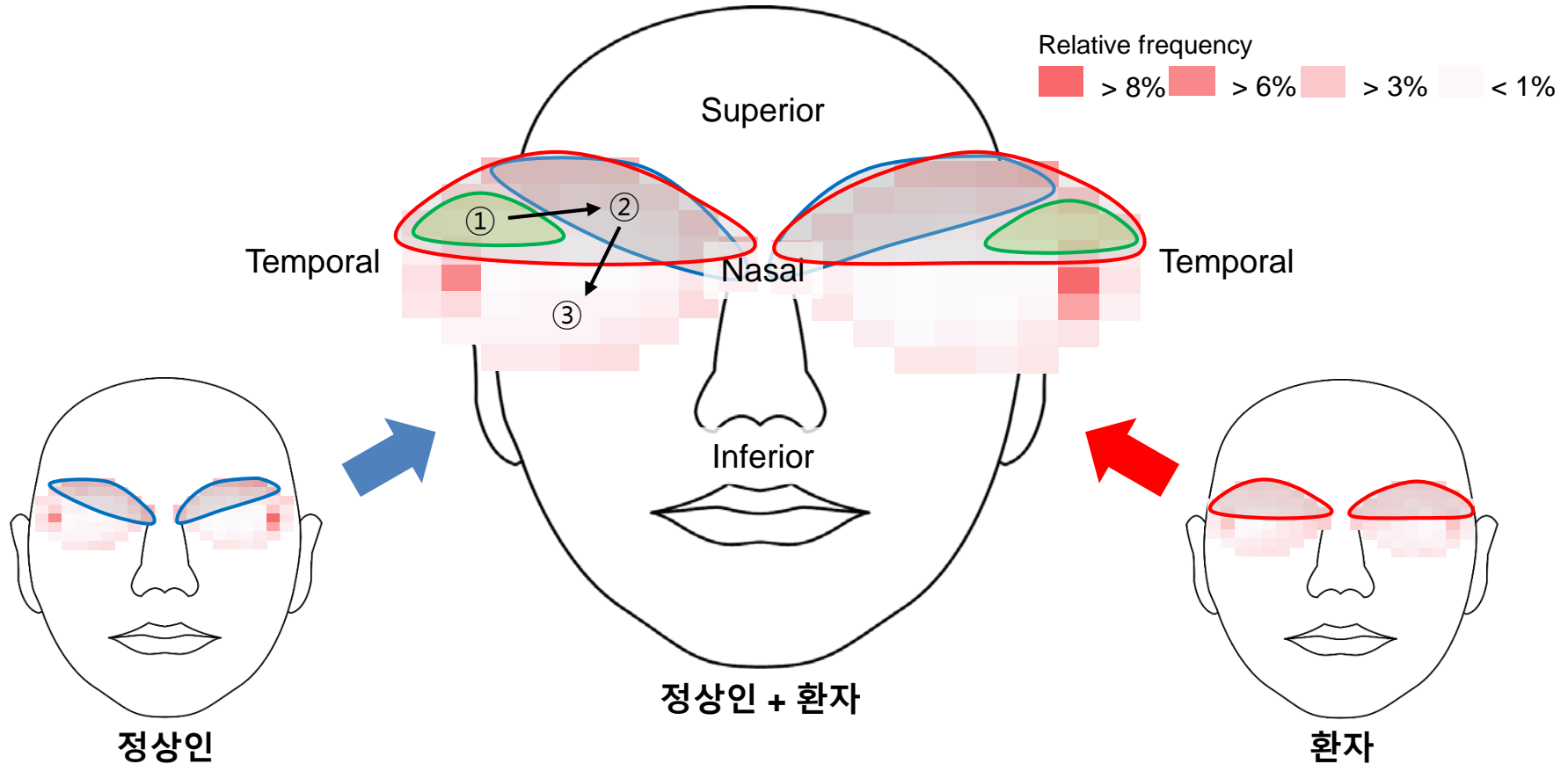


시표 확인 빈도 분석 방법

- 분석 목적: 정상안과 녹내장안에서 **시신경 손상 빈도가 높은** 시표 위치 파악
 - 분석 방법: 시표 위치 별 threshold 값에 따른 피검사자의 **반응 빈도** 분석
 - ✓ Database: 강동경희대학교 병원 시야 검사 결과
 - ✓ Threshold: 0 ~ 25 dB (Humphrey Field Analyzer가 제공하는 intensity의 절반 범위)
 - ✓ Age: 10s ~ 70s
 - ✓ 분류 기준: 최종 진단 결과
 - 정상안($n_{OS} = 47, n_{OD} = 50$): normal, ocular hypertension(OHT), glaucoma suspect(GS)
 - 녹내장안($n_{OS} = 48, n_{OD} = 43$): normal tension glaucoma(NTG), primary open angle glaucoma(POAG)
