

GOLDMAN PERIMETER IN STUDYING VISUAL FIELD AT LOW LIGHT LEVELS

Jaakko KETOMÄKI

HUT – Helsinki University of Technology, Lighting Laboratory

Abstract

Mesopic light levels, i.e. light levels in which both the cones and rods are active, is a field about which more information is needed. The purpose of this investigation was to find some answers to the questions concerning peripheral vision and visual fields size in mesopic light levels. This kind of investigation has not been done before. Visual fields have been measured for a long time, but never in the mesopic region and using varied light colours. This was now possible using the modified Goldman perimeter. Eleven subjects participated in the experiments.

1 Introduction

All light measurements and dimensioning are based on the photopic $V(\lambda)$. For many practical applications, however, it is not only the photopic conditions that are of interest. For lighting dimensioning and photometry, for example in most night-time outdoor lighting conditions, it is the mesopic lighting region that is of more practical interest.

Many researchers and research institutes are today interested in the mesopic light levels. Some researchers concentrate on foveal vision and some investigate adaptation information is also needed about the peripheral vision at low light levels.

However, in my opinion this is a very important sector. Only in peripheral vision can we investigate all types of receptors at the same time. This is important if we want to get new information about lighting situations where both rods and cones are active.

2 Basic information about vision

2.1 Spectral sensitivity of the human eye

At photopic light levels the spectral sensitivity of the eye is expressed by the $V(\lambda)$ curve in Figure 1. The lowest level of photopic lighting region is not clearly defined. The luminance limit definition between photopic and mesopic regions varies between about $L > 3 \dots 10 \text{ cd/m}^2$, the CIE definition is “at least several cd/m^2 ”. [1, 2]

Photopic $V(\lambda)$ has been measured using 2° visual target. If the vision is peripheral, the spectral sensitivity curve measured with a larger visual target is useful. This kind of curve is called the $V_{10}(\lambda)$ -curve, and it is also shown in Figure 1. The difference between $V(\lambda)$ and $V_{10}(\lambda)$ -curves can be found in short wavelengths. The relative spectral sensitivity of $V_{10}(\lambda)$ is clearly higher there. The reason for this is simple. On the retina there are three kinds of cones. They are called blue-, green- and red sensitive cones.

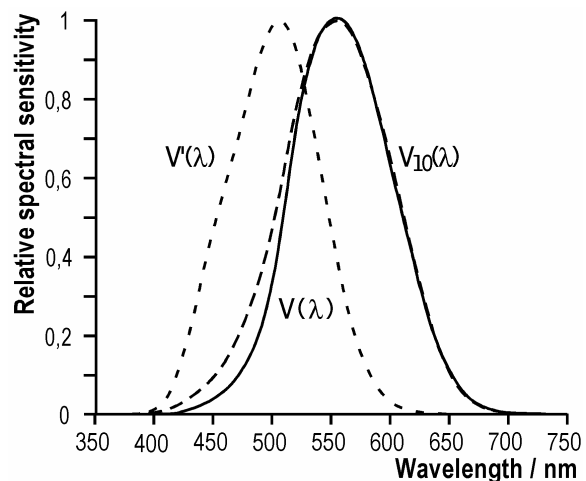


Figure 1 Different spectral sensitivity curves of the eye.

The distribution of these cone types is not uniform. In the fovea there are not many blue sensitive cones. Therefore it is clear that the spectral sensitive curve measured using a larger visual target has higher values in the short wavelength region.

At very low light levels the energy of the light is not sufficient to activate the cones, but the rod photoreceptors will be activated. The $V'(\lambda)$ curve describes the shifting of the spectral sensitivity towards shorter wavelengths at very low light levels. The upper luminance limit of the scotopic region is defined as about $L < 0.001 \dots 0.03 \text{ cd/m}^2$ [1, 2].

2.2 Visual field

When ophthalmologists define visual fields, they usually mean the region that one eye can see at a time. A good way to measure the visual field is to use a hemisphere onto the surface of which a light spot is reflected as a visual target. The size of the field depends strongly on the measurement conditions. If the visual target is very small and the contrast between target and background is low, the visual field will be smaller than if the target is big and bright. Therefore, the measuring conditions must always be specified when describing visual fields as done in Figure 2. [3]

A common way to describe the visual field is to use angular degrees to describe both the size of the visual field and also the measuring directions.

