

Proposal of Corridor Pattern to Consider in Progressive Addition Lens Design

Byeong-Yeon Moon^a, Dong-Sik Yu^b, Sang-Yeob Kim^c, and Hyun Gug Cho^{d,*}

Dept. of Optometry, Kangwon National University, Professor, Samcheok 25949, Korea

(Received May 3, 2020; Revised May 17, 2020; Accepted May 29, 2020)

Purpose: To propose a corridor pattern considering interpupillary distances that depend on fixative distances in progressive addition lens (PAL) design. **Methods:** Subjects (22.3 ± 3.1 years, 15 men and 15 women) had normal fixation ability at far and near distances and had an exophoria range of $0\sim 6 \Delta$ at near distances. Subjects were measured at interpupillary distances of 5, 4, 3, 2, 1.5, 1, 0.5, and 0.4 m, respectively. A functional formula was fitted from the dependence of interpupillary distance on fixative distance. The average corridor length was calculated using 880 cases of PAL fitting. **Results:** The fitted formula from the dependence of interpupillary distance on fixative distance represented an exponential curve and showed a correlation coefficient of -0.942 with accommodative diopters calculated at every fixative distance. The average corridor length was approximately 9 mm in 880 cases of PAL fitting. **Conclusions:** Proper PAL design of corridor patterns should consider the exponential curve fitted from the dependence of the interpupillary distance on fixative distance. Moreover, the corridor length should be designed to be shorter for PAL users.

Key words: Progressive Addition Lens (PAL), Progressive corridor pattern, Progressive corridor length

서 론

누진굴절력렌즈(progressive addition lens, PAL)는 다초점렌즈의 한 형태로써 크게 원거리, 중간거리, 근거리의 세 영역으로 나뉘어진다. 원거리와 근거리 영역 사이의 중간거리 영역은 가입도 굴절력이 연속적으로 부드럽게 이어져 렌즈 표면은 굴절이 단절된 부분이나 돌출된 부분이 없다. 따라서 이중초점렌즈에서와 같이 원거리와 근거리 영역 경계를 지날 때 발생하는 시야도약(vision jump)이 나타나지 않는다.^[1,2] 이처럼 부드러운 이행부 때문에 안경 사용자들이 매우 선호하고 있지만 시야도약이 제거되는 대신 원거리와 근거리 이행부 주변에는 원하지 않는 난시굴절력(unwanted astigmatism)이 형성됨으로 인해 만족도가 기대에 못 미치는 경우가 많다.^[3] 누진굴절력렌즈의 일반적인 구조는 굴절력이 형성되는 세로경선(정점굴절력선)을 따라 렌즈 위쪽에는 처방에 맞는 원거리 영역, 렌즈 아래쪽에 가입도 굴절력에 맞는 근거리 영역, 이 두 영역을 이어주는 누진대(progressive corridor)로 이루어져 있다. 그리고 이 세 영역의 이행부 주변에는 혼합영역(blending region)이 형성되어 있다(Fig. 1). 누진굴절력렌즈의 이와 같은 기본적인 구조를 완전히 바꿀 수는 없지만 디자인

기술의 발전을 통해 시력의 질 향상이나 쉬운 적응 등, 사용자의 전반적인 만족도를 향상시키고자 하는 다양한 연구가 진행되어 왔다. 구체적으로 얇은렌즈 사용과 안면 최적화^[4], 좌우렌즈의 비대칭과 필요 시야영역을 확보하기 위한 하드디자인과 소프트디자인^[1], 프리폼 기술을 통한 원거리와 근거리 영역의 비구면화^[5], 혼합영역의 난시 줄이기^[6], 그리고 다중기본만곡(variable base curve)^[7]과 같은 디자인들이 적용되고 있다. 그러나 완성된 누진굴절력렌즈의 디자인을 살펴보면 실제 눈의 생리적 기능을 고려하지 못한 부분이 발견되는데, 임상전문가들은 단지 완성렌즈에 대한 적응정도나 렌즈를 착용하였을 때 나타나는 조절과 폭주의 변화, 적응도, 그리고 사용자의 요구도 등을 분석할^[8-10] 뿐, 렌즈 디자인에 있어서 고려되어야 할 요소들에 대해서는 구체적인 의견을 제시하지 못하고 있다. 특히, 누진굴절력렌즈는 원거리 영역과 근거리 영역 사이의 누진대를 통해 중간거리의 선명한 시야를 얻을 수 있지만 그 폭이 좁고 주변은 원하지 않는 난시굴절력이 형성되기 때문에 사용자들은 누진대를 사용할 때 두 눈의 정확한 주시에 어려움을 겪거나 시야의 질적 저하를 경험하게 된다. 본 연구에서는 누진굴절력렌즈를 착용한 상태에서 주시거리 변화에 따라 시선이 누진대를 이동할 때

