

Refractive Error Changes with Accommodation and Its Component Occurring by Near Vision

Su A Jung^{1,a}, Gi Chang Kim^{2,b}, and Hyun Jung Kim^{3,c,*}

¹Dept. of Optometry, Wonkwang Health Science University, Professor, Iksan 54538, Korea

²Dept. of Optometry, Graduate School of Konyang University, Student, Daejeon 35365, Korea

³Dept. of Optometry, Konyang University, Professor, Daejeon 35365, Korea

(Received November 23, 2020; Revised December 17, 2020; Accepted March 17, 2021)

Purpose: This study investigates refractive error changes with accommodation, as well as a component of refractive error changes with accommodation occurring by near vision. **Methods:** Distant (5 m) and near (40 cm) refractive errors were measured using an open-view autorefractometer (N-Vision K-5001, Shin-Nippon, Japan). In the case of a near refractive error, the changes with accommodation caused by near vision were assessed after correcting the change in the refractive power by the amount of accommodative stimulus. The amount of vergence accommodation was calculated using the difference values of the near refractive error measured with the near vision chart placed in the center of the binocular eye and in front of the monocular eye. The amount of reflex accommodation including proximal accommodation, was calculated by the difference between the amount of refractive error changes with accommodation and vergence accommodation. The power vectors (M, J₀, J₄₅, B) were applied and analyzed. **Results:** Refractive error changes with accommodation occurring by near vision, vergence accommodation, and reflex accommodation including proximal accommodation, respectively, changed spherical power (S) into -1.54 ± 0.58 D, 0.01 ± 0.37 D, and -1.55 ± 0.53 D, cylinder power (C) into -0.31 ± 0.59 D, 0.41 ± 0.71 D, and -0.72 ± 0.84 D, axis (Ax, θ) into $5.18 \pm 83.74^\circ$, $13.18 \pm 69.58^\circ$ and $-8.00 \pm 79.41^\circ$, M into -1.69 ± 0.70 D, 0.21 ± 0.55 D, and -1.91 ± 0.77 D, J₀ into 0.13 ± 0.26 D, -0.17 ± 0.29 D, and 0.31 ± 0.43 D, J₄₅ into 0.01 ± 0.16 D, 0.08 ± 0.22 D, and 0.03 ± 0.16 D and B into 1.72 ± 0.55 D, 0.56 ± 0.44 D, and 1.97 ± 0.81 D. **Conclusions:** A prescription should be considered since refractive error changes with accommodation may occur due to near vision. The vergence accommodation occurred due to the intervention of convergence when looking at near distance, and refractive error changes with accommodation demonstrated a large change by reflex accommodation including proximal accommodation, among the accommodation components.

Key words: Refractive error changes with accommodation, Reflex accommodation, Vergence accommodation, Proximal accommodation, Power vector

서 론

근거리 시작업은 조절을 유발하며, 이와 함께 폭주와 축동이 함께 발생하게 된다.^[1] 이 중 조절과 폭주는 근거리 주시로 인해 발생하는 눈의 큰 변화이고, 정상적인 양안시 기능을 유지하는데 중요한 요소들 중 하나이다.^[2] 눈이 물체를 선명하게 주시하기 위하여 나타나는 주요한 반응인 조절은 긴장성 조절(tonic accommodation), 반사성 조절(reflex accommodation), 폭주성 조절(vergence accommodation), 근접성 조절(proximal accommodation)의 4가지 구성 요소로 이루어져 있다.^[1-3] 긴장성 조절은 근육의 생리적 긴장으로

인하여 발생하는 조절로 일정량이 항상 발생하지만, 나이가 들면 감소하게 된다. 반사성 조절은 흐린 망막상에 반응하여 물체를 선명하게 인식하기 위해 굴절상태가 변화함으로 인하여 나타나는 조절로, 비교적 적은 양의 흐림에도 반응하고 단안과 양안 주시 시 모두 발생하게 된다. 그리고 이는 조절의 요소 중 가장 많은 양을 차지하는 제일 중요한 요소로 알려져 있다. 폭주성 조절은 협동안 운동(synkinetic eye movement)으로 융합 이항 운동(fusional disjunctive movement)이 일어날 때 함께 발생하며, 조절의 구성 요소 중 반사성 조절 다음으로 중요한 요소로 알려져 있다. 근접성 조절의 경우 물체가 가까이 있다는 인식으로

*Corresponding author: Hyun Jung Kim, TEL: +82-42-600-8427, E-mail: kimhj@konyang.ac.kr

Authors ORCID: ^a<https://orcid.org/0000-0001-6728-0295>, ^b<https://orcid.org/0000-0002-0280-3443>, ^c<https://orcid.org/0000-0002-3573-9513>

본 논문의 일부내용은 2019년도 한국안광학회 동계학술대회에서 포스터로 발표되었음

발생하고, 보통 3 m 이내의 물체를 주시하는 것이 인지될 때 발생하며 심리적 조절, 기계성 조절이라고도 한다.^[1-3]

