

การวัดระดับการมองเห็น (Visual acuity measurement)



บุญยัญ พิสิฐพัต, พ.บ.

พรชัย สิมะโรจน์, พ.บ.

“Visual acuity” (VA) หมายถึง ความคมชัดของสายตา¹ โดยนิยามถึงความสามารถในการเห็นวัตถุของตาคนเรา หรืออีกนัยหนึ่งคือขนาดของวัตถุที่เล็กที่สุดที่ตาเราสามารถมองเห็นได้ ใช้หน่วยเป็นหน่วยในการวัดมุม โดยมีหน่วยเป็น minute of arc (MOA) หรือ arcminute (arcmin) หรือ minute arc

หน่วยในการวัดมุม (รูปที่ 1)

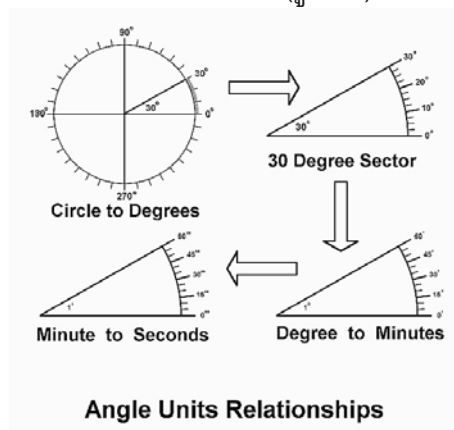
1 วงกลม (cycle) = 360 องศา(degree)

1 องศา (degree) = 60 minutes of arc

1 minute of arc = 60 seconds of arc

ชนิดของความคมชัดของสายตา มี 4 รูปแบบ¹ คือ

1. Minimum visible acuity - detection of a feature คือความสามารถในการเห็นวัตถุที่เล็กที่สุดเท่าที่เห็นได้ (รูปที่ 2)

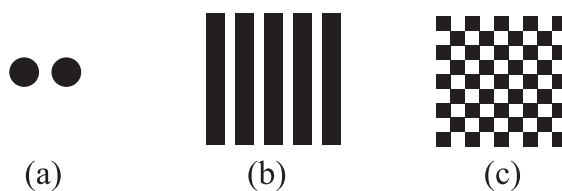


รูปที่ 1 หน่วยในการวัดมุม

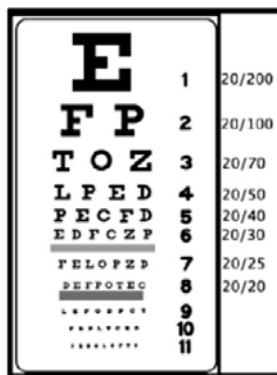
(available from: URL: http://www.oc.nps.edu/oc2902w/c_mtutor/appendx/angunit.htm)



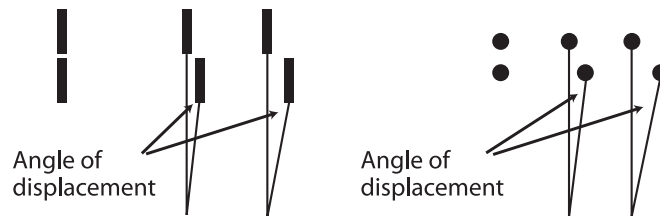
รูปที่ 2 Minimum visible acuity - detection of a feature
(available from:URL: <http://webvision.med.utah.edu/book/part-viii-gabac-receptors/visual-acuity>)



รูปที่ 3 Minimum resolvable acuity - resolution of two features
(available from:URL: <http://webvision.med.utah.edu/book/part-viii-gabac-receptors/visual-acuity>)



รูปที่ 4 Minimum recognizable acuity - identification of a feature
(available from:URL: <https://www.eboptometry.com/content/optometry/ebp-resource-step-4-apply/practitioners-students-teachers/development-and-adoption-visual-acuity-charts-based-%E2%80%99Clogmar%E2%80%99D-principles>)



รูปที่ 5 Minimum discriminable acuity – discrimination of a change in a feature

(available from: URL: <http://webvision.med.utah.edu/book/part-viii-gabac-receptors/visual-acuity>)

ตารางที่ 1 ตารางแสดงค่าที่น้อยที่สุด (limit) ของแต่ละรูปแบบการมองเห็น

Type of acuity	Measured	Acuity (degrees)
Minimum visible	Detection of a feature	0.00014
Minimum resolvable	Resolution of two features	0.017
Minimum recognizable	Identification of a feature	0.017
Minimum discriminable	Discrimination of a change in a feature	0.00024

(From : Levi DM. Visual acuity. In : Levin LA, Nilsson SF, Hovee JV, Wu S, Kaufman PL, Albert A. Adler's Physiology of the Eye 11th ed. Philadelphia: Elsevier Health Sciences. 2011: 627-47.)

หมายเหตุ ถ้าเรานำค่าในตาราง คูณด้วย 60 จะได้หน่วยเป็น minutes of arc (1 degree = 60 minutes of arc) เช่น minimum recognizable acuity 0.017 degrees $\approx$ 1 minute of arc)

2. Minimum resolvable acuity - resolution of two features คือความสามารถในการที่จะแยกได้ว่าวัตถุ 2 วัตถุอยู่ห่างกันน้อยที่สุด (รูปที่ 3)

3. Minimum recognizable acuity - identification of a feature คือความสามารถในการเห็นวัตถุและต้องบอกได้ว่าวัตถุที่เห็นเป็นอะไร ซึ่งเป็นรูปแบบที่ถือเป็นมาตรฐานและใช้กันแพร่หลาย (รูปที่ 4)

4. Minimum discriminable acuity - discrimination of a change in a feature (e.g. a change in size, position or orientation) คือความสามารถในการบอกถึงความเหมือนของวัตถุ 2 วัตถุที่เหลือน้อยที่สุด (รูปที่ 5)

Minimum recognizable acuity

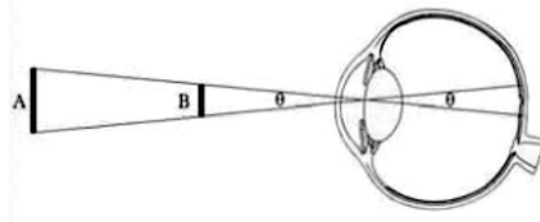
ตามที่ได้กล่าวข้างต้นว่าเป็นความสามารถในการเห็น

วัตถุและต้องบอกได้ว่าวัตถุที่เห็นเป็นอะไร เป็นการวัดโดยใช้แผ่นวัดสายตา เช่น Snellen chart, Bailey-Lovie chart, ETDRS chart โดยในแผ่นวัดจะมีตัวเลขหรือตัวอักษรหรือสัญลักษณ์ที่มีขนาดจากใหญ่อยู่ที่บรรทัดบนสุดและลดขนาดเล็กลงไปในบรรทัดต่อไป เรียกตัวเลขหรือตัวอักษรหรือสัญลักษณ์ในแผ่นวัดเหล่านี้ว่า optotypes (standardized symbols)