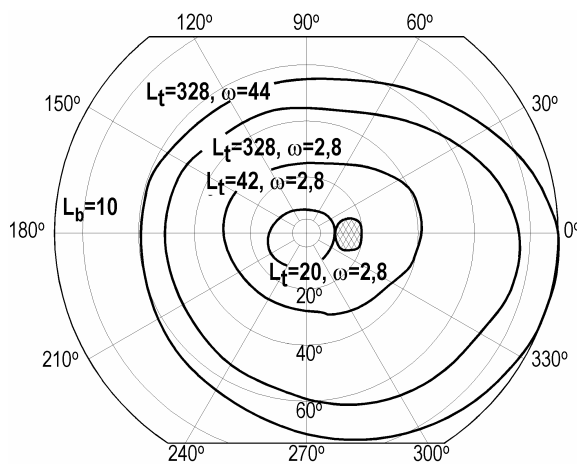


Figure 2 Normal visual field of the right eye. L_b is luminance of the background and L_t is luminance of the target. ω is size of the target. Hatched area is the blind spot.

3 Mesopic light level

3.1 Mesopic conditions

The mesopic lighting region is

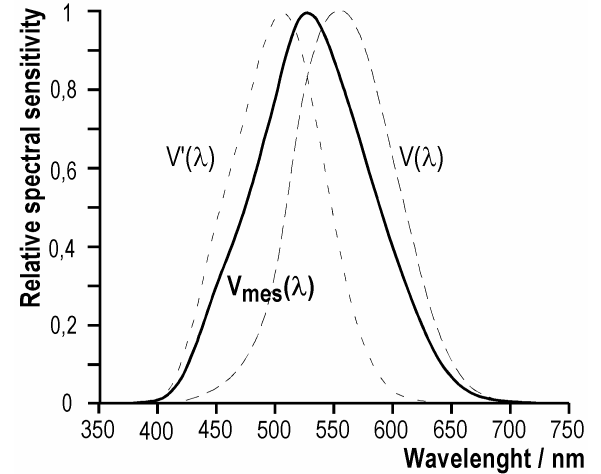


Figure 4 One estimate of mesopic spectral sensitivity curve calculated using equation 1 and x value 0.5 [5].

between the photopic and scotopic. In this range both rods and cones are active. Most publications define the mesopic range to be between $0.001 \dots 3 \text{ cd/m}^2$ as shown in Figure 3.

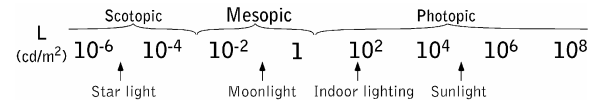


Figure 3 Locations of photopic, scotopic and mesopic ranges [4].

We can find mesopic conditions, for example when driving a car at night. The lowest road surface luminances recommended in road lighting are about 0.1 cd/m^2 .

3.2 Calculating mesopic luminances

The spectral sensitivity curve of the eye in the mesopic range is not as simple to define as in the photopic or scotopic range. This because both rods and cones are active. In mesopic lighting conditions several spectral sensitivity curves may be needed, depending on light level and the visual tasks. The shape of the curves may also vary. One estimate of mesopic spectral sensitivity curve is shown in Figure 4. Because the spectral sensitivity curve in the mesopic range is not the same as in the photopic range the luminances are also

different. Some methods for calculating these luminances have been developed. He et al. [5] have made investigations based on reaction times and developed a model which is quite easy to use. The model assumes that the mesopic spectral sensitivity curve is a linear combination of $V_{10}(\lambda)$ and $V'(\lambda)$. According to this model, the basic equation for calculating mesopic luminous efficiency is then

$$V_{mes}(\lambda) = k_1(xV_{10}(\lambda) + (1-x)V'(\lambda)) \quad (1)$$

The value of x is the result of many calculations and iterations. With this $V_{mes}(\lambda)$, the “mesopic luminances” can be calculated. The only problem of the model is that it needs radiance data of the visual target and these measurements are not very practical to make.

4 Experimental set-up

Equipment which can measure visual fields is called a perimeter. One example of a perimeter is the Goldman perimeter shown in Figure 5. We have made a few modifications on it together with Helsinki University Central Hospital.