선행연구에서 근거리를 주시하게 되면 조절 발생으로 인하여 근거리 굴절이상(近視)이 변화하는 조절성 난시가 유발된다고 하였다.^[4-6] 이러한 조절성 난시는 조절 시 발생하는 수정체의 위치 변화, 조절과 함께 동반되는 폭주와 축동으로 인한 눈의 광축과 시축의 위치 변화, 그리고 눈의 회선 등으로 인하여 발생하게 된다.^[1,4] 근거리 주시 시 이와 같이 조절성 난시가 발생할 수 있다는 연구,^[4-6] 눈의 다양한 기능변화에 관한 연구,^[7-9] 조절기능의 변화에 관한 연구^[10-13] 등이 보고되어 있다. 그리고 국외의 연구 중에는 조절의 구성 요소 중 반사성 조절,^[14] 폭주성 조절에^[15] 대한 연구가 보고되었지만, 이는 조절의 구성 요소들에 관한 연구가 아니라 각각 반사성 조절과 폭주성 조절에 관한 단편적인 연구이다. 이에 비해 국내에서는 조절성 굴절이상의 변화를 조절의 구성 요소의 측면에서 분석한 연구는 거의 보고된 바가 없는 수준이다. 따라서 본 연구에서는 근거리 주시로 발생할 수 있는 조절성 굴절이상의 변화를 확인하고, 조절을 구성하는 요소로 세분화하여 파워벡터를 적용한 후 분석하여 조절의 구성 요소에 관하여 이해하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 대상

본 연구는 조절기능에 관련된 연구를 실시하기 때문에 결과에 영향을 미칠 것으로 예상되는 요인을 제거하고자 다음과 같은 조건을 만족하는 자로 제한하였다. 우선 안질환 및 굴절교정술의 경험이 없는 자로, 노안발생 이전의 정상적인 조절기능을 가지고 있을 것으로 예상되는 20대로 제한하였으며, 이들의 조절기능을 평가하여 정상적인 조절기능을 가지고 있는지 확인하였다. 특히 본 연구는 개방형 자동안굴절력계를 이용해 원거리와 근거리의 굴절이상을 측정해 발생한 조절성 굴절이상의 변화와 조절의 구성 요소를 분석하므로, 굴절이상과 교정용 안경착용으로 인하여 발생할 수 있는 오차를 줄이고자 나안상태로 측정하기 위하여 피험자의 굴절이상을 제한하였다. 이때 피험자의 굴절이상은 원거리(5 m) 시표를 주시한 상태에서 개방형 자동안굴절력계(N-Vision K-5001, Shin-Nippon, Japan)를 이용해 3회 측정된 등가구면굴절력의 평균 값이 +1.00 D ~ -1.00 D의 범위에 속하는 자를 최종 대상자로 선정하였다. 최종적으로 선정된 대상자는 19명(23.11±1.91세)의 33안이었다.

본 연구의 모든 검사과정과 규약은 건양대학교 기관생명윤리위원회(Institutional Review Board, IRB, 승인번호:

KYU-2019-317-01)의 승인을 받아 실시하였고, 연구에 참여한 대상자에게 실험 목적과 검사 방법에 대하여 충분히 설명한 후 동의를 얻고 검사를 진행하였다.

2. 방법

1) 원, 근거리 굴절이상 측정과 조절성 굴절이상의 변화 산출

원거리와 근거리의 굴절이상을 측정하고 비교한 후, 근거리 시표 주시로 인하여 발생하는 조절성 굴절이상의 변화를 측정하기 위하여 우선, 피검자의 정면에 원거리(5 m)용 시표를 위치시키고 개방형 자동안굴절력계를 이용해 피검자의 원거리 굴절이상을 측정하였다. 그리고 근거리 굴절이상을 측정하기 위하여 양안의 중앙 정면에 근거리 시표(40 cm)를 위치시킨 상태에서 단안의 굴절이상을 측정하였다. 원거리와 근거리 굴절이상은 3회 이상 측정하고 평균 값을 이용하였다. 본 연구에서는 근거리 주시 시 조절개입으로 발생한 굴절이상 변화 값을 이론적으로 보정하기 위하여 원거리와 근거리의 굴절이상 비교 시에만 측정된 근거리 굴절이상의 구면굴절력에 +2.50 D를 더한 값을 기준으로 결과를 분석하였다. 측정된 굴절이상은 구면굴절력(S), 원주굴절력(C), 교정 축(Ax, θ)방향으로 나타내고, 이를 파워벡터에 적용하여 분석하기 위하여 아래의 수식을 활용하여 등가구면굴절력(spherical equivalent)인 M, 난시 축 90°와 180°의 벡터 값인 J₀, 난시 축 45°와 135°의 벡터 값인 J₄₅와 굴절력 오차벡터 B(blurring strength)를 산출하였다.

그리고 원거리와 근거리의 굴절이상 값을 비교한 후 근거리 주시로 인하여 발생한 조절성 굴절이상 변화를 확인하기 위하여 근거리와 원거리 시표를 양안 중앙에 위치시킨 상태에서 주시하게 하고 측정된 굴절이상의 차이 값으로 산출하였다. 이 경우, 눈의 굴절력 변화량을 확인하기 위하여 근거리 주시 시 측정된 굴절이상 값을 보정하지 않은 값을 사용하였다. 일반적인 상황에서 원거리를 주시할 때에는 긴장성 조절만 개입되고, 근거리를 주시할 때에는 긴장성 조절과 반사성 조절, 폭주성 조절, 근접성 조절이 모두 개입하는 것으로 알려져 있으며, 긴장성 조절량은 일정량이 항상 발생하므로 주시거리와 관계없이 동일하게 발생하게 된다.^[1-3] 그러므로 두 결과의 차이 값으로 산출한 조절성 굴절이상의 변화량은 근거리 주시로 조절이 개입되어 발생한 반사성, 폭주성, 근접성 조절으로 이루어진 값이라고 할 수 있을 것이다(Fig. 1).