Visual angle

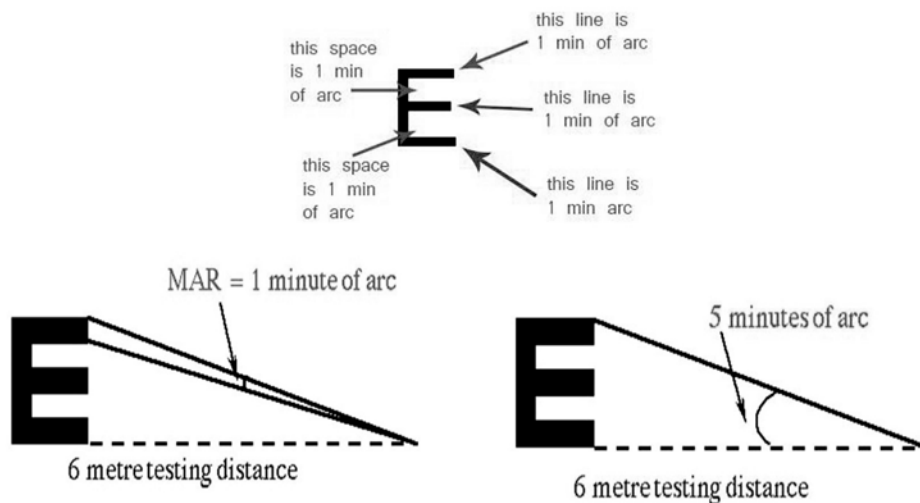
มุมที่วัตถุทำกับตาเรา ซึ่งจะมีขนาดคงที่ไม่ว่าที่ระยะทางใด (รูปที่ 6)

ดังที่ได้กล่าวไปข้างต้นว่า visual acuity คือ ความสามารถในการเห็นวัตถุของตาคนเรา (spatial resolving capacity) หรืออีกนัยหนึ่งคือขนาดของวัตถุที่เล็กที่สุดที่ตา



รูปที่ 6 Visual angle - วัตถุ A และ B มี visual angle เท่ากัน แต่มีขนาดต่างกันเพราะอยู่ที่ระยะห่างจากตาไม่เท่ากัน

(available from: URL: http://psyc.ucalgary.ca/PAGE/VALab/Vanessa/Eye__visual__angle1/information2.html)



รูปที่ 7 E มี visual angle 5 minutes of arc ดังนั้นมุมที่เล็กที่สุดที่วัตถุทำกับตาเรา (minimal angle resolution = MAR) จะมีค่าเท่ากับ 1 minute of arc คือ 1/5 ของวัตถุนั้นๆ

(available from: URL: <http://webvision.med.utah.edu/book/part-viii-gabac-receptors/visual-acuity>)

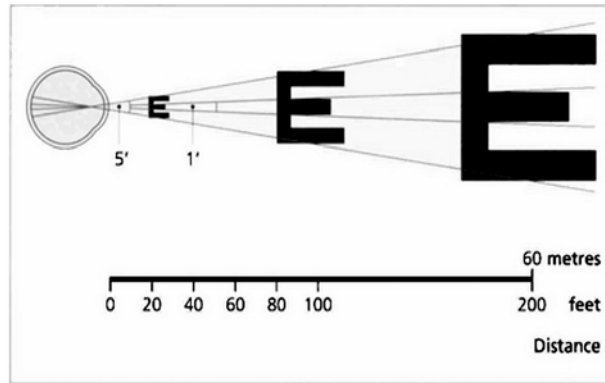
เราสามารถมองเห็นได้ ถ้าวัตถุยิ่งเล็ก แล้วเราสามารถเห็นได้ แสดงว่าความสามารถในการมองเห็นยิ่งดี จะเห็นได้ว่าเป็นส่วนกลับของกันและกัน กล่าวคือ

$$VA = \frac{1}{\theta(^{\circ})}$$

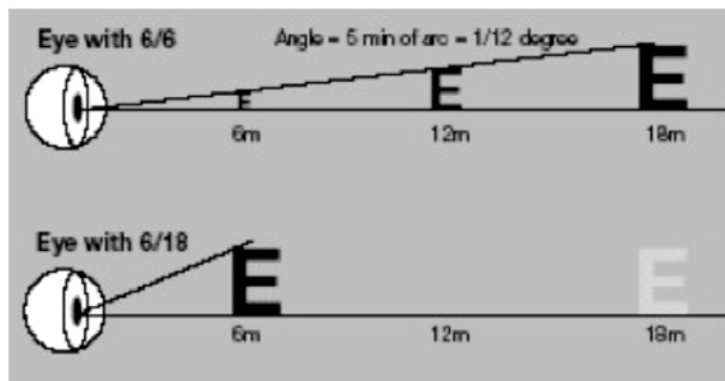
โดย θ คือขนาดของมุมที่วัตถุทำกับตาเรา มักใช้หน่วยเป็น minutes of arc

โดยค่าน้อยที่สุด ของ minimum recognizable acuity มีค่า $0.017 \text{ degrees} \approx 1 \text{ minute of arc}$ การที่เราเห็น

แต่ละส่วนและมีขนาดเป็น 1 minute of arc ดังนั้นการประกอบเห็นเป็นตัวอักษรเช่นตัว E เราจำเป็นต้องเห็นแต่ละส่วนทั้งหมด 5 ส่วน (ยกตัวอย่าง ถ้าเราเห็นแค่ 3 ส่วน เราจะได้แค่ตัว C จำเป็นต้องมีอีก 2 ส่วน เป็นช่องว่างและช่องเส้นดำเพื่อทำให้เห็นตัวอักษรเป็น E) กล่าวคือ กรณีที่ตัว E มี visual angle 5 minutes of arc ดังนั้นมุมที่เล็กที่สุดที่วัตถุทำกับตาเรา (minimal angle resolution = MAR) จะมีค่าเท่ากับ 1 minute of arc คือ 1/5 ของวัตถุนั้นๆ (รูปที่ 7)



รูปที่ 8 ระยะทางมากขึ้น ตัวจะใหญ่ขึ้น แต่มุมที่วัตถุทำกับตาเราจะคงที่เสมอไม่ว่าที่ระยะใด
(available from:URL: <http://clinicalgate.com/ocular-examination/>)



รูปที่ 9 รูปบน : คนที่มีสายตา 6/6 จะสามารถเห็นตัวอักษร E ขนาดต่างๆ ที่ระยะต่างๆ กัน เห็นได้ว่าที่ระยะ 18 เมตร มีขนาดใหญ่กว่าที่ระยะ 6 เมตร แต่มุมที่ทำกับตามีขนาด 5 minutes of arc หรือ MAR = 1 minute of arc คงที่ (ค่ามาตรฐานของการมองเห็น)

รูปล่าง : คนที่มีสายตา 6/18 หมายถึง ผู้ถูกทดสอบยืนที่ระยะ 6 เมตร แต่เห็นตัวอักษรที่มีขนาด 5 minutes of arc ที่ระยะ 18 เมตร

(available from:URL:<http://www.ssc.education.ed.ac.uk/courses/vi&multi/vdec10iii.html>)