*Corresponding author: Hyun Gug Cho, TEL: +82-33-540-3411, E-mail: hyung@kangwon.ac.kr

Authors ORCID: ^a<https://orcid.org/0000-0003-0645-4938>, ^b<https://orcid.org/0000-0002-4387-4408>, ^c<https://orcid.org/0000-0001-6806-3305>, ^d<https://orcid.org/0000-0002-8267-3801>

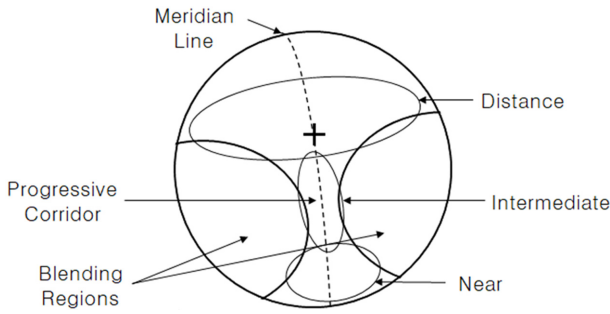


Fig. 1. General structure of progressive addition lens.

기능적 불편감을 최소화시킬 수 있는 누진대의 정점굴절력선(vertex line of power) 패턴을 제안하고자 하였다.

대상 및 방법

검사에 참가한 대상자는 원·근거리에 대한 주시가 정상이고, 근거리 0~6 △ 외사위를 갖는 평균연령 22.3±3.1세의 30명(남자 15명, 여자 15명)이었다. 주시거리별 동공중심간거리의 측정은 Fig. 2와 같이 검사대상자에게 2 mm 단위의 투명격자지가 부착된 안경을 착용시킨 다음, 순서대로 정준선을 따라 5, 4, 3, 2, 1.5, 1, 0.5 그리고 0.4 m 거리에 있는 시표를 주시하게 하였다. 그리고 시표와 동일한 위치에서 플래쉬 카메라(EOS 7D, Canon, Japan)를 이용하여 두 눈의 동공반사점을 촬영하였다. 촬영된 사진은 PC를 이용하여 충분한 크기로 확대한 다음 0.5 mm 수준까지 동공중심간거리를 측정하였다. 누진대 길이는 ‘비안경원(인천시)’에서 Eye M(아이미광학, Korea)으로 측정된 880개의 값을 사용하였다.

주시거리에 따른 동공중심간거리 그래프와 주시거리로 계산된 조절력 그래프는 모두 OriginPro 7.5(OriginLab Co., Northampton, USA)를 이용하여 적합한 함수식을 구하였고, 주시거리에 따른 동공중심간거리와 계산된 조절력에 대한 상관성 검증은 SPSS for windows(SPSS Inc., Chicago, USA)를 사용하였다.

결과 및 고찰

누진굴절력렌즈 이용자들이 원거리영역에서 근거리영역

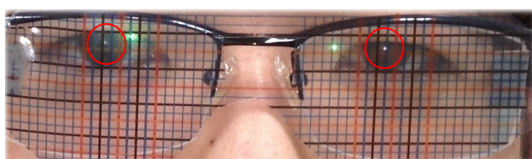


Fig. 2. Sticky grid film on glasses and the light points (red circles) on the pupillary center.

으로 협소한 누진대를 통해 시선을 이동시킬 때, 두 눈의 시선이 정점굴절력선을 지나지 않으면 주변부 난시굴절력의 영향으로 인해 렌즈 부적응이나 만족도 감소로 나타날 수 있다. 만일 정점굴절력선이 주시거리에 따라 동공중심간거리와 일치한다면 두 눈의 시선은 정점굴절력선을 지나게 되어 두눈보기는 더욱 편안하고 향상될 것이다. 이에 본 연구에서는 임상 측정값으로부터 동공중심간거리의 변화를 분석하여 누진굴절력렌즈 디자인에 고려할 누진대 패턴을 제안하고자 하였다.