2) 시표의 위치 변화에 따른 굴절이상 측정과 폭주성 조절, 근접성 조절을 포함한 반사성 조절의 산출

시표의 위치 변화에 따른 굴절이상의 비교와 폭주가 발

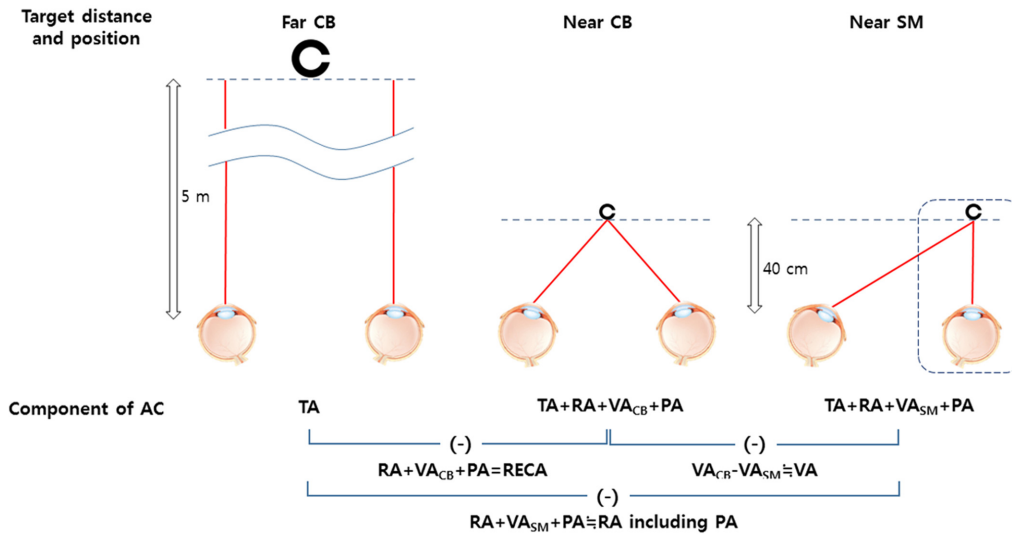


Fig. 1. Intervening components of refractive error changes with accommodation according to target distance and position.

CB; center of binocular eye
 SM; straightforward in front of monocular eye
 AC; accommodation
 TA; tonic accommodation
 RA; reflex accommodation
 VA; vergence accommodation
 PA; proximal accommodation
 RECA; refractive error changes with accommodation

생함에 따라 발생하는 조절인 폭주성 조절을 산출하기 위하여 근거리 시표(40 cm)를 측정안의 단안의 직전방인 정면에 위치시킨 상태에서 개방형 자동안굴절력계를 이용하여 근거리 굴절이상 값을 측정하였다. 그리고 시표를 양안의 중앙에 위치시킨 상태에서 측정한 굴절이상 값과 시표를 측정안의 정면에 위치시킨 상태에서 측정한 굴절이상 값을 비교하고, 이들의 차이로 폭주성 조절을 산출하였다. 측정안의 단안 직전방에 시표를 위치시킨 상태는 측정안의 경우 정면에 위치하고 있는 근거리 시표를 주시하고 있기 때문에 폭주가 거의 개입되지 않지만, 비측정안은 측정안의 정면에 위치한 시표를 주시하고 있으므로 비측정안에만 폭주가 개입된 것과 같은 비대칭성 폭주가 발생한 상태로 시선이 위치하게 된다. 이 경우 상대적으로 측정안에는 폭주가 거의 개입되지 않은 것과 같은 상태이기 때문에 폭주성 조절이 거의 발생하지 않았다고 할 수 있을 것이다. 이에 비해 조절성 굴절이상의 변화량을 산출할 때에는 시표를 양안 중앙에 위치시킨 상태에서 굴절이상을 측정하였으므로 특별한 경우가 아니라면 측정안과 비측정안에 동일한 수준의 폭주가 개입되는 대칭성 폭주가 발생하였을 것이다. 즉, 측정안에 폭주가 개입된 상태라고 할 수 있으므로 긴장성, 반사성, 폭주성, 근접성 조절이 모두 개입된 상태라고 할 수 있을 것이다. 이에 시표를 양안 중앙에 위치시킨 대칭성 폭주가 발생한 상태에서

측정한 근거리 굴절이상과 측정안의 정면에 시표를 위치시킨 비대칭성 폭주가 발생한 상태에서 측정한 근거리 굴절이상의 차이를 본 연구에 한정하여 폭주성 조절량으로 정의하고 산출하였다. 또한 근거리 시표를 측정안의 정면에 위치시킨 상태는 긴장성, 반사성, 근접성 조절을 포함하고 있지만, 원거리 시표를 주시한 상태는 긴장성 조절만 발생하기 때문에 이 둘의 차이 값을 본 연구에 한정하여 근접성 조절을 포함한 반사성 조절량으로 정의하고 산출하였다 (Fig. 1). 그리고 폭주성 조절량과 근접성 조절을 포함한 반사성 조절량도 모두 파워벡터를 적용하여 산출하였다.

3) 통계처리

SPSS 19(IBM, USA)를 사용하여 t-test와 상관관계를 이용하여 결과를 분석하였다. 신뢰도 95%를 기준으로 유의수준을 나타내는 p-value 값이 0.05 미만일 때 통계적으로 유의하다고 판단하였으며, p<0.05일 때 ‘*’, p<0.01일 때 ‘**’, p=0.000일 때 ‘***’로 표기하였다.