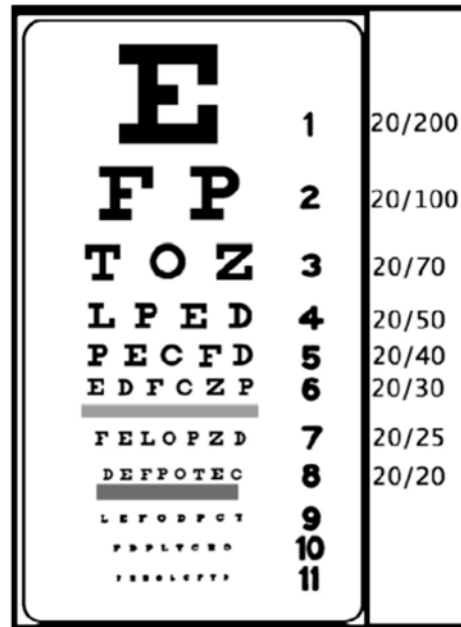
ในแผ่นวัดสายตา มาตรฐานคือ optotypes ทุกตัว จะมีขนาด 5 minutes of arc ที่ระยะต่างๆ กัน คือมี MAR = 1 minute of arc ถ้าระยะทางมากขึ้น ตัวจะใหญ่ขึ้น แต่มุมที่วัตถุทำกับตาเราจะคงที่เสมอไม่ว่าที่ระยะใด (รูปที่ 8)

ค่าสายตาที่เราใช้กันแพร่หลายที่สุด คือ Snellen fraction เช่น 6/6 หรือ 20/20 โดยมีที่มาจาก

$$VA_{Snellen} = \frac{d'}{d}$$

d' คือระยะที่ผู้ถูกทดสอบยืนอยู่

d คือระยะที่ตัวอักษรนั้นมีขนาด 5 minutes of arc หรือ MAR = 1 minute of arc (ดูภาพประกอบรูปที่ 9)



รูปที่ 10 Snellen chart

(available from: URL: <https://www.eboptometry.com/content/optometry/ebp-resource-step-4-apply/practitioners-students-teachers/development-and-adoption-visual-acuity-charts-based-%E2%80%9Clogmar%E2%80%9Dprinciples>)

Snellen chart (รูปที่ 10)

คิดค้นโดย Dr.Herman Snellen ถือเป็นแผ่นวัดสายตาที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด โดยมีหลักการคือ ทุกตัวอักษรมีขนาด 5 minutes of arc ที่ระยะต่างๆกัน คือ มี MAR = 1 minute of arc ซึ่งถ้าเรานำค่าของ Snellen fraction กลับเศษส่วนแล้วนำมาหารกัน จะได้เท่ากับค่า visual angle (มีค่ากับ MAR ของตัวอักษรนั้นๆ)

$$\text{เช่น } \frac{20}{200} \rightarrow \frac{200}{20} = 10$$

คือ ตัว E ที่อยู่แถวบนสุดของ Snellen chart มี visual angle 10 minutes of arc ที่ระยะ 20 ฟุต หรือมีขนาด 5 minutes of arc หรือ MAR = 1 minute of arc ที่ระยะ 200 ฟุต

ค่า visual angle ในแต่ละแถวของ Snellen chart เท่ากับ 1.0, 1.25, 1.5, 2, 2.5, 3.5, 5 และ 10 ซึ่งจาก 20/20 ไปเป็น 20/25 ค่า visual angle เพิ่มขึ้นร้อยละ 25 แต่จาก 20/100 ไปเป็น 20/200 ค่า visual angle เพิ่มขึ้น

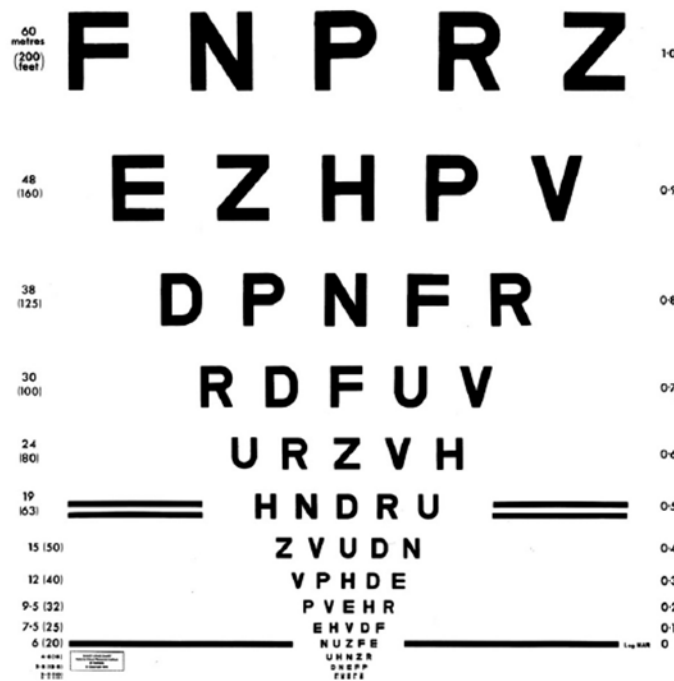
ร้อยละ 100 เห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นที่เป็นอัตราส่วนที่ไม่คงที่ นอกจากนี้ความแตกต่างในแต่ละแถว ทั้งตัวอักษรที่ใช้มีความยากง่ายแตกต่างกัน(ตัว E ยากกว่าตัว L) ช่องว่างระหว่างตัวอักษรไม่เท่ากัน จำนวนตัวอักษรในแต่ละแถวไม่เท่ากัน(อ่านตัว E ได้ 1 ตัว ถือว่าได้ค่าสายตาที่แถวนั้นคือ 20/200 แต่ในบรรทัดล่างๆ ผู้ถูกทดสอบต้องอ่านถูกมากกว่า 1 ตัว จึงจะได้ค่าสายตาในแถวนั้นๆ) เห็นได้ว่า Snellen chart ยังมีข้อบกพร่องหลายจุด ที่ส่งผลทำให้การวัด visual acuity ไม่น่าเชื่อถือ จึงได้มีการคิดค้นแผ่นวัดสายตาแบบอื่นๆ ดังจะได้อธิบายต่อไป

Bailey-Lovie chart (รูปที่ 11)

ในปี ค.ศ. 1976 ได้มีการคิดค้นแผ่นวัดสายตา โดย Ian L Bailey และ Jan E Lovie-Kitchin โดยมีหลักการที่สำคัญคือ standardization และ geometric progression^{2,3}

1. Geometric progression

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าใน Snellen chart การเพิ่มขึ้นของ visual angle เป็นอัตราส่วนที่ไม่คงที่ จึงได้มีการ



รูปที่ 11 Bailey-Lovie chart

(From : Bailey IL, Lovie-Kitchin JE. Visual acuity testing. From the laboratory to the clinic. Vision Res 2013;90:2-9.)