- ⇒ 0 ~ 25 dB 밝기의 시표에 **반응한 빈도가 많은** 시야 영역의 경우 **시야 손상이 주로 일어나는** 부위라 할 수 있음

시표 확인 빈도 분석 결과

□ 정상인과 녹내장 환자의 시표 확인 빈도 위치 차이 (threshold range: 0 ~ 25 dB)

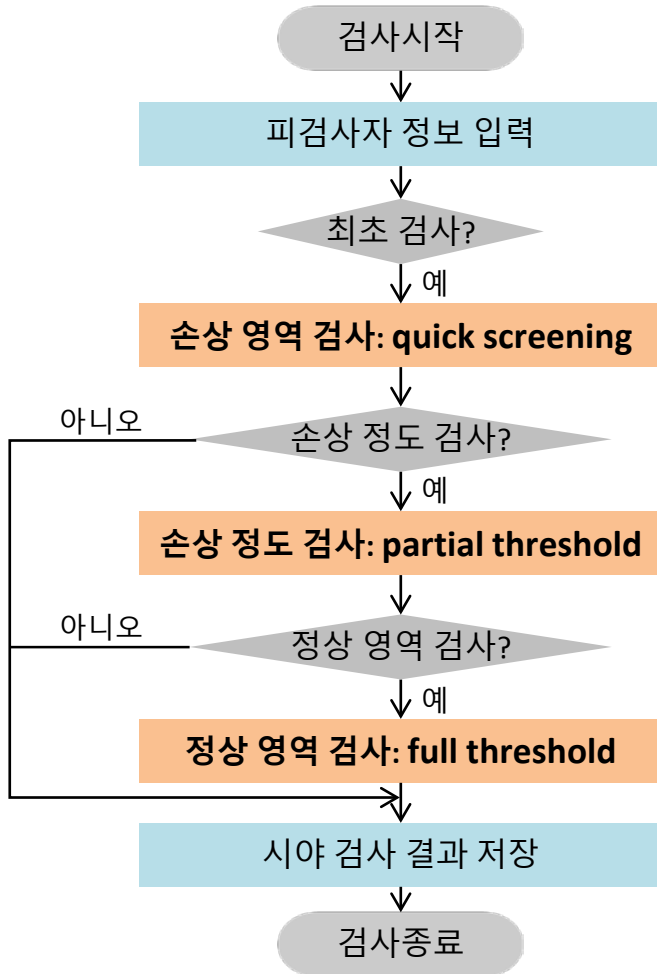


⇒ 신속한 녹내장 판별을 위한 시표 제시 순서:

superior & temporal (①) → superior & nasal (②) → inferior (③)

개인 맞춤형 VFTS: 최초 검사

□ 시야 검사 목적에 따른 검사 방법 세분화로 검사 효율성 향상



● Quick screening



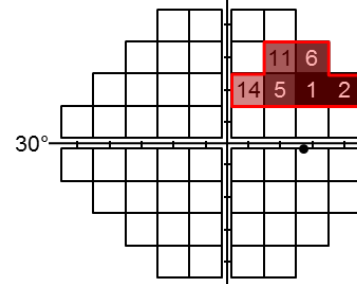
Defective area

(피검사자가 정상인 평균 밝기 확인: X)

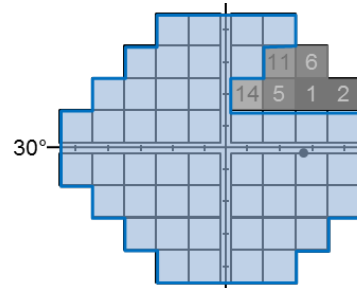
Non-defective area

(피검사자가 정상인 평균 밝기 확인: O)