결과 및 고찰

1. 시표의 주시거리 변화에 따른 굴절이상의 변화와 조절성 굴절이상의 변화량 분석

주시거리 변화에 따른 굴절이상을 비교하기 위하여 원거리와 근거리 주시 시의 굴절이상을 측정한 후 근거리

Table 1. Power vector comparison of refractive error according to target distance

	Target distance		p-value
	Far	Near [†]	
Spherical (D)	0.05±0.49	1.02±0.46	0.000***
Cylinder (D)	-0.59±0.43	-0.90±0.70	0.005**
Ax, θ (°)	112.84±76.38	98.12±77.90	0.277
M (D)	-0.24±0.47	0.56±0.58	0.000***
J ₀ (D)	0.22±0.26	0.33±0.43	0.053
J ₄₅ (D)	-0.02±0.13	0.00±0.19	0.475
B (D)	0.56±0.29	0.91±0.37	0.000***

[†]In the cases of near target distance, it is the result of processing S+2.50 D in the measured value
 p*<0.05, *p*<0.01, ****p*=0.000

굴절이상을 보정하고 비교한 결과, 구면굴절력(S)은 각 0.05±0.49 D와 1.02±0.46 D(*p*=0.000), 원주굴절력(C)의 경우 -0.59±0.43 D와 -0.90±0.70 D(*p*=0.005), 교정 축(Ax, θ)은 112.84±76.38°와 98.12±77.90°로 측정되었다(*p*=0.277). 이 결과를 파워벡터에 적용하여 산출한 M은 -0.24±0.47 D와 0.56±0.58 D이었으며(*p*=0.000), J₀는 0.22±0.26 D, 0.33±0.43 D(*p*=0.053), J₄₅는 -0.02±0.13 D, 0.00±0.19 D (*p*=0.475), B는 0.56±0.29 D와 0.91±0.37 D(*p*=0.000)로 확인되었다. 원거리와 근거리의 굴절이상을 비교한 결과 구면굴절력(S)과 원주굴절력(C), 그리고 파워벡터 성분 M과 B가 통계적으로 유의한 차이를 보여 근거리 주시 시 조절로 인하여 굴절이상의 변화가 발생하는 것으로 확인하였다(Table 1).

이때 근거리 주시로 인하여 발생한 조절성 굴절이상의 변화량은 보정하지 않은 상태의 측정된 근거리와 원거리 주시 시 굴절이상의 차이로 하였고, 조절개입으로 인하여 구면굴절력(S)의 경우 -1.54±0.58 D, 원주굴절력(C)은 -0.31±0.59 D, 교정 축(Ax, θ)은 평균 5.18±83.74°, 파워벡터 성분 M은 -1.69±0.70 D, J₀은 0.13±0.26 D, J₄₅는 0.01±0.16 D, B는 1.72±0.55 D 변화가 발생하였다.

Table 3. Comparison and correlation of refractive error changes with accommodation and vergence accommodation

	Refractive error changes with accommodation	Vergence accommodation	p-value	Correlation
				r (p-value)
Spherical (D)	-1.54±0.58	0.01±0.37	0.000***	0.451 (0.008)
Cylinder (D)	-0.31±0.59	0.41±0.71	0.000***	0.185 (0.303)
Ax, θ (°)	5.18±83.74	13.18±69.58	0.567	0.476 (0.005)
M (D)	-1.69±0.70	0.21±0.55	0.000***	0.252 (0.157)
J ₀ (D)	0.13±0.26	-0.17±0.29	0.000***	0.177 (0.324)
J ₄₅ (D)	0.01±0.16	0.08±0.22	0.198	-0.130 (0.471)
B (D)	1.72±0.55	0.56±0.44	0.000***	0.333 (0.058)

p*<0.05, *p*<0.01, ****p*=0.000

Table 2. Power vector comparison of refractive error according to target position

	Target position		p-value
	Center of binocular eye	Straightforward in front of monocular eye	
Spherical (D)	-1.48±0.46	-1.49±0.46	0.906
Cylinder (D)	-0.90±0.70	-1.31±0.87	0.002**
Ax, θ (°)	102.26±73.31	88.23±72.66	0.285
M (D)	-1.94±0.58	-2.15±0.72	0.034*
J ₀ (D)	0.33±0.43	0.48±0.58	0.056
J ₄₅ (D)	0.00±0.19	0.02±0.25	0.743
B (D)	2.01±0.61	2.26±0.79	0.021*

p*<0.05, *p*<0.01

2. 근거리 시표 위치 변화에 따른 굴절이상 비교와 폭주성 조절량, 근점성 조절을 포함한 반사성 조절량의 분석

근거리 시표를 양안 중앙에 위치시킨 상태와 단안의 정면에 위치시킨 상태에서 측정하고 비교한 결과, 구면굴절력(S)은 각 -1.48±0.46 D와 -1.49±0.46 D(*p*=0.906), 원주굴절력(C)의 경우 0.90±0.70 D와 -1.31±0.87 D(*p*=0.002), 교정 축(Ax, θ)은 102.26±73.31°와 88.23±72.66°이었다(*p*=0.285). 이를 파워벡터에 적용하여 산출한 M은 각각 -1.94±0.58 D와 -2.15±0.72 D이었으며(*p*=0.034), J₀는 0.33±0.43 D, 0.48±0.58 D(*p*=0.056), J₄₅는 0.00±0.19 D, 0.02±0.25 D(*p*=0.743), B는 2.01±0.61 D와 2.26±0.79 D(*p*=0.021)로 확인되었다. 근거리 시표가 단안의 정면에 위치한 경우와 양안 중앙에 위치한 경우의 원주굴절력(C)과 M, B는 통계적으로 유의한 차이가 있었다(Table 2).