คิดค้นอัตราส่วนเพื่อใช้ในแผ่นวัดสายตา โดยในปีค.ศ. 1868 Green^{4,5} ได้เสนอ logarithmic progression โดยใช้ค่า $\sqrt[3]{2} = 2^{1/3} = 1.2599$ ต่อมาในปีค.ศ. 1959 Sloan⁶ ได้เสนออัตราส่วนที่คล้ายคลึงกันคือ $10/\sqrt[10]{10} = 10^{0.1} = 1.2589$ ซึ่งถ้าเราหาเป็นค่า logarithm ของ 1.2589 จะมีค่าเท่ากับ 0.1 ($\log 1.2589 = \log 10^{0.1} = 0.1$)

เริ่มต้นที่ visual angle = 1 minute of arc ถ้าเราเพิ่มขนาดในอัตราส่วนที่ละ 1.2589 จะได้ visual angle เท่ากับ $1 \times 1.2589 \approx 1.25$, $1.25 \times 1.2589 \approx 1.6$, $1.6 \times 1.2589 \approx 2$ เป็นต้น และถ้าหากคิดเป็นค่า logarithm จะเท่ากับเพิ่มขึ้นทีละ 0.1 log unit ($\log 1.2589 = 0.1$) ดังนั้น ค่า MAR มีค่าตั้งแต่ 1, 1.25, 1.6, 2, 2.5, 3.2, 4, 5, 6.3, 8, 10

เห็นได้ว่า อัตราส่วนในการเพิ่มทีละ 1.2589 จะเท่ากับร้อยละ 25 หรือคิดเป็น 4:5 ซึ่งถ้าเราเพิ่มไป 3 steps จะเท่ากับการคูณด้วย $1.2589^3 = (\sqrt[3]{2})^3 = 2$ ซึ่งเท่ากับการคูณด้วย 2 นั่นเอง (เช่น จาก visual angle 1 เป็น 2 minutes of arc จะเห็นว่าการคูณ 1.2589 ทั้งหมด 3 ครั้ง) หรือ

ถ้าหากเป็น 10 steps คิดจาก $1.2589^{10} = (10/\sqrt[10]{10})^{10} = 10$ (รูปที่ 12, 13)

ในทางกลับกันถ้าคิดอัตราส่วนในการลดลง จะเท่ากับการหารด้วย 1.2589 หรือเท่ากับการคูณด้วย $0.8 (1/1.2589 \approx 0.8)$ หรือเป็นอัตราส่วน 5:4 เช่นเดียวกัน ถ้าเราลดไป 3 steps จะเท่ากับการหารด้วย $1.2589^3 = (\sqrt[3]{2})^3 = 2$ ซึ่งเท่ากับการหารด้วย 2 โดยที่กล่าวมามีที่ใช้ในการลดระยะทาง เช่นในกรณีที่ถูกทดสอบอ่านแถวบนสุดไม่ได้ ฉะนั้นระยะทางจาก 6 เมตร จะเลื่อนเข้ามาเป็น $6/1.2589 (6 \times 0.8) = 4.8$ เมตร และ $4.8 \times 0.8 \approx 3.8$ และ $3.8 \times 0.8 \approx 3$ เมตร ตามลำดับ (จะเห็นว่าจาก 6 เมตร เป็น 3 เมตร เท่ากับการคูณ 0.8 ทั้งหมด 3 ครั้ง) (รูปที่ 14)

กล่าวโดยสรุปคือ การที่มีการเพิ่มของ visual angle เป็นอัตราส่วนที่คงที่ $4:5 (1.2589 \text{ เท่า}) = 0.1 \text{ log unit}$ ดังนั้น ในการลดระยะทางทดสอบ จำเป็นต้องลดระยะทางในอัตราส่วนที่เท่ากันคือเป็น $5:4 (0.8 \text{ เท่า}) = -0.1 \text{ log unit}$ เช่นเดียวกัน

Table 1
Corresponding Visual Acuities

Line No.	Snellen Equivalent (feet)	Snellen Equivalent (meters)	Decimal Equivalent (minutes)	Visual Angle	LogMAR* Equivalent
-3	20/10	6/3	2.00	0.50	-0.30
-2	20/12.5	6/3.75	1.60	0.63	-0.20
-1	20/16	6/4.8	1.25	0.80	-0.10
0	20/20	6/6	1.00	1.00	0.00
1	20/25	6/7.5	0.80	1.25	+0.10
2	20/32	6/6.4	0.63	1.60	+0.20
3	20/40	6/12	0.50	2.00	+0.30
4	20/50	6/15	0.40	2.50	+0.40
5	20/63	6/18.9	0.32	3.15	+0.50
6	20/80	6/24	0.25	4.00	+0.60
7	20/100	6/30	0.20	5.00	+0.70
8	20/125	6/37.5	0.16	6.25	+0.80
9	20/160	6/48	0.13	8.00	+0.90
10	20/200	6/60	0.10	10.00	+1.00

x1.2589
(0.1 log unit, $10^{0.1}$)

0.1

0.1

4:5 ratio, 25%

รูปที่ 12 Geometric progression - logarithmic progression คือการเพิ่มขึ้นทีละ 0.1 log unit หรือเท่ากับ อัตราส่วนทีละ 1.2589

(From : Holladay JT. Proper method of calculating average visual acuity. J Refract Surg 1997;13:388-91.)

Table 1
Corresponding Visual Acuities

Line No.	Snellen Equivalent (feet)	Snellen Equivalent (meters)	Decimal Equivalent (minutes)	Visual Angle	LogMAR* Equivalent
-3	20/10	6/3	2.00	0.50	-0.30
-2	20/12.5	6/3.75	1.60	0.63	-0.20
-1	20/16	6/4.8	1.25	0.80	-0.10
0	20/20	6/6	1.00	1.00	0.00
1	20/25	6/7.5	0.80	1.25	+0.10
2	20/32	6/6.4	0.63	1.60	+0.20
3	20/40	6/12	0.50	2.00	+0.30
4	20/50	6/15	0.40	2.50	+0.40
5	20/63	6/18.9	0.32	3.15	+0.50
6	20/80	6/24	0.25	4.00	+0.60
7	20/100	6/30	0.20	5.00	+0.70
8	20/125	6/37.5	0.16	6.25	+0.80
9	20/160	6/48	0.13	8.00	+0.90
10	20/200	6/60	0.10	10.00	+1.00