Fig. 3은 주시거리의 변화에 따라 측정된 동공중심간거리의 평균값을 나타낸 것이다. 주시거리별 동공중심간거리값으로 얻어진 그래프의 함수식은 다음과 같다.

$$y = y_0 + A1 * \exp((x - x_0)/t1) + A2 * \exp((x - x_0)/t2)$$

$$(y_0 = -0.29787 \pm 1.87554, x_0 = 58.0462 \pm 1.14046E7, A1 = 0.11483 \pm 2530244.52021, t1 = 1.28917 \pm 20038.52021, A2 = 0.20789 \pm, t2 = 1.28906 \pm 11113.30473)$$

그리고 주시거리로 계산된 조절력을 표시한 것은 Fig. 4와 같다. 주시거리별 계산된 조절력 그래프의 함수식은 다음과 같다.

$$y = y_0 + A1 * \exp(-(x - x_0)/t1) + A2 * \exp(-(x - x_0)/t2)$$

$$(y_0 = -0.36461 \pm 0.03128, x_0 = 0.19752 \pm, A1 = 0.22729 \pm, t1 = 0.11259 \pm 0.00985, A2 = 2.46094 \pm, t2 = 0.59165 \pm 0.05926)$$

주시거리별 동공중심간거리 변화와 주시거리로 계산된 조절력 간의 상관성을 분석한 결과는 Table 1과 같다. 두 변수 간의 상관계수는 -0.942로 매우 높은 음의 상관관계를 보였다. 결과적으로 최적화된 두 함수식은 동일한 지수

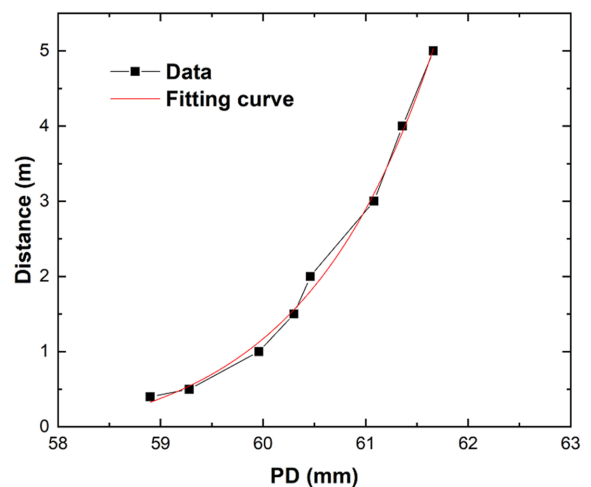


Fig. 3. Fitting curve of measured interpupillary distance (mm) depending on fixative distance.

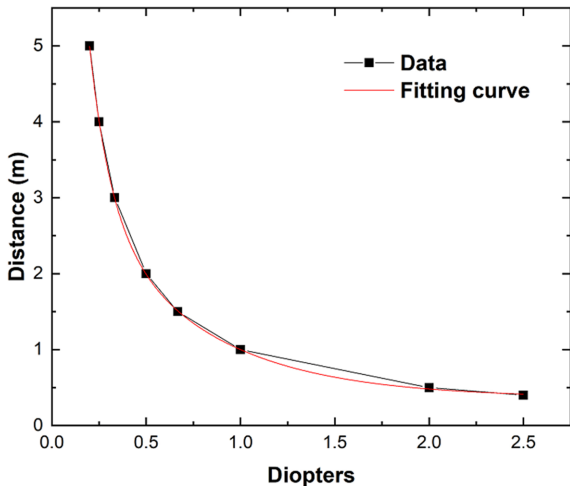


Fig. 4. Fitting curve of calculated accommodation power (D) depending on fixative distance.

Table 1. Pearson's correlation coefficient between curve of calculated accommodation and curve of measured interpupillary distance depending on fixative distance

Statistical variable	Pearson's correlation coefficient	Significance level
Calculated accommodation curve & Measured interpupillary distance curve	-0.942	$p < 0.0018$

함수형으로 나타났고, 주시거리에 따른 동공중심간거리의 변화는 주시거리로 계산된 조절력의 변화와 상관성이 매우 높은 것으로 나타났다.