● Partial threshold



● Full threshold

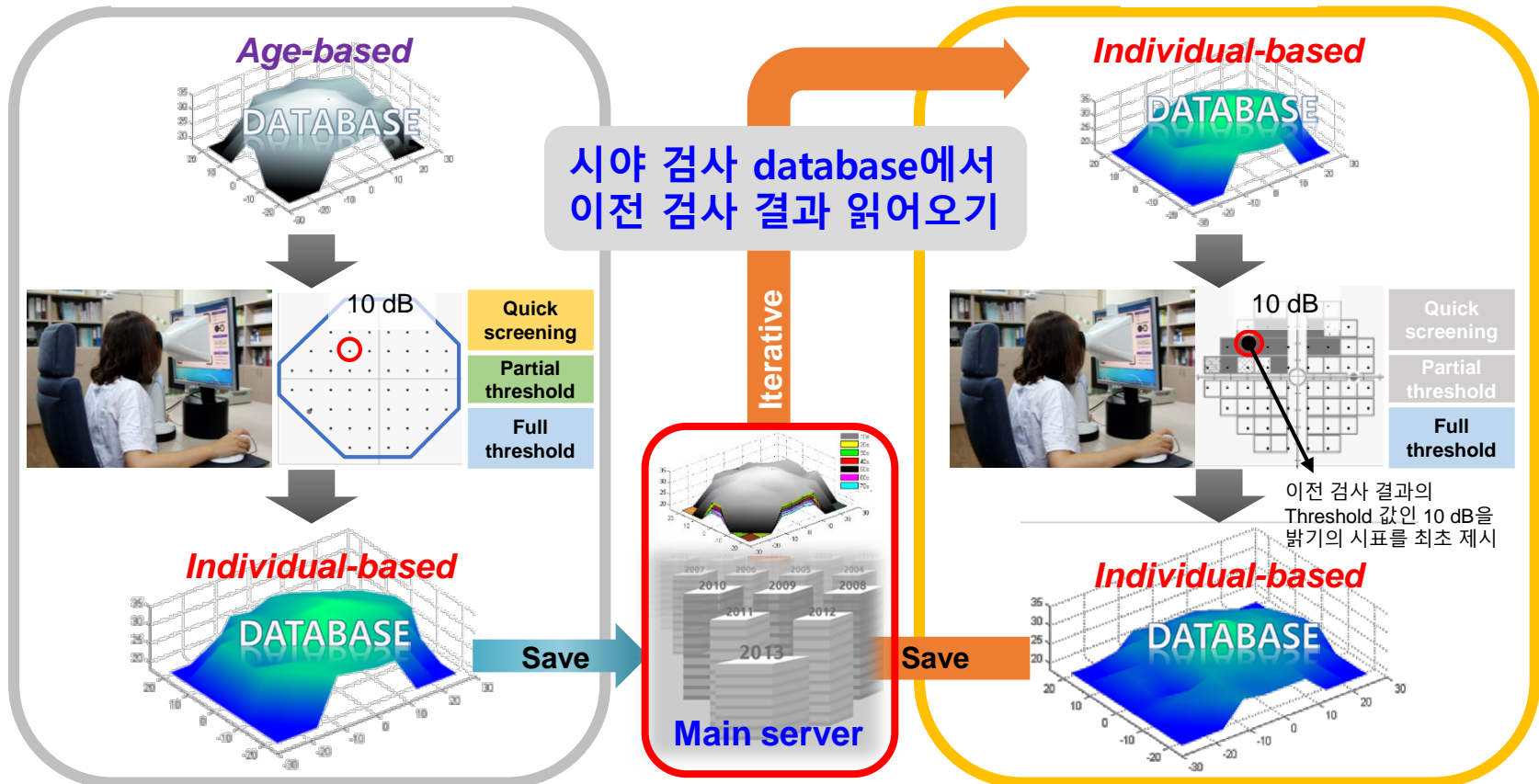


개인 맞춤형 VFTS: 차후 검사

- 최초 검사 결과를 차후 검사의 시작 시표 밝기 결정에 활용
 ⇒ 피검사자에 최적화 되도록 시표를 제시하는 방법

최초 검사(기존 검사)