$\sqrt[3]{2}$ ($2^{1/3} = 1.2599$)
3 steps - 1:2

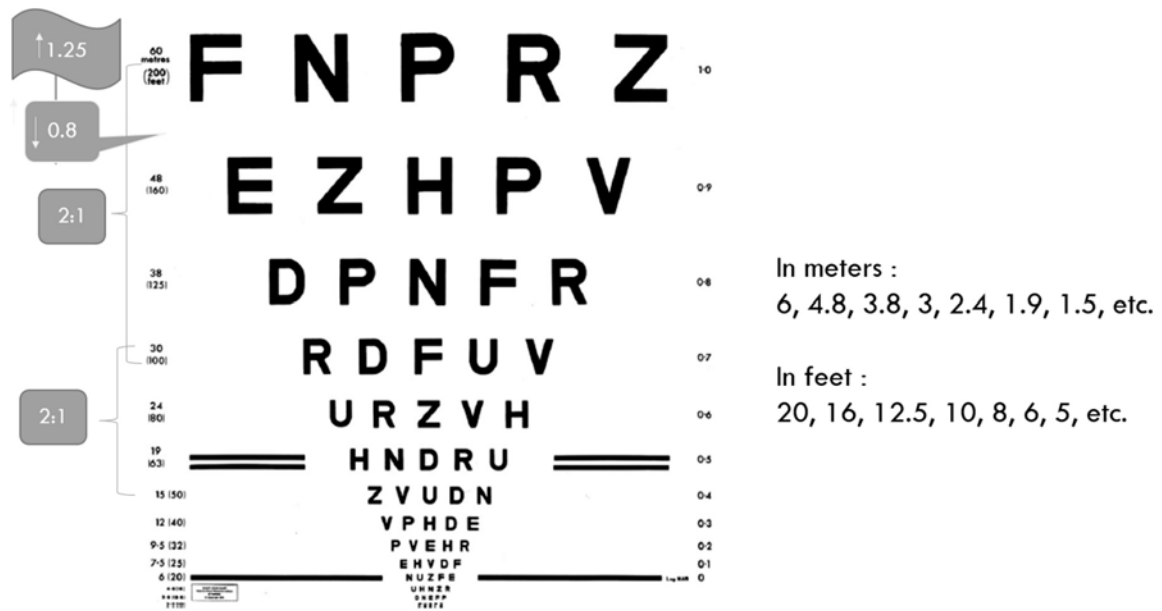
0.1

0.1

$\sqrt[10]{10}$ ($10^{0.1} = 1.2589$)
10 steps : factor of 10

รูปที่ 13 Logarithmic progression - กรณีเพิ่ม 3 steps(0.3 log unit) จะเท่ากับค่าเพิ่มขึ้น 2 เท่า

(From : Holladay JT. Proper method of calculating average visual acuity. J Refract Surg 1997;13:388-91.)



รูปที่ 14 แสดงค่าที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้น ตามหลักการของ Logarithmic progression

(From : Bailey IL, Lovie-Kitchin JE. Visual acuity testing. From the laboratory to the clinic. Vision Res 2013;90:2-9.)

ค่าสายตาที่ได้จากการวัดจาก Bailey-Lovie chart คือ

$$VA_{MAR} = \log MAR$$

แทนค่า MAR คือ ที่แถวบนสุด ค่า MAR = 10 ดังนั้น $\log 10 = 1$

กรณีค่า MAR มีค่าตั้งแต่ 1, 1.25, 1.6, 2, 2.5, 3.2, 4, 5, 6.3, 8, 10

ดังนั้น VA_{MAR} มีค่าตั้งแต่ 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1

ซึ่งจะเห็นได้ว่า การเพิ่มอัตราส่วนที่ละ 1.2589 เท่ากับการเพิ่มขึ้นที่ละ 0.1 log unit ($\log 1.2589 = 0.1$)

ในกรณีที่ทดสอบโดยใช้การนับนิ้ว (Counting fingers) มีการประมาณค่า visual angle ของนิ้วมือ เท่ากับขนาดตัวอักษรบนสุดของแผ่นวัดสายตา คือ ที่ขนาด 20/200⁷ และการเคลื่อนไหวของมือ (Hand motion) จะแยกจากการนับนิ้วเป็น 10 เท่า⁷ เท่ากับมีค่า MAR = 10 minutes of arc และ 100 minutes of arc ตามลำดับ ดังนั้น

Counting fingers ที่ระยะ 20 ฟุต เท่ากับค่าสายตา 20/200 = 1 log MAR (visual angle = 200/20 = 10 minutes of arc ดังนั้น $\log 10 = 1$)

Counting fingers ที่ระยะ 2 ฟุต เท่ากับค่าสายตา 2/200 = 20/2000 = 2 log MAR (visual angle = 2000/20 = 100 minutes of arc ดังนั้น $\log 100 = 2$)

Hand motion ที่ระยะ 2 ฟุต เท่ากับค่าสายตา 2/2000 = 20/20000 = 3 log MAR (visual angle = 20000/20 = 1000 minutes of arc ดังนั้น $\log 1000 = 3$)

2. Standardization

จาก Snellen chart จะเห็นว่า ลักษณะตัวอักษร, จำนวนตัวอักษร และระยะห่างระหว่างแถว ไม่เป็นสัดส่วนที่แน่นอน ดังนั้นใน Bailey-Lovie chart จึงได้มีการกำหนดมาตรฐานของแผ่นวัดสายตาขึ้น ได้แก่

- Optotypes : ตัวอักษรแต่ละตัวต้องมีความยากง่ายเท่าๆกัน ซึ่งในแผ่นวัดสายตาชนิดนี้ได้นำเอาตัวอักษรของ The British Standards Institute มาใช้ และตัวอักษรที่



รูปที่ 15 Optotypes - ตัวอักษรที่ใช้มีลักษณะเป็น non-serif (Sans-serif)
(available from: URL: <https://piktochart.com/blog/typography-how-typeface-personalities-set-the-tone-of-infographics/>)



รูปที่ 16 ระยะห่างใน Bailey-Lovie chart - แต่ละแถวระยะห่างจะเท่ากับขนาดความกว้างของตัวอักษรในแถวนั้นๆ และระยะห่างระหว่างแถวเท่ากับความสูงของตัวอักษรแถวล่าง
(From : Bailey IL, Lovie-Kitchin JE. Visual acuity testing. From the laboratory to the clinic. Vision Res 2013;90:2-9.)

Optotypes <i>n</i>	Height Minarc	Width Minarc	Row (5) Minarc	Spacing Minarc	Height/ Stroke	Size and Spacing Dimensions for 10 different optotypes
10	5.0	5.0	45	5	5	Sloan Letters O K S V Z
4	5.0	5.0	45	5	5	Landolt Rings C O O C O
4	5.0	5.0	45	5	5	Tumbling E E M W E E
4	5.0	5.0	45	5	5	HOTV H O V H T
8	5.0	5.0	45	5	5	LVRC Numbers 4 9 8 2 5
10	5.0	4.0	36	4	5	1968 British U N R V E
5	5.7	5.7	51	5.6	5	PV Numbers 3 9 2 6 5
4	6.4	4.3	40	4.6	7.5	Lea Numbers 8 9 8 5 6
4	5.0	5.0	51	6.5	5	Patti Pics □ ♥ ♠ ○
4	6.0	6.0	56	6.5	7	Lea Symbols □ ○ ♥ ♠

รูปที่ 17 แผ่นวัดสายตารูปแบบต่างๆ โดยใช้หลักการของ Bailey-Lovie chart
(From : Bailey IL, Lovie-Kitchin JE. Visual acuity testing. From the laboratory to the clinic. Vision Res 2013;90:2-9.)