근거리 시표를 양안 중앙에 위치시킨 상태에서 측정한 굴절이상과 단안 정면에 위치시킨 상태에서 측정한 굴절이상의 차이로 산출한 폭주성 조절은 구면굴절력(S)의 경우 0.01±0.37 D, 원주굴절력(C)은 0.41±0.71 D, 교정 축(Ax, θ)은 13.18±69.58°, 파워벡터 성분 M은 0.21±0.55 D, J₀은 -0.17±0.29 D, J₄₅는 0.08±0.22 D, B는 0.56±0.44 D이었다(Table 3).

근거리 시표를 측정안의 정면에 위치시킨 상태와 원거리 시표를 주시한 상태에서 측정한 굴절이상의 차이로 산출한 근접성 조절을 포함한 반사성 조절은 구면굴절력(S)의 경우 -1.55 ± 0.53 D, 원주굴절력(C)은 -0.72 ± 0.84 D, 교정 축(Ax, θ)은 $-8.00 \pm 79.41^\circ$, 파워벡터 성분 M은 -1.91 ± 0.77 D, J_0 은 0.31 ± 0.43 D, J_{45} 는 0.03 ± 0.16 D, B는 1.97 ± 0.81 D 이었다.

3. 조절성 굴절이상의 변화량과 폭주성 조절량, 근접성 조절을 포함한 반사성 조절량의 비교

조절성 굴절이상의 변화량과 폭주성 조절량을 비교한 결과, 교정 축(Ax, θ)과 J_{45} 를 제외한 구면굴절력(S), 원주굴절력(C), M, J_0 , B 모두 통계적으로 유의한 차이가 있었으며($p < 0.05$), 구면굴절력(S)과 M, B의 경우 폭주성 조절량보다 조절성 굴절이상 변화량이 크게 나타났고, 원주굴절력(C)과 교정 축, J_0 , J_{45} 의 경우 조절성 굴절이상 변화량보다 폭주성 조절량이 큰 값을 갖는 것으로 확인되었다. 그리고 J_{45} 를 제외하고 모든 성분이 양의 상관관계를 보여 폭주성 조절량이 증가할 때 조절성 굴절이상의 변화량도 함께 증가하는 것을 알 수 있었다. 그리고 파워벡터 성분

중 구면굴절력(S)과 교정 축(Ax, θ)은 조절성 굴절이상의 변화와 폭주성 조절량의 상관관계가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다(Table 3).

조절성 굴절이상의 변화량과 근접성 조절을 포함한 반사성 조절량을 비교한 결과, 원주굴절력(C)과 M, J_0 , B는 통계적으로 유의한 차이가 있었으며($p < 0.05$), 모든 성분에서 조절성 굴절이상의 변화량 보다 근접성 조절을 포함한 반사성 조절량이 크게 나타나는 것으로 확인되었다. 그리고 모든 파워벡터 성분이 양의 상관관계를 보여 근접성 조절을 포함한 반사성 조절량이 증가할 때 조절성 굴절이상의 변화량도 함께 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 파워벡터 성분 중 J_{45} 를 제외한 모든 성분에서 조절성 굴절이상의 변화와 근접성 조절을 포함한 반사성 조절량의 상관관계가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다 (Table 4).

근접성 조절을 포함한 반사성 조절량과 폭주성 조절량을 비교한 결과, 교정 축(Ax, θ)과 J_{45} 를 제외한 구면굴절력(S), 원주굴절력(C), M, J_0 , B는 통계적으로 유의한 차이가 있었으며($p < 0.05$), 교정 축(Ax, θ)과 J_{45} 를 제외하고는 모두 폭주성 조절량보다 근접성 조절을 포함한 반사성 조

Table 4. Comparison and correlation of refractive error changes with accommodation and reflex accommodation including proximal accommodation

	Refractive error changes with accommodation	Reflex accommodation	p-value	Correlation r (p-value)
Spherical (D)	-1.54 ± 0.58	-1.55 ± 0.53	0.906	0.785 (0.000)
Cylinder (D)	-0.31 ± 0.59	-0.72 ± 0.84	0.002**	0.549 (0.001)
Ax, θ ($^\circ$)	5.18 ± 83.74	-8.00 ± 79.41	0.285	0.673 (0.000)
M (D)	-1.69 ± 0.70	-1.91 ± 0.77	0.034*	0.723 (0.000)
J_0 (D)	0.13 ± 0.26	0.31 ± 0.43	0.010*	0.538 (0.001)
J_{45} (D)	0.01 ± 0.16	0.03 ± 0.16	0.553	0.305 (0.084)
B (D)	1.72 ± 0.55	1.97 ± 0.81	0.023*	0.696 (0.000)

Reflex accommodation: including proximal accommodation

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p = 0.000$

Table 5. Comparison and correlation of reflex accommodation including proximal accommodation and vergence accommodation

	Reflex accommodation	Vergence accommodation	p-value	Correlation r (p-value)
Spherical (D)	-1.55 ± 0.53	0.01 ± 0.37	0.000***	-0.200 (0.265)
Cylinder (D)	-0.72 ± 0.84	0.41 ± 0.71	0.000***	-0.720 (0.000)
Ax, θ ($^\circ$)	-8.00 ± 79.41	13.18 ± 69.58	0.332	-0.374 (0.032)
M (D)	-1.91 ± 0.77	0.21 ± 0.55	0.000***	-0.486 (0.004)
J_0 (D)	0.31 ± 0.43	-0.17 ± 0.29	0.000***	-0.653 (0.000)
J_{45} (D)	0.03 ± 0.16	0.08 ± 0.22	0.255	0.312 (0.077)
B (D)	1.97 ± 0.81	0.56 ± 0.44	0.000***	0.697 (0.000)

Reflex accommodation: including proximal accommodation

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p = 0.000$

절량이 큰 값을 갖는 것을 확인하였다. 그리고 파워벡터 성분 중 J_{45} 와 B를 제외하고 모두 음의 상관관계를 보여 근접성 조절을 포함한 반사성 조절량이 증가할 때 폭주성 조절량이 감소하는 결과를 보였으며, 구면굴절력(S)와 J_{45} 를 제외한 모든 성분의 상관관계가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다(Table 5).