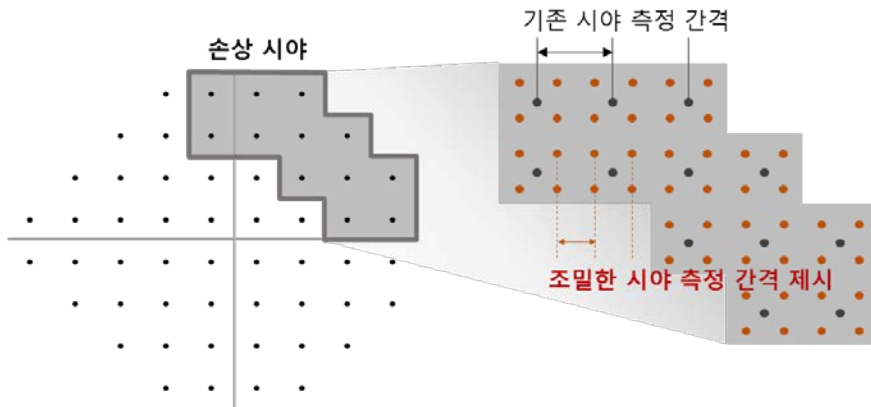
차후 검사



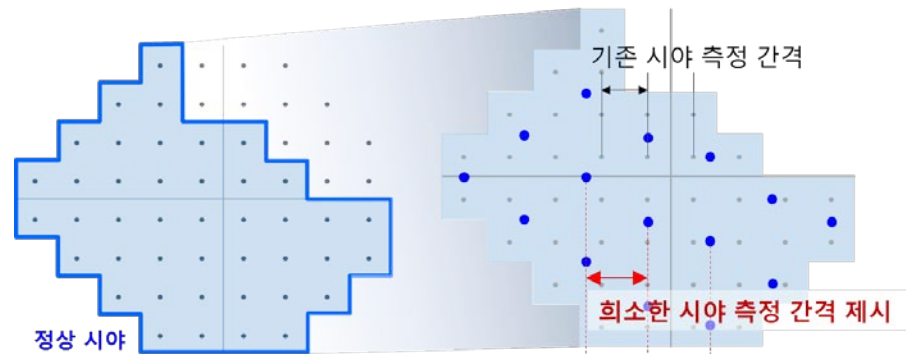
개인 맞춤형 VFTS: 시야 측정 간격 조정

- 시야 손상이 일어난 부위는 보다 정밀하게 측정할 수 있는 전략 구현
 - ✓ 시야 손상이 발생한 영역: 시야 측정 간격 $6^{\circ} \rightarrow 3^{\circ}$
 - ✓ 시야가 정상인 부위: 시야 측정 간격 $6^{\circ} \rightarrow 9^{\circ}$