ใช้มีลักษณะเป็น non-serif (Sans-serif) มีความสูงและความกว้างเป็น 5*4 (รูปที่ 15)

- จำนวนตัวอักษรในแต่ละแถวเท่ากัน โดยในแผ่นวัดนี้ ใช้จำนวน 5 ตัวอักษรทุกแถว และมีการเรียงให้ตัว

อักษรอยู่ตรงกลางบรรทัดตลอด ไม่ขีดขอบซ้ายหรือขอบขวา

- ระยะห่าง : ในแต่ละแถวระยะห่างจะเท่ากับขนาดความกว้างของตัวอักษรในแถวนั้นๆ และระยะห่างระหว่างแถวเท่ากับความสูงของตัวอักษรแถวล่าง (รูปที่ 16)

CONVERSION OF DIFFERENT VISUAL ACUITY NOTATIONS

Snellen Notation indicating measurement at:					Decimal notation	Visual Angle	LogMAR
6 m	5 m	4 m	1 m	20 ft			
See Section: IX.2					Independent of test distance		
					IX.4	IX.5	IX.6
6/ 3.0	5/ 2.5	4/ 2.0	1/ 0.50	20/ 10.0	2.00	0.50	− 0.3
6/ 3.8	5/ 3.2	4/ 2.5	1/ 0.63	20/ 12.5	1.60	0.63	− 0.2
6/ 4.8	5/ 4.0	4/ 3.2	1/ 0.80	20/ 16	1.25	0.80	− 0.1
6/ 6.0	5/ 5.0	4/ 4.0	1/ 1.00	20/ 20	1.00	1.00	0
6/ 7.5	5/ 6.3	4/ 5.0	1/ 1.25	20/ 25	0.80	1.25	+ 0.1
6/ 9.5	5/ 8.0	4/ 6.3	1/ 1.60	20/ 32	0.63	1.6	+ 0.2
6/ 12	5/ 10.0	4/ 8.0	1/ 2.0	20/ 40	0.50	2.0	+ 0.3
6/ 15	5/ 12.5	4/ 10.0	1/ 2.5	20/ 50	0.40	2.5	+ 0.4
6/ 19	5/ 16	4/ 12.5	1/ 3.2	20/ 63	0.32	3.2	+ 0.5
6/ 24	5/ 20	4/ 16	1/ 4.0	20/ 80	0.25	4.0	+ 0.6
6/ 30	5/ 25	4/ 20	1/ 5.0	20/ 100	0.20	5.0	+ 0.7
6/ 38	5/ 32	4/ 25	1/ 6.3	20/ 125	0.16	6.3	+ 0.8
6/ 48	5/ 40	4/ 32	1/ 8.0	20/ 160	0.125	8.0	+ 0.9
6/ 60	5/ 50	4/ 40	1/ 10	20/ 200	0.10	10.0	+ 1.0
6/ 75	5/ 63	4/ 50	1/ 12.5	20/ 250	0.08	12.5	+ 1.1
6/ 95	5/ 80	4/ 63	1/ 16	20/ 320	0.06	16.0	+ 1.2
6/ 120	5/ 100	4/ 80	1/ 20	20/ 400	0.05	20.0	+ 1.3

รูปที่ 18 ค่าสายตารูปแบบอื่นๆ

(From : Consilium Ophthalmologicum Universale. Visual Functions Committee. Visual acuity measurement standard. Ital J Ophthalmol II(I): 1988;15.)

ในปัจจุบันมีการคิดค้นแผ่นวัดสายตารูปแบบต่างๆ โดยใช้หลักการของ Bailey-Lovie chart คือมีการใช้อัตราส่วนเพิ่มขึ้นที่คงที่โดยใช้เป็น logarithmic progression (บางครั้งมีการเรียกรวมแผ่นวัดสายตาลักษณะนี้ว่า log MAR charts) มีการใช้จำนวนตัวอักษร 5 ตัวในแต่ละแถว ระยะห่างที่เป็นมาตรฐานทั้งในแถวและระหว่างแถว และการจัดเรียงตัวอักษรในลักษณะอยู่กึ่งกลางของบรรทัด โดยนำหลักการที่กล่าวมา ใช้กับ optotypes ที่แตกต่างกันไป และอาจมีการเรียกชื่อของแผ่นวัดสายตานั้นตามชื่อของ optotypes (รูปที่ 17)

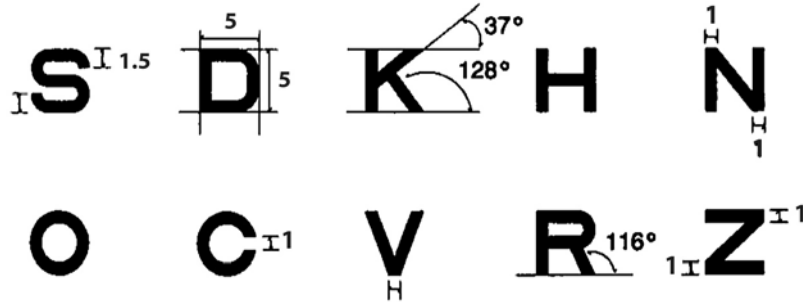
นอกจากนี้ยังมีค่าสายตารูปแบบอื่นๆ (รูปที่ 18) นอกจาก Snellen fraction และ log MAR คือ Decimal notation ซึ่งใช้กันแพร่หลายในญี่ปุ่นและยุโรป โดยมีค่าเป็นส่วนกลับของ visual angle หรือเท่ากับค่าตัวเลขที่หารแล้วของ Snellen fraction เช่น

$$VA_{Decimal} = \frac{1}{\theta(^{\circ})} = \frac{d'}{d} \quad \frac{20}{200} = \frac{1}{10'} = 0.1$$

ETDRS chart

ในปีค.ศ.1978 Early Treatment Diabetic Retinopathy Study (ETDRS) group ได้วางแผนที่จะทำการศึกษาเกี่ยวกับการรักษาภาวะเบาหวานขึ้นจอตา จึงได้คิดค้นแผ่นวัดสายตา เพื่อใช้ในระหว่างที่ทำการศึกษา โดยต้องการแผ่นวัดที่แม่นยำมากขึ้นโดยเฉพาะเมื่อใช้ในกลุ่มผู้ที่มีสายตาเลือนราง ต่อมา ETDRS chart ได้ถูกคิดค้นขึ้นในปี ค.ศ.1982⁸

ในปีค.ศ.1980 ทาง National Academy of Science/ National Research Council ได้จัดตั้ง Working group³⁹ และออกข้อแนะนำในการผลิตแผ่นวัดสายตา ซึ่งใน ETDRS chart ได้มีการนำเอาข้อแนะนำมาใช้คือ ระยะทางทดสอบ 4 เมตร และใช้ตัวอักษรเป็น Sloan letters แต่ส่วนใหญ่ยังอิงตามหลักการของ Bailey-Lovie chart คือในเรื่องของ logarithmic progression มีการใช้จำนวนตัวอักษร 5 ตัวในแต่ละแถว ระยะห่างในแถวเท่ากับความกว้างของตัวอักษร ระยะระหว่างแถวเท่ากับความสูงของแถวล่าง และการจัดเรียงตัวอักษรในลักษณะอยู่กึ่งกลางของบรรทัด



รูปที่ 19 Sloan letters - ลักษณะเป็น non-serif มีขนาดความสูงและความกว้างเป็น 5*5
(From : Sloan LL, Rowland WM, Altman A. Comparison of three types of test target for the measurement of visual acuity. Q Rev Ophthalmol 1952;8:4-16.)