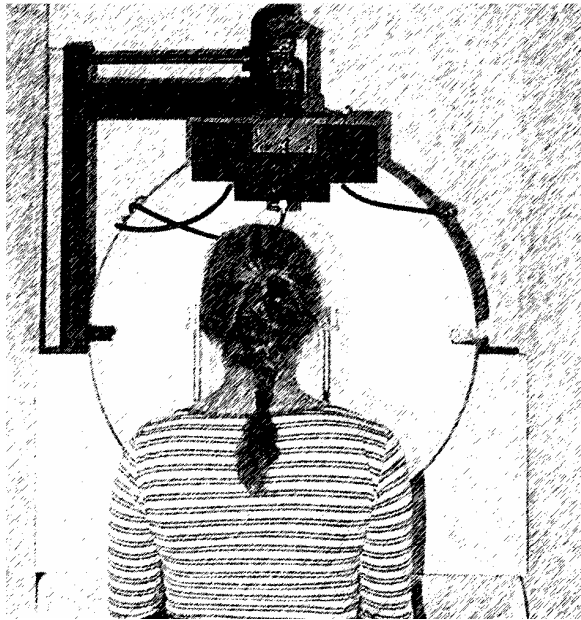


Figure 5 The Goldman perimeter. The bright areas in the top of the perimeter were covered during the measurements.

The Goldman perimeter is simply a hemisphere, onto which a light spot can be reflected as a visual object. The subject looks at

the fixation point in the middle of the hemisphere and tells when the visual object can be seen. It is possible to move the visual object over the whole surface of the hemisphere.

In our version of the perimeter it was possible to change the colour and luminance of the surface. Three surface luminance levels were used. The low level was 0.1 cd/m^2 , the medium level 1 cd/m^2 and the high level 5 cd/m^2 . Four different light spectra were used and they are shown in Figure 6. The changing of the light level and colour of the light was made possible by the lighting control system consisting of optical fibres. The surface and the visual object had the same colour and the luminance ratio $L_{target}/L_{surface}$ was 1:3.

Eleven subjects, aged 20...24 year participated in the experiments. Their vision was examined at Helsinki University Central Hospital before the measurements, to make sure that their visual fields and colour vision were normal.

Every test person's visual field was measured from two directions: from the right at 15 degrees above the horizontal plane and from downwards vertically. These fields were measured in all 12 light conditions. The measurements were made one colour at a time and the adaptation time between each light level was five minutes.

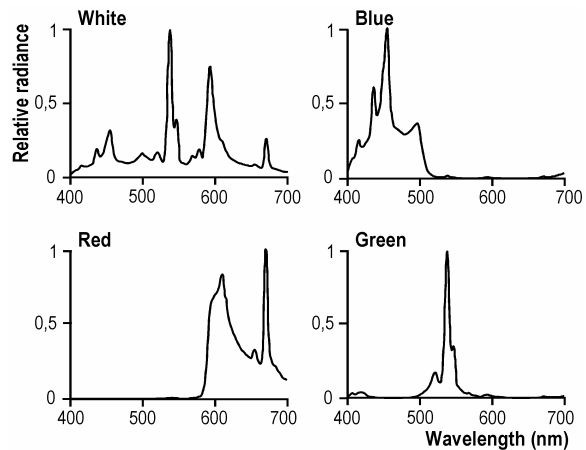


Figure 6 Spectra of used lights.

5 Results

Statistical analysis was made to find out the effect of luminance level on visual field for each of the four light spectra separately. Further, the effects of light spectra on visual field at constant luminance level are analysed. In the analysis the Friedman test was used. The test is suitable for analysing non-parametric observations. The significance level $p < 0.05$ was used.

The mean values (degree) of the measured visual fields are shown in Figure 7. We can see that in the red at the lowest luminance level, the visual field is clearly smaller than in the other cases. This difference is also statistically significant. In the experiments the luminance levels were calculated with $V(\lambda)$. These luminances were also converted to mesopic luminances by calculations. It is interesting to see that the shapes of the graphs of the visual fields are partly quite similar to the shapes of the graphs of mesopic luminances in Figure 8.