누진굴절력렌즈 디자인의 중요 관점은 누진대의 폭을 넓히거나 누진대 주변의 난시굴절력을 줄이는 것^[1,3], 누진대 굴절력의 변화를 균일하고 부드럽게 하는 것, 그리고 렌즈 전반에 걸쳐 난시굴절력 발생을 감소시키는 것^[2,5,7]이며, 기술적으로는 렌즈 이용자 개인의 인셋, 누진대 길이, 그리고 원거리 영역과 근거리 영역의 크기를 만족시키는 프리폼 가공기술에 집중되고 있다. 임상전문가들은 완성된 렌즈의 평가를 통해 누진굴절력렌즈 이용자의 적응이나 만족도를 평가하였는데, 렌즈의 적응은 가입도, 이향운 동용이성, 그리고 사위적응 여부와 유의한 연관성이 있다고^[8,11-13] 하였다. 하지만 임상평가 후 렌즈 디자인 개선사항에 대한 제안은 잘 이루어지지 않고 있다. Chamorro 등^[7]이 프리폼 가공을 통해 누진굴절력렌즈의 만족도를 향상시키고자 한 디자인에서는 누진대의 정점굴절력선 패턴이 주시거리별 동공중심간거리 변화와는 반대의 패턴으로 되어 있어서 눈의 생리적 기능이 고려되지 않았음을 알 수 있다.

본 결과에서 주시거리에 따른 동공중심간거리의 변화는

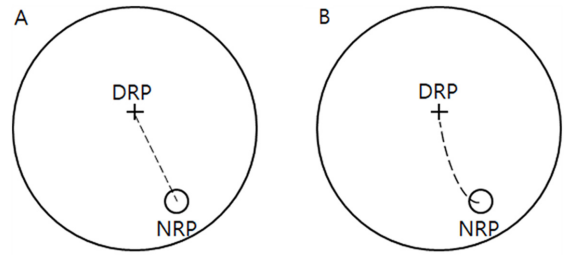


Fig. 5. General type (A) of progressive addition lens design and proposed type from our fitting curve (B). DRP: distance reference point; NRP: near reference point

Table 2. Average progressive corridor length of 880 prescriptions for PAL dispensing

Measurement	Right eye	Left eye
Progressive corridor length (Mean ± SD mm)	9.13±5.59	8.89±2.32

Fig. 3과 같이 나타나 누진굴절력렌즈의 누진대 정점굴절력선이 Fig. 5(B)의 패턴으로 디자인 된다면 렌즈적응과 만족도가 개선될 수 있을 것으로 판단되었다. 만일 동공중심간거리의 변화를 고려하여 Fig. 5(A)와 같이 전형적인 누진대 정점굴절력선으로 디자인하기 위해서는 주시거리가 가까워질수록 누진대 길이를 증가시켜야만 한다. 하지만 누진굴절력렌즈 피팅의 증례에서 얻어진 누진대 길이는 가입도 100% 기준점까지 평균 9 mm 내외로 측정되었고(Table 2), 이전 연구^[14]에서도 연령대와 상관없이 대부분 10~13 mm로 측정되었다. 따라서 렌즈제작자들은 누진굴절력렌즈를 디자인할 때 눈의 생리적 기능이 반영된 누진대 패턴과 이용자에 맞는 짧은 누진대 길이를 반드시 고려해야 할 것이다.

결론

누진굴절력렌즈를 착용한 상태에서 주시거리 변화에 따라 시선이 누진대를 이동할 때 기능적 불편감을 최소화시킬 수 있는 누진대 패턴을 제안하고자 하였다.

선명한 중간거리 시야가 확보되는 누진대에서 주시선이 정점굴절력선과 일치하기 위해서는 주시거리별 동공중심간거리의 변화로 얻어진 지수곡선을 고려한 누진대 디자인이 필요하다. 그리고 이용자의 요구에 맞는 더 짧은 길이의 누진대 디자인이 필요하다.

감사의 글

본 연구과제의 발표물은 “2018년도 강원대학교 대학회계 연구비의 지원을 받아 수행한 연구임”

본 연구의 누진대 길이 측정값을 제공해 주신 베네치아 안경원 이정권 원장께 감사드립니다.