ตารางที่ 2, 3 แสดงระดับความยากง่ายของแต่ละตัวอักษร

(From : Sloan LL, Rowland WM, Altman A. Comparison of three types of test target for the measurement of visual acuity. Q Rev Ophthalmol 1952;8:4-16.)

DEGREE OF DIFFICULTY OF SLOAN LETTERS		DIFFICULTY SCORES FOR CHARTS 1 AND 2			
Sloan Letter	% Correct at Threshold	Chart 1	Difficulty Score	Chart 2	Difficulty Score
S	70.6	NCKZO	410.1	DSRKN	410.1
O	71.0	RHSDK	407.8	CKZOH	407.8
C	71.4	DOVHR	410.7	ONRKD	410.5
D	79.5	CZRHS	411.6	KZUDC	411.6
K	82.1	ONHRC	409.6	VSHZO	409.5
V	84.6	DKSNV	408.4	HDKCR	408.6
R	86.3	ZSOKN	409.3	CSRHN	409.2
H	89.3	CKDNR	410.9	SVZDK	410.8
N	91.6	SRZKD	412.5	NCVOZ	412.6
Z	94.0	HZOV	410.3	RHSDV	410.3
		NVDOK	408.8	SNROH	408.8
		VHCNO	407.9	ODHKR	408.2
		SVHCZ	409.9	ZKCSN	409.7
		OZDVK	411.2	CRHDV	411.1

ในส่วนข้อแตกต่างจาก Bailey-Lovie chart คือ

- Sloan letters : ตามข้อแนะนำของ National Academy of Science/National Research Council⁹ เสนอ Landolt ring เป็นมาตรฐานของ optotypes ซึ่ง Sloan letters ถือเป็นข้อยอมรับที่ให้ได้ ลักษณะเป็น non-serif มีขนาดความสูงและความกว้างเป็น 5*5 โดยมีการศึกษาถึงความยากง่ายของแต่ละตัวอักษร จากนั้นนำมาจัดเรียงลงแต่ละแถว ให้มีผลรวมของความยากง่ายในแต่ละแถวเท่าๆกัน (รูปที่ 19, ตารางที่ 2, 3)

- ระยะทางทดสอบที่ 4 เมตร : ETDRS chart ได้ออกแบบมาเพื่อใช้กับระยะทางทดสอบที่ 4 เมตร ตามข้อแนะนำของ National Academy of Science/National

Research Council¹⁰ นอกจากนี้ในการใช้ระยะทางทดสอบที่ 4 เมตร มีข้อดี คือ

◦ ระยะทางนี้เป็นสัดส่วนเดียวกับการทดสอบด้วย near chart ที่ใช้ระยะทดสอบ 40 เซนติเมตร

◦ ในกรณีที่ทำการวัดค่าสายตาเพื่อประกอบการตัดแว่น (Refraction) สามารถให้การชดเชยโดยใช้เลนส์ 0.25D ซึ่งมีใน trial set (แต่ถ้าที่ระยะทาง 5 เมตรหรือ 6 เมตร การชดเชยมีค่าเท่ากับ 0.20 D และ 0.167 D ตามลำดับ ซึ่งไม่มีใน trial set)

◦ ค่าที่ได้จากการทดสอบที่ระยะ 4 เมตร สามารถเปลี่ยนเป็น Snellen fraction ได้ง่าย เพียงคูณ $\frac{5}{4}$ เช่น กรณีได้ค่าสายตา $\frac{4}{5} \times \frac{5}{4} = \frac{20}{20}$

ตามที่ได้กล่าวไป ในทางปฏิบัติให้ทำการลดระยะทางทีละร้อยละ 50 ของระยะเดิม (คือการลดทีละ 3 steps ดังนั้น ค่ำระดับการมองเห็นที่ได้ จะต้องมีการ correction factor ทีละ 0.3 ในกรณี log MAR หรือ เป็นการเพิ่ม visual angle ทีละ 2 เท่า ดังนั้นหากใช้เป็น Snellen fraction ตัวหารจะมีค่าเพิ่มขึ้นทีละ 2 เท่า)

6. ในกรณีที่ทำการลดระยะทางทดสอบ แล้วผู้ถูกทดสอบยังไม่สามารถอ่านได้ ให้ใช้เป็น semi-quantitative scale

- การนับนิ้ว (counting fingers, CF) ผู้ทดสอบยกนิ้วขึ้นมาหน้าตาผู้ถูกทดสอบ และให้ผู้ถูกทดสอบนับนิ้ว โดยทำการทดสอบเริ่มที่ระยะ 3 ฟุต, 2 ฟุต และ 1 ฟุต ตามลำดับ

- หากผู้ถูกทดสอบไม่สามารถนับนิ้วได้ถูกต้อง ใช้วิธีโบกหรือเคลื่อนไหวมือไปมาในแนวตั้งหรือแนวนอน (hand motions, HM) แล้วดูว่าผู้ถูกทดสอบสามารถรับรู้ถึงการเคลื่อนไหวของมือหรือไม่ โดยระวังการโบกมือ อย่าให้เกิดลมพัดที่หน้าผู้ป่วยที่จะทำให้เกิดการรับรู้ได้

- ในกรณีที่ผู้ถูกทดสอบไม่สามารถรับรู้การเคลื่อนไหวของมือได้ ให้ใช้แสงไฟส่องหน้าตา ในกรณีนี้ต้องทดสอบด้วยว่าผู้ถูกทดสอบสามารถบอกทิศทางของแสงที่เข้ามาได้หรือไม่ (light perception with projection หรือ light perception, false projection)

- ในกรณีที่ผู้ถูกทดสอบไม่สามารถรับรู้ได้เลยว่ามีแสงไฟหรือไม่ แสดงว่ามีระดับการมองเห็นเท่ากับตาบอดสนิท (no light perception)

7. การบันทึกค่าระดับการมองเห็น¹¹

- กรณีการให้คะแนนแบบแถว (row-by-row scoring) ให้บันทึกค่าระดับการมองเห็นในแถวสุดท้ายที่ผู้ถูกทดสอบอ่านได้

- o กรณีอ่านได้ 1 หรือ 2 ตัว (ไม่ถึง 3 ตัว ดังนั้นจึงไม่สามารถผ่านไปอ่านแถวล่างถัดไปได้) ให้ทำการบันทึกโดยใส่เครื่องหมาย +1 หรือ +2 ตามลำดับ ลงไปในค่าแถวที่อ่านได้แถวก่อน

- o กรณีอ่านได้ 3 ตัวหรือ 4 ตัว แต่แถวล่าง

ถัดไปไม่สามารถอ่านได้เลย ให้บันทึกโดยใส่เครื่องหมาย -2 หรือ -1 ตามลำดับ ลงไปในค่าแถวสุดท้ายที่อ่านได้