조절은 4가지 구성 요소로 이루어져 있으며, 이 중 긴장성 조절량은 주시거리 변화나 폭주개입 여부 등과 관계없이 동일하게 발생하는 것으로 알려져 있다. 원거리를 주시할 때에는 긴장성 조절만 개입되지만, 근거리를 주시할 때에는 긴장성 조절과 반사성 조절, 폭주성 조절, 근접성 조절이 모두 개입하게 된다.^[1-3] 이에 본 연구에서는 원거리 주시 시에 비해 근거리 주시 시 발생하는 굴절력 변화를 조절성 굴절이상의 변화로 판정하였으며, 이때 발생한 조절성 굴절이상의 변화는 반사성 조절, 폭주성 조절, 근접성 조절을 포함하게 된다. 만약 동일한 근거리를 주시하더라도 시표가 양안 중앙에 위치하고 있는 상태라면 폭주가 개입되기 때문에 폭주성 조절이 발생하지만, 시표가 단안의 직전방에 위치하고 있는 상태라면 단안의 정면을 주시하고 있는 측정안에는 완벽하게 폭주를 제거하였다고 할 수는 없겠지만 폭주가 거의 개입되지 않은 상태라고 할 수 있다. 그리고 동일한 주시거리를 주시하므로 동일한 양의 반사성 조절과 근접성 조절이 발생하고, 비대칭성 주시로 발생하는 약간의 폭주성 조절만 개입되기 때문에 시표가 양안 중앙에 위치한 상태에서 측정된 굴절이상과 시표가 측정안의 정면에 위치한 상태에서 측정된 굴절이상의 차이 값으로부터 폭주성 조절량을 산출하였다. 다음으로 근거리 시표를 측정안의 정면에 위치시킨 상태와 원거리 시표를 주시한 상태에서 측정된 굴절이상의 차이로 근접성 조절을 포함한 반사성 조절량을 산출하였다. 추가적으로 근거리 시표를 측정안의 정면에 위치시킨 상태는 긴장성 조절, 반사성 조절, 비대칭성 폭주성 조절, 근접성 조절을 포함하고 있고, 원거리 시표를 주시한 상태는 긴장성 조절만 개입된 상태이므로 이 둘의 차이 값으로부터 근접성 조절을 포함한 반사성 조절량을 산출하였다.

원거리와 근거리 시표를 주시한 상태의 굴절이상을 비교한 결과, 본 연구의 대상 모두 원주굴절력 혹은 교정 축이 변화하였으며, 원주굴절력과 교정 축이 동시에 변화하였다. 즉 33안 모두에서 근거리 주시로 난시가 변화하였다. 대상안 중 6안은 원거리 주시 시에는 측정된 굴절이상 중 난시 굴절력을 나타내는 원주굴절력 값이 0.00 D이었지만 근거리 주시 시에는 원주굴절력이 측정되어 원거리 주시 시에는 없었던 난시가 발생하였고, 반대로 2안은 원거리 주시 시 난시가 있었지만 근거리 주시 시 원주굴절력이 0.00 D로 측정되어 난시가 사라졌다. 두 경우 모두

난시가 변화하였으므로 근거리 주시로 인하여 난시가 발생하였다고 할 수 있으며 이러한 결과는 조절로 인해 발생하는 자연스러운 결과이므로 의미가 있다. 하지만 통계적인 한계로 시표 주시거리에 따른 굴절이상의 비교 시에는 이들이 제외되고 산출되고 비교되어 25안의 결과만 포함하고 있다. 또한 시표위치에 따른 비교에는 시표가 양안 중앙에 위치한 경우와 측정안의 정면에 위치한 경우 모두 난시가 없었던 2안의 결과가 제외된 31안의 결과가 산출되고 비교되었다. 본 연구는 이 결과를 기준으로 조절의 구성 요소를 분석하였기 때문에 수학적으로는 완벽하게 처리하지 못하였다는 한계가 있으므로 이러한 점을 명확하게 분석하고 해석할 수 있는 방법에 관한 추가적인 연구가 시행된다면, 난시 변화에 대한 다양한 연구를 실시할 수 있을 것으로 생각된다.