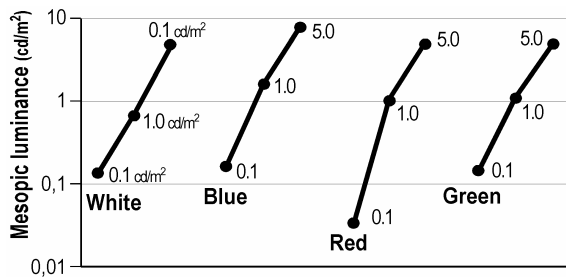


Figure 8 Calculated mesopic luminances of each luminance level organised by colour.

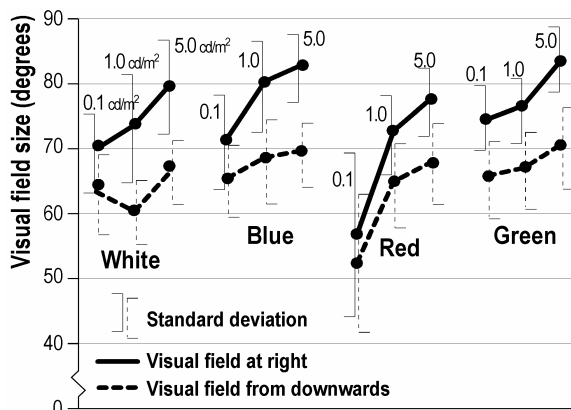


Figure 7 Means of measured fields organised by colour. The bars show the standard deviation.

From the results we can see that the visual field gets smaller when light level decreases although the contrast between the surface of the bowl and the visual target remains constant. The effect was strongest in green and red colour when the visual field is measured at the right. Only in the field measured from below in blue light was there no difference between any of the light levels. The reason for differences between colours could be that spectra of green and red do not reach the region of spectral sensitivity curve of rods and visual fields at equal luminances ($V(\lambda)$ - weighted) are smaller with green and red lights. Another interesting observation is that graphs of mesopic luminances have similar shapes to the graphs of visual fields.

6 References

1. Commission Internationale de l'Éclairage: Light as a True Visual Quantity : Principles of Measurements, CIE 41-1978.
2. Kokoschka S. : Das $V(\lambda)$ -Dilemma in der Photometrie. 3. Internationales Forum für den lichttechnischen Nachwuchs. 26.-28.9.1997. Dörmfeld/Ilm.
3. Werner, E. Manual of visual fields. Churchill Livingstone, 1991. ISBN 0-443-08689-3.
4. Rinalducci, E. & Higgins, K. & Zavod, M. & Wallace, S. Mechanism of photopic, mesopic and, scotopic vision. In Vision at low light levels (Alfred Gough ed). EPRI 1998.
5. He, Y. & Bierman, A. & Bullough, J. Evaluating Light Source Efficacy Under Mesopic Conditions Using Reaction Times. Journal of Illuminating Engineering Society. 1997. 26 (1) 125-138.

Jaakko KETOMÄKI

M.Sc., Research Scientist

P.O.Box 3000, FIN-02015 HUT, Finland

Tel. + 358 9 451 4983; Jaakko.Ketomaki@hut.fi



Research scientist in Lighting Laboratory in Helsinki University of Technology. Master of Science - 1999 and now he is doing his postgraduate studies. Main research area - vision in low light levels.

Intrat în redacție – 6.10.2000

PERIMETRUL GOLDMAN ÎN STUDIUL CÂMPULUI VIZUAL LA NIVELURI SCĂZUTE DE LUMINĂ

1. Introducere

Toate măsurările luminii și dimensionarea se bazează pe funcția fotopică $V(\lambda)$. Pentru multe aplicații practice, totuși, nu numai condițiile fotopice prezintă interes. Pentru dimensionarea iluminatului și în fotometrie, de exemplu în majoritatea condițiilor de iluminat exterior pe timp de noapte, există o zonă de lumină mezopică care prezintă interes.

Mulți cercetători și instituții de cercetare sunt astăzi interesați de nivelurile de lumină mesopică. Unii cercetători se concentrează pe vederea foveală, astfel că sunt necesare informații determinate experimental privind vederea periferică la niveluri de lumină scăzute.

Totuși, în opinia mea, acesta este un domeniu important. Numai în vederea periferică se pot investiga toate tipurile de receptori în același timp. Acest fapt este important dacă dorim să obținem noi informații despre situațiile când atât conurile cât și bastonașele sunt active.