- กรณีการให้คะแนนแบบตัวอักษร (letter-by-letter scoring) ให้บันทึกค่าระดับการมองเห็นในแถวสุดท้ายที่ผู้ถูกทดสอบอ่านได้ แต่ในกรณีนี้ ตัวอักษรที่อ่านมาทั้งหมด จะถูกนำมาคำนวณด้วย เช่น กรณีผู้ถูกทดสอบอ่านได้ 3 ตัวในแต่ละแถว จะได้คะแนนน้อยกว่าผู้ถูกทดสอบที่อ่านได้ 5 ตัวในแต่ละแถว ในกรณีใช้ log MAR แต่ละตัวอักษร มีค่า 0.02 log unit (1 แถว มี 5 ตัวอักษร = 0.1 log unit ดังนั้น 1 ตัวอักษร = 0.02 log unit)

- กรณี Semi-quantitative scale บันทึกพร้อมบอกระยะทางที่ทำการทดสอบ เช่น นับนิ้วที่ระยะ 2 ฟุต (counting fingers at 2 feet)

8. นอกจากการวัดระดับการมองเห็นโดยใช้ตาเปล่าแล้ว เรามักทำการวัดโดยให้ผู้ถูกทดสอบใส่แว่นหรือ pin hole โดยในกรณี pin hole ให้วาง pin hole หน้าตาที่ทำการทดสอบ และทดสอบที่ละตาเช่นเดียวกัน จากนั้นบันทึกค่าระดับการมองเห็น โดยต้องบอกเสมอว่าใช้อุปกรณ์เสริมหรือไม่ เช่น VA without correction (ตาเปล่า), VA with pinhole (VA c PH), VA with correction, VA with glasses

การบันทึกค่าระดับการมองเห็นเพื่อใช้ในงานวิจัย

ในการวิจัย เราจำเป็นต้องบันทึกค่าระดับการมองเห็นเป็น linear scale เพื่อง่ายต่อการคิดคำนวณทางสถิติ และการหาค่าเฉลี่ย โดยใช้ Visual acuity rating scale (VAR scale)¹² ซึ่งเป็นการแปลงค่าจาก Log MAR เป็นค่าจำนวนตัวอักษรที่อ่านได้ โดย

$$VAR = 100 - 50(\log MAR)$$

โดยในแผ่นวัดสายตา ที่ 1 แถวมี 5 ตัวอักษร และมีการเพิ่มของแต่ละแถวเป็น geometric progression คือทีละ 0.1 log unit เพราะฉะนั้น หากอ่านได้ 1 ตัวอักษร เท่ากับอ่านได้ทีละ 1 คะแนน และหากอ่านได้ 1 แถว จะเท่ากับอ่านได้ 5 คะแนน

ยกตัวอย่างเช่น หากผู้ถูกทดสอบ มีระดับการมองเห็นคือ $\log \text{MAR} = 0$ จะได้ค่า $\text{VAR} = 100$ นั่นคือเสมือนว่าผู้ถูกทดสอบอ่านได้ 100 ตัวอักษร หรือได้ 100 คะแนนเต็ม แต่หากกรณีผู้ถูกทดสอบ มีระดับการมองเห็นคือ $\log \text{MAR} = 0.1$ จะได้ค่า $\text{VAR} = 95$ นั่นคือเสมือนว่าผู้ถูกทดสอบอ่านได้ 95 ตัวอักษร หรือได้ 95 คะแนน

ในกรณีที่มีการลดระยะทางทดสอบ จำเป็นต้องมีการปรับค่า VAR ที่ได้ โดยสามารถคิดได้จาก

$$50 \times \log (\text{new distance}/\text{standard distance})$$

ยกตัวอย่างเช่น ผู้ถูกทดสอบ เปลี่ยนระยะจาก 4 เมตร เป็นที่ระยะ 2 เมตร และอ่านได้ที่แถวบนสุดของแผ่นวัดสายตาคือมีค่า $\log \text{MAR} = 1$ หากแทนค่าลงในสูตรแรก จะได้ค่า $\text{VAR} = 50$ จากนั้นคิดคำนวณในสูตรที่ 2 จะได้ค่าเท่ากับ -15 ฉะนั้นในกรณีนี้จะได้ว่า $\text{VAR} = 50 + (-15) = 35$

References

1. Levi DM. Visual acuity. In : Levin LA, Nilsson SF, Hoeve JV, Wu S, Kaufman PL, Albert A. Adler's Physiology of the Eye 11th ed. Philadelphia: Elsevier Health Sciences. 2011:627-47.
2. Bailey IL, Lovie-Kitchin JE. New design principles for visual acuity letter charts. Am J Optom Physiol Opt 1976;53:740-5.
3. Bailey IL, Lovie-Kitchin JE. Visual acuity testing. From the laboratory to the clinic. Vision Res 2013;90:2-9.
4. Green J. On a New Series of Test-Letters for determining the Acuteness of Vision. Trans Am Ophthalmol Soc 1868;1:68-71.
5. Green J. Notes on the clinical determination of the acuteness of vision, including the construction and gradation of optotypes, and on systems of notation. Trans Am Ophthalmol Soc 1905;10:644-54.
6. Sloan LL. New test charts for the measurement of visual acuity at far and near distances. Am J Ophthalmol 1959;48: 807-13.
7. Holladay JT. Proper method of calculating average visual acuity. J Refract Surg 1997;13:388-91.
8. Ferris FL, Kassoff A, Bresnick GH, Bailey IL. New visual acuity charts for clinical research. Am J Ophthalmol 1982;94: 91-6.
9. National Academy of Science National Research Council (NASNRC) Committee on Vision. Recommended standard procedures for the clinical measurement and specification of visual acuity. Report of working group 39. Adv Ophthalmol 1980; 41:103-48.
10. Consilium Ophthalmologicum Universale. Visual Functions Committee. Visual acuity measurement standard. Ital J Ophthalmol II(I): 1988:1-18.
11. Colenbrander A. Visual standards - aspects and ranges of vision loss with emphasis on population surveys. In: Report for the International Council of Ophthalmology, Sydney, Australia, International Council of Ophthalmology 2002:1-33.
12. Bailey IL. Measurement of visual acuity-towards standardization. In Vision science symposium. A tribute to Gordon G. Heath. Bloomington. Indiana University 1988.
13. Committee on Vision. Recommended standard procedures for the clinical measurement and specification of visual acuity. Adv Ophthalmol 1980;41:103-48.
14. Early Treatment Diabetic Retinopathy Study Research Group. Early Treatment Diabetic Retinopathy Study design and baseline patient characteristics : ETDRS report number 7. Ophthalmology 1991;98(5 Suppl):741-56.
15. F. Ricci, C. Cedrone, L. Cerulli. Standardized measurement of visual acuity. Ophthalmic Epidemiology 1998;5(1):41-53
16. Holladay JT. Visual acuity measurements. J cataract refract surg 2004; 30(2):287-90.
17. Sloan LL, Rowland WM, Altman A. Comparison of three types of test target for the measurement of visual acuity. Q Rev Ophthalmol 1952;8:4-16.