대상자의 연령대 별로 원거리와 근거리의 난시 굴절력의 차이를 개방형 자동안굴절력계를 이용하여 측정하고 비교한 Joo의^[6] 연구 대상자 중 20~24세의 결과에 따르면, 해당 연령대는 원거리에서 직난시, 사난시, 도난시의 난시량이 각각 -1.01 D, -0.57 D, -0.53 D이었으나, 근거리에서 -1.14 D, -0.57 D, -0.60 D로 측정되어 난시안의 종류에 따른 차이가 있었지만, 근거리 주시 시 난시량이 약간 증가한다고 하였다. 그리고 근거리 주시 시 난시 축 회전이 10° 이상 나타나는 경우가 약 52.3%라고 하여^[6] 근거리 주시 시 조절개입으로 인하여 난시가 발생하며 난시의 축도 변화하는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 Lee는^[4] 각각적으로 근거리 굴절이상을 측정된 후 원거리 굴절이상과의 차이로 근거리 주시로 발생한 조절성 난시량을 측정하였다. 그 결과 근거리 주시로 난시량이 증가하는 사람의 비율이 높고, 0.75 D 이상의 변화가 나타난 경우가 9.7%이며, 5° 이상의 축 변화가 나타난 경우가 66.9%라고 하였다. 본 연구에서는 개방형 자동안굴절력계를 이용하여 나안 상태의 원거리와 근거리 굴절이상을 측정된 후, 두 결과의 차이 값으로 근거리 주시로 인해 발생한 조절성 변화인 조절성 굴절이상의 변화를 산출하였다. 그 결과, 본 연구에서도 난시량에 해당하는 원주굴절력(C)이 원거리를 주시할 때 -0.59 ± 0.43 D에서 근거리를 주시할 때 -0.90 ± 0.70 D로 -0.31 ± 0.59 D 변화하였고, 교정 축(Ax, θ)의 경우 $112.84 \pm 76.38^\circ$ 에서 $98.12 \pm 77.90^\circ$ 로 $14.72 \pm 66.13^\circ$ 의 변화를 보여 이상의 선행연구들의^[4-6] 결과와 마찬가지로 근거리 주시 시에 난시량과 교정 축이 변화하여 조절성 난시가 발생하는 것을 확인하였다.

그리고 본 연구의 결과에서 원거리와 근거리의 굴절이상의 차이로 산출한 조절성 굴절이상 변화량은 근거리 주시 시에 발생한 조절레그를 포함한 결과라고 할 수 있다. 조절레그는 조절이 발생할 때 함께 나타나는 자연스러운 현상

이기 때문에 본 연구에서는 조절레그를 포함한 상태에서 발생한 조절성 굴절이상의 변화량과 이를 구성하는 요소(폭주성 조절, 근접성 조절을 포함한 반사성 조절)를 산출하고 결과를 분석하였다. 그 결과 구면굴절력의 경우 -1.54 ± 0.58 D의 변화가 발생하였으며, 이론적으로 발생하는 눈의 조절성 굴절이상(2.50 D)을 배제한다면, 약 0.96 D의 조절성 굴절이상의 변화가 (+) 방향으로 발생하여 굴절력의 단위를 고려할 때 약 4단계 수준의 굴절이상의 변화가 발생함을 확인할 수 있었다. 구면굴절력의 경우 조절레그의 정상범위가 $+0.50 \sim +0.75$ D이므로 본 연구 대상자의 경우 조절레그가 정상 값보다 약 1~2단계 높게 발생하였다고 할 수 있다. 원주굴절력의 경우 약 -0.31 D가 변화하였고, 구면굴절력과 달리 (-) 방향으로 변화하였기 때문에 조절성 굴절이상의 변화 중 등가구면굴절력(M) 값의 변화는 구면굴절력의 변화보다 적게 변화한 효과가 있었다.

선행연구에서는^[1,3] 폭주성 조절량은 폭주각이 약 1 MA 이 변화할 때 약 0.40 D 발생한다고 하였다. 본 연구의 경우 피험자 앞 40 cm에 시표를 위치시키고 측정하였기 때문에 폭주각이 2.5 MA 변화하게 된다. 이때 발생한 폭주성 조절량이 구면굴절력의 경우 0.01 ± 0.37 D, 원주굴절력 0.41 ± 0.71 D, 등가구면굴절력은 0.21 ± 0.55 D로 구면굴절력보다 원주굴절력의 변화가 크게 나타났다. 이를 1 MA의 폭주각 변화 시 발생한 값으로 환산해 본다면, 등가구면굴절력의 경우 약 0.08 D가 변화하였다. 선행연구의^[1,3] 실험 조건이 명확하게 제시되지 않아 직접적인 결과를 비교하기는 어렵지만, 선행연구의 결과와 차이를 보였다.

본 연구의 폭주성 조절량에 관한 분석에서의 시표의 주시거리가 40 cm로 2.5 MA의 폭주자극이 발생하였을 때 발생한 폭주성 조절량을 확인하였다. 그러나 주시거리가 40 cm로 동일하더라도 피험자의 PD(pupillary distance)에 따라 발생한 폭주각(Δ)의 크기가 다를 수 있지만 이러한 부분이 고려되지 않았다는 아쉬움이 있다. 이후에는 이를 고려하여 개입된 폭주량에 따라 발생한 폭주성 조절량과의 상관관계를 분석해보거나, 단위 폭주각 당(1 Δ) 발생하는 폭주성 조절량을 확인하는 연구가 실시된다면 폭주성 조절에 대한 이해에 도움이 될 것으로 생각한다. 그리고 조절성 폭주량과 폭주성 조절량의 관계에 대하여 알아보는 연구를 실시한다면 조절과 폭주의 관계성에 대하여 더욱 심도있게 이해할 수 있을 것으로 생각한다.