REFERENCES

- [1] Meister D. Fundamental of progressive lens design. VisionCare Product News. 2006;6(9):1-6.
- [2] Jiang W, Bao W, Tang Q, et al. A variational-difference numerical method for designing progressive-addition lenses. Computer-Aided Design. 2014;48:17-27. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cad.2013.10.011>
- [3] Sheedy JE, Campbell C, King-Smith E, et al. Progressive powered lenses: the Minkwitz theorem. Optom Vis Sci. 2005;82(10):916-924. DOI: <http://doi.org/10.1097/01.opx.0000181266.60785.c9>
- [4] Loos J, Greiner G, Seidel H-P. A variational approach to progressive lens design. Computer-Aided Design. 1998; 30(8):595-602. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0010-4485\(97\)00102-4](https://doi.org/10.1016/S0010-4485(97)00102-4)
- [5] Savio G, Concheri G, Meneghello R. Parametric modeling of free-form surfaces for progressive addition lens. Proceedings of the IMProVe 2011, International Conference on Innovative Methods in Product Design Venice. 2011; 167-174.
- [6] Tang Y, Wu Q, Chen X, et al. A personalized design for progressive addition lenses. Optic Express. 2017;25(23): 28100-28111. DOI: <https://doi.org/10.1364/OE.25.028100>
- [7] Chamorro E, Cleva JM, Concepción P, et al. Lens design techniques to improve satisfaction in free-form progressive addition lens users. JOJ Ophthalmol. 2018;6(3):1-11. DOI: <https://doi.org/10.19080/jojo.2018.06.555688>
- [8] Alvarez TL, Kim EH, Granger-Donetti B. Adaptation to progressive additive lenses: Potential factors to consider. Scientific Reports. 2017;7:2529. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02851-5>
- [9] Jiang B, Tea YC, O'Donnell D. Changes in accommodative and vergence responses when viewing through near addition lenses. Optometry. 2007;78(3):129-134. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.optm.2006.08.017>
- [10] Sheedy JE. Progressive addition lenses-matching the specific lens to patient needs. Optometry. 2004;75(2):83-102. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1529-1839\(04\)70021-4](https://doi.org/10.1016/S1529-1839(04)70021-4)
- [11] Ji K, Yu DS, Kwak HW, et al. Factors influencing subjective satisfaction on wearing progressive addition lenses. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2016;21(4):377-383. DOI: <http://dx.doi.org/10.14479/jkoos.2016.21.4.377>
- [12] Sreenivasan V, Irving EL, Bobier WR. Binocular adaptation to near addition lenses in emmetropic adults. Vision Res. 2008;48(10):1262-1269. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.visres.2008.02.015>
- [13] Pellizzer S, Siderov J. Assessment of vergence facility in a sample of older adults with presbyopia. Optom Vis Sci. 1998;75(11):817-821. DOI: <https://doi.org/10.1097/00006324-199811000-00023>
- [14] Lee JK, Moon BY, Cho HG. Analysis of lengths of progressive corridor at habitual reading posture. Korean J Vis Sci. 2012;14(4):295-301.

누진굴절력렌즈 디자인에 고려할 누진대 패턴의 제안

문병연, 유동식, 김상엽, 조현국*

강원대학교 안경광학과, 교수, 삼척 25949

투고일(2020년 5월 3일), 수정일(2020년 5월 17일), 게재확정일(2020년 5월 29일)

목적: 주시거리별 동공중심간거리를 고려한 누진굴절력렌즈의 누진대 패턴을 제안하고자 하였다. **방법:** 검사대상자(평균연령 22.3±3.1세, 남자 15명, 여자 15명)는 원근거리 주시가 정상이었고, 근거리 0~6 △의 외사위 범위였다. 대상자들은 5, 4, 3, 2, 1.5, 1, 0.5, 그리고 0.4 m를 주시한 상태에서 각각의 동공중심간거리를 측정하였다. 그리고 주시 거리에 대한 동공중심간거리값으로부터 함수식을 구하였다. 누진굴절력렌즈 880개의 피팅값으로부터 누진대 길이 평균을 구하였다. **결과:** 주시거리별 동공중심간거리 변화로 유도된 함수식은 지수곡선으로 나타났으며, 주시거리로 계산된 조절력의 변화와 -0.942의 상관성을 보였다. 누진굴절력렌즈 880개의 피팅값에서 얻어진 누진대 길이는 약 9 mm 정도로 나타났다. **결론:** 누진굴절력렌즈의 디자인에서 누진대의 패턴은 주시거리별 동공중심간거리로부터 얻어진 지수곡선이 고려될 수 있으며, 이용자에 맞는 짧은 누진대 길이의 디자인이 필요한 것으로 사료된다.

주제어: 누진굴절력렌즈, 누진대 패턴, 누진대 길이