손상된 시야 부위 측정 간격: 조밀

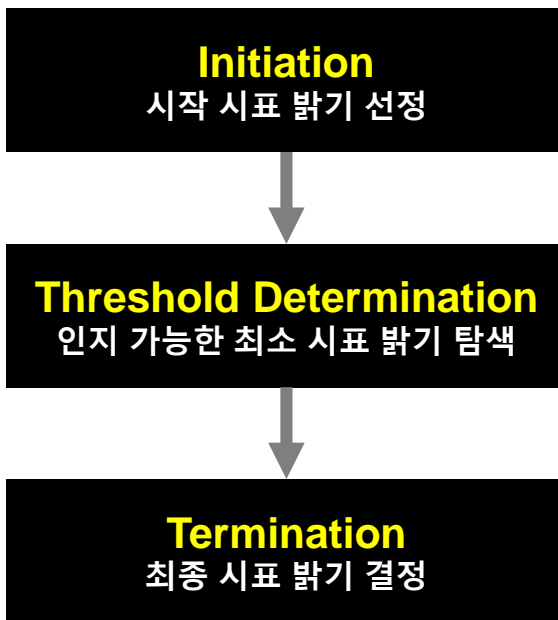


정상 시야 부위 측정 간격: 희소

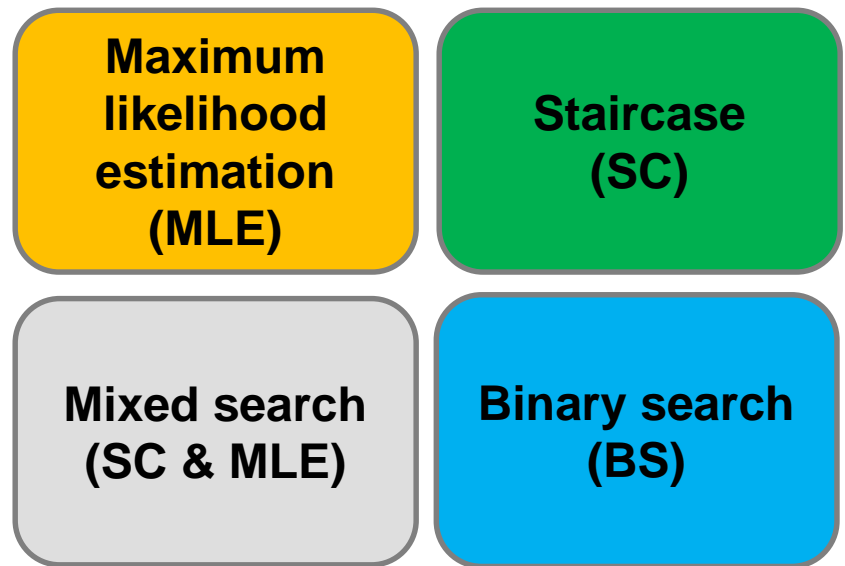


Discussion(1/3)

- 기존 시야 검사 방법들은 피검사자의 **threshold**를 **측정**을 위해 최초 시표 제시, 시표 밝기 탐색, 시표 제시 종결의 **세 가지 단계**로 구성되었음을 파악함
- 기존 시야 검사 방법을 **threshold determination 단계**의 특성에 따라 **네 가지** 주요 방법으로 분류됨을 파악함



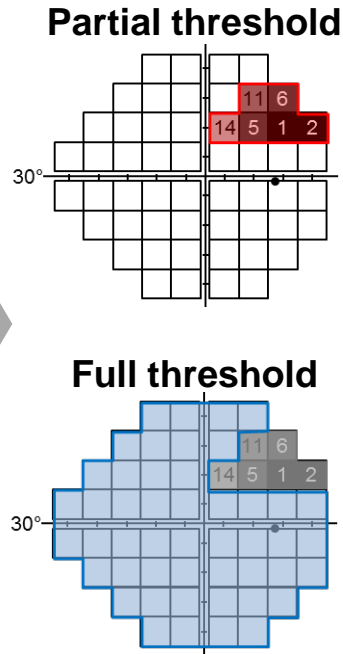
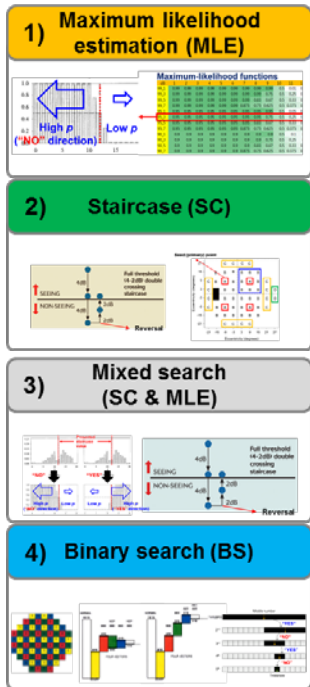
VFTS phase



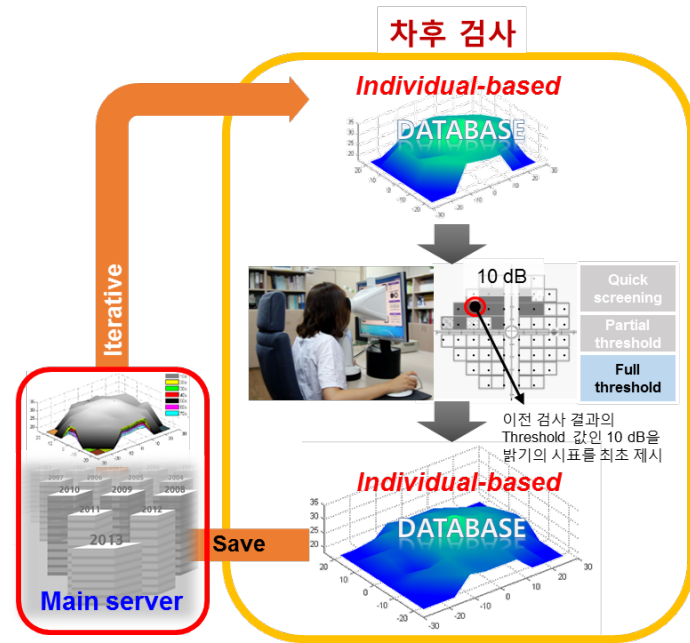
VFTS category

Discussion(2/3)