2. Informații de bază despre vedere

2.1 Sensibilitatea spectrală a ochiului uman

La niveluri de lumină fotopică sensibilitatea spectrală a ochiului este exprimată prin funcția $V(\lambda)$ - Figura 1. Cel mai scăzut nivel al zonei de lumină fotopică nu este bine definit. Definirea limitei luminanței dintre zonele fotopice și mesopice variază între $L > 3 \dots 10 \text{ cd/m}^2$, definiția CIE fiind "la cel puțin câteva cd/m^2 ". [1,2]

Funcția $V(\lambda)$ fotopică a fost măsurată utilizând o sarcină vizuală de 2° . Dacă vederea este periferică, este utilă sensibilitatea spectrală măsurată cu o sarcină vizuală mai mare. Acest tip de curbă se numește curba $V_{10}(\lambda)$. Diferența dintre curbele $V(\lambda)$ și $V_{10}(\lambda)$ se găsește în intervalul lungimilor de undă scurte. Sensibilitatea spectrală relativă a $V_{10}(\lambda)$ este mai mare în această zonă. Motivul este simplu. Pe retină există trei tipuri de

conuri. Acestea sunt conuri sensibile la albastru, verde și roșu. Distribuția acestor tipuri de conuri nu este uniformă. În fovee nu sunt multe conuri sensibile la albastru. De aceea, sensibilitatea spectrală măsurată cu ajutorul unei sarcini vizuale mai mari are valori mai mari în zona lungimilor de undă scurte.

La niveluri foarte scăzute de lumină, energia luminoasă nu este suficientă pentru a activa conurile, dar vor fi activați fotoreceptorii de tip bastonașe. Curba $V'(\lambda)$ arată deplasarea sensibilității spectrale spre zona lungimilor de undă scurte la niveluri de lumină foarte scăzute. Limita superioară de luminanță a regiunii scotopice este $L < 0,001 \dots 0,03 \text{ cd/m}^2$ [1,2].

2.2 Câmpul vizual

Când oftalmologii definesc câmpurile vizuale, de obicei se referă la regiunea pe care o poate vedea fiecare ochi în parte. O modalitate de măsurare a câmpului vizual este de a utiliza ca sarcină vizuală o semisferă pe a cărei suprafață se reflectă un fascicul luminos. Mărimea câmpului depinde de condițiile de măsurare. Dacă sarcina vizuală este foarte mică și contrastul dintre sarcină și fond este scăzut, câmpul vizual va fi mai mic decât dacă sarcina este mare și luminoasă. De aceea, condițiile de măsurare trebuie să fie întotdeauna specificate când se descriu câmpurile vizuale - Figura 2. [3]

Un mod obișnuit de descriere a câmpului vizual utilizează gradele unghiulare, atât pentru dimensiunea câmpului vizual, cât și a direcțiilor de măsurare.

3. Nivelul de lumină mesopică

3.1 Condițiile mesopice

Zona de lumină mesopică este între cea fotopică și scotopică. În această zonă sunt active atât bastonașele cât și conurile. Majoritatea publicațiilor definesc intervalul mesopic între $0,001 \dots 3 \text{ cd/m}^2$ - Figura 3.

Se pot întâlni condițiile mesopice când se conduce un automobil în noapte - cele mai scăzute luminanțe recomandate ale suprafeței șoselei sunt $0,1 \text{ cd/m}^2$.

3.2 Calcularea luminanțelor mesopice

Curba de sensibilitate spectrală a ochiului în zona mesopică nu este atât de simplu de definit ca și în zona fotopică sau scotopică. Aceasta deoarece atât conurile cât și bastonașele sunt active. În condiții de lumină mesopică sunt necesare câteva curbe de sensibilitate spectrală, în funcție de nivelul de lumină și sarcinile vizuale. Forma curbelor poate de asemenea să varieze. O astfel de curbă spectrală mesopică este prezentată în Figura 4.

Deoarece curba de sensibilitate spectrală în zona mesopică nu este aceeași ca în zona fotopică, luminanțele sunt de asemenea diferite. S-au dezvoltat câteva metode de calcul a acestor luminanțe. He și alții [5] au efectuat investigații bazate pe timpii de reacție și au dezvoltat un model care este destul de simplu de utilizat. Modelul presupune că această curbă de sensibilitate spectrală mesopică este o combinație liniară între $V_{10}(\lambda)$ și $V'(\lambda)$. Conform acestui model, ecuația de bază pentru calcularea eficienței luminoase mesopice este - (1)

Valoarea x este rezultatul mai multor calcule și iterații. Cu această funcție $V_{mes}(\lambda)$ se pot calcula "luminanțele mesopice". Singura problemă a modelului este că necesită date de radianță a sarcinii vizuale, care nu sunt foarte ușor de măsurat.

4. Configurarea experimentală

Echipamentul care poate măsura câmpurile vizuale se numește "perimetru". Un exemplu de perimetru este perimetrul Goldman - Figura 5. S-au făcut câteva modificări asupra lui, în colaborare cu Spitalul Central Universitar din Helsinki.

Perimetrul Goldman este o semisferă pe care se reflectă un fascicul luminos, ca obiect vizual. Subiectul privește într-un punct fix aflat în mijlocul semisferei și anunță când obiectul vizual poate fi observat. Este posibilă deplasarea obiectului vizual pe întreaga suprafață a semisferei. În versiunea noastră, perimetrul permite modificarea culorii și a luminanței suprafeței. S-au utilizat trei niveluri de luminanțe a suprafeței: nivelul scăzut - 0,1

cd/m², nivelul mediu - 1 cd/m² și nivelul ridicat - 5 cd/m². S-au utilizat patru spectre de lumină diferite - Figura 6. Modificarea nivelului de lumină și a culorii luminii a fost posibilă cu ajutorul sistemului de control care conține fibre optice. Suprafața și obiectul vizual au avut aceeași culoare și raportul $L_{sarcină}/L_{suprafață}$ a fost 1:3. La experiment au participat unsprezece subiecți, cu vârsta între 20 și 24 de ani. Înainte de efectuarea măsurărilor le-a fost examinată vederea la Spitalul Central al Universității din Helsinki pentru a exista certitudinea că vederea cromatică și câmpuri vizuale ale acestora sunt normale.

Câmpul vizual al fiecărei persoane testate a fost măsurat în două direcții: de la dreapta la 15 grade deasupra planului orizontal și de jos în sus pe verticală. Aceste câmpuri au fost măsurate în toate cele 12 condiții luminoase. Măsurările au fost făcute pe rând pentru fiecare culoare, iar timpul de adaptare pentru fiecare nivel de lumină a fost de cinci minute.

5. Rezultate

Au fost efectuate analize statistice de determinare a efectului nivelului de luminanță asupra câmpurilor vizuale pentru fiecare din cele patru spectre luminoase. În plus, sunt analizate efectele spectrelor luminoase asupra câmpului vizual la un nivel de luminanță constant. În analiză s-a utilizat testul Friedman. Testul este corespunzător pentru analizarea observațiilor non-parametrice. S-a considerat un nivel $p < 0,05$.

Valorile medii (grade) ale câmpurilor vizuale măsurate sunt prezentate în Figura 7. Se poate observa că pentru culoarea roșie, la cel mai scăzut nivel de luminanță, câmpul vizual este mai mic. Această diferență este semnificativă din punct de vedere statistic. Nivelurile de luminanțe s-au calculat pe baza funcției $V(\lambda)$. Aceste luminanțe au fost, de asemenea, convertite prin calcule la luminanțe mesopice. Este interesant de observat că formele graficelor câmpurilor vizuale sunt parțial similare cu formele graficelor luminanțelor mesopice din Figura 8.

Din rezultate se poate observa diminuarea câmpului vizual cu scăderea nivelului de lumină, deși contrastul dintre suprafața

semisferei și sarcina vizuală rămâne constant. Efectul a fost mai puternic pentru culorile verde și roșu când câmpul vizual este măsurat la dreapta. Numai în câmpul măsurat de jos la lumină albastră nu a existat nici o diferență pentru oricare din nivelurile de lumină. Motivul diferențelor între culori ar putea fi acela că spectrele verde și roșu nu ating zona curbei sensibilității spectrale a bastonașelor și câmpurile vizuale la luminanțe egale sunt mai mici pentru culorile verde și roșu. O altă observație interesantă este aceea că graficele luminanțelor mesopice au aceleași forme ca și graficele câmpurilor vizuale.