- 기존에는 VFTS 하나의 시표 위치에서 시표 제시 횟수, 밝기 조절 간격 중심의 연구가 진행되었음
- 본 연구에서는 시표 제시 영역 조절과 이전 검사 이력 활용 방법을 제안하여 시야 검사의 효율성과 정확성을 향상시킬 수 있는 방안을 제안함



시표 제시 영역 조절

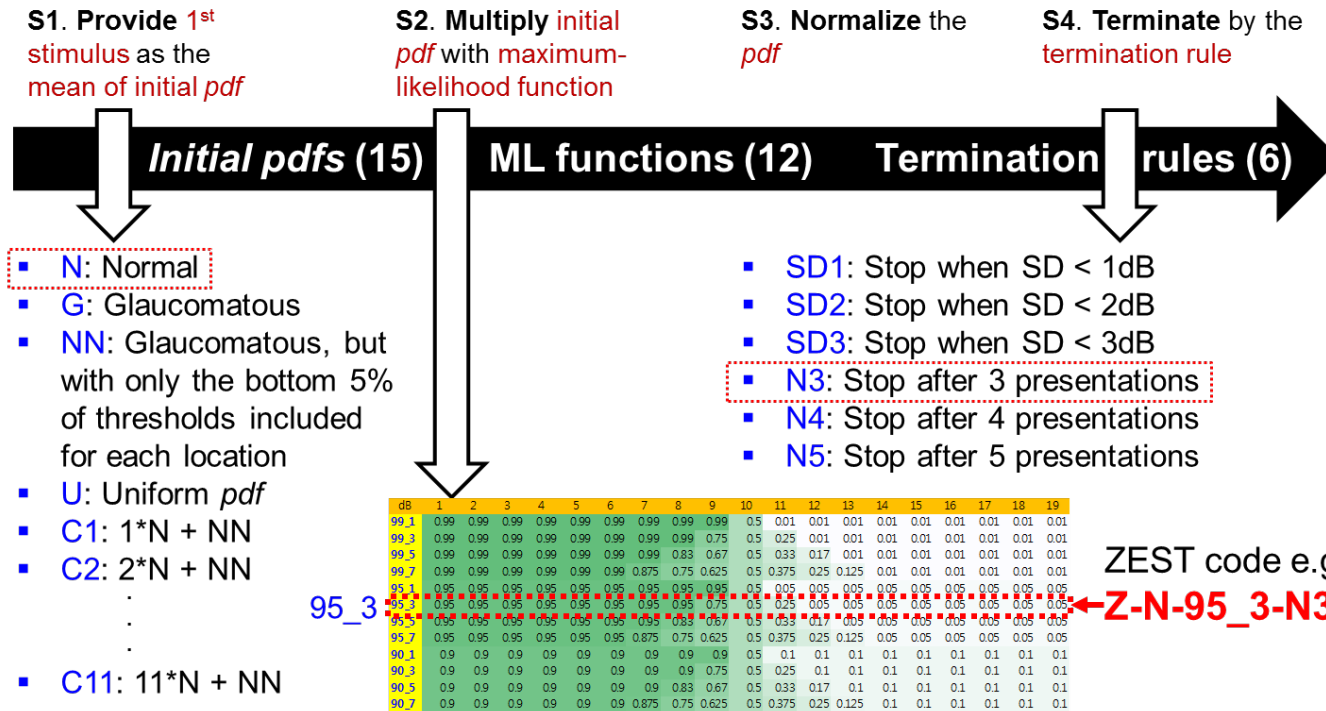


이전 검사 이력 활용

추후 연구

□ 시뮬레이션 또는 임상 시험을 통한 **성능 평가** 연구 필요

e.g., Turpin et al. (2002)은 ZEST 방법의 **성능 평가 시뮬레이션**을 활용하여 1,080개의 **다양한 검사 조건과 피검사자의 반응**을 고려하여 시야 검사에 최적화할 수 있는 **parameter**를 도출함



Q & A



THANK YOU FOR YOUR ATTENTION