근접성 조절을 포함한 반사성 조절과 폭주성 조절량을 비교한 본 연구의 결과 파워벡터의 성분에 따른 차이는 있었지만, 대부분 근접성 조절을 포함한 반사성 조절량이 폭주성 조절량보다 더욱 크게 나타났으며, 조절성 굴절이상의 변화는 폭주성 조절량보다 근접성 조절을 포함한 반사성 조절량과의 상관관계가 모든 성분에서 더욱 높은 결

과를 보였다. 이러한 결과로 조절성 굴절이상의 변화를 구성하는 요소 중 근접성 조절을 포함한 반사성 조절이 높은 비율을 차지하는 것으로 해석할 수 있을 것이다. 그리고 근접성 조절을 포함한 반사성 조절과 폭주성 조절의 각 파워벡터 성분 대부분은 서로 다른 부호를 갖는 반대 방향으로 발생하였으며, 음의 상관관계를 보였다. 하지만 J_{45} 와 B는 근접성 조절을 포함한 반사성 조절과 폭주성 조절 모두 (+) 방향으로 발생한 것이 특징적이었다. 구성 성분 중 원주굴절력의 경우 근접성 조절을 포함한 반사성 조절은 (-) 방향으로 발생하였지만, 폭주성 조절개입으로 (+) 방향으로 발생하여 폭주개입 시에 오히려 원주굴절력이 감소하여 난시가 감소하는 것으로 생각할 수 있다. 또한 파워벡터 중 대각 경선의 벡터 값을 나타내는 J_{45} 는 폭주성 조절량과 근접성 조절을 포함한 반사성 조절량이 약 0.05 D의 차이를 보여 통계적으로 유의한 차이가 없었으나, 수직과 수평 경선의 벡터 값인 J_0 은 약 0.47 D의 차이를 보여 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 이는 눈이 폭주하며 수평방향의 위치 변화가 발생하고, 이로 인하여 수평방향에서의 눈의 굴절력 변화가 더욱 크게 발생한 것으로 생각된다.

본 연구는 순간적으로 근거리 시표를 주시하게 한 상태에서 측정한 결과를 기준으로 발생한 조절성 굴절이상의 변화에 관하여 분석한 결과이다. 선행연구들에서 다양한 종류의 근거리 작업 후 눈의 굴절이상 변화를 측정한 결과, 작업 전에 비하여 작업 후 원거리의 굴절이상이 변화한다고 보고하였다.^[16-20] 이러한 선행연구의 결과를 참고한다면, 일정시간의 근거리 작업 후에는 원거리 굴절이상의 변화가 발생하게 되고, 근거리 주시 시에는 조절성 굴절이상의 변화가 추가로 발생하게 되어 근거리 주시 시 잔여굴절이상이 증가하고, 착용하고 있는 원용안경과 눈의 굴절이상의 오차가 증가하여 교정효과가 더욱 감소할 수 있을 것이다. 이로 인하여 근거리 시력만족도도 감소할 수 있을 것이다. 이러한 점을 고려한다면, 근거리 작업의 시간이 길거나 작업량이 많은 사람의 근용안경 처방에는 더욱 주의가 필요할 것이다. 예를 들어 근거리 작업이 많은 사람의 근용안경 처방 시에는 일정 시간 이상의 근거리 작업을 실시한 후에 굴절검사를 실시하고 처방한다면, 교정효과가 더욱 우수하며 시력만족도가 높은 처방이 가능할 것으로 생각한다.

본 연구에서는 근거리 주시로 발생하는 조절성 굴절이상의 변화를 조절의 구성 요소 개념으로 접근하여 폭주성 조절과 근접성 조절을 포함한 반사성 조절을 파워벡터의 개념을 적용한 후 분석해 보았다. 하지만 본 연구는 폭주성 조절량 산출 시 완벽하게 폭주를 제거하지 못한 점과 반사성 조절과 근접성 조절을 별개로 분석하지 못하였다

는 한계가 있어 본 연구의 결과로 조절의 구성 요소를 정확하게 이해하기에는 부족하다. 그러므로 이후에는 이러한 점을 보완하여 정확한 폭주성 조절량을 측정하는 연구와 함께 긴장성 조절에 관한 연구, 근접성 조절과 반사성 조절을 분류하여 분석해보는 연구, 비대칭성 폭주의 정도에 따라 발생하는 조절량의 차이와 변화에 대한 연구 등 추가적인 연구가 필요할 것이다. 또한 원거리 주시 시 난시에 해당하는 원주굴절력과 교정 축이 없었으나, 근거리에서 발생한 대상자나 반대로 원거리 주시 시에는 난시가 있었지만, 근거리 주시 시 난시가 사라진 대상자들의 경우는 분명히 근거리 주시로 난시의 변화가 발생하였지만 이들의 결과를 산술적으로 정확한 처리와 함께 명확한 해석을 하지 못하였다는 한계가 있기에 이와 관련한 연구도 추가적으로 실행되어야 것이다. 그리고 근거리 주시로 발생하는 난시를 각막난시와 수정체 난시의 변화에 관한 연구도 수행된다면 조절로 인하여 발생하는 눈의 변화에 관한 이해를 높일 수 있을 것으로 생각한다. 그러나 본 연구는 선행연구들에서 그동안 거의 시도하지 않았던 조절성 굴절이상의 변화를 조절의 구성 요소로 나누어 분석하고, 조절의 구성 요소에 관하여 이해하려고 시도해보았다는 점에 의미가 있다고 할 수 있다. 본 연구를 계기로 조절의 구성 요소에 관한 다양한 연구들이 실시되기를 기대한다.

결 론

근거리 주시로 인하여 조절성 굴절이상의 변화가 발생하는 것을 확인하였다. 조절성 굴절이상의 변화를 조절의 구성 요소 개념으로 접근하여 분석한 결과, 동일한 거리에 위치한 물체를 주시하더라도 폭주가 개입될 때 폭주성 조절이 발생하는 것을 확인하였다. 그리고 조절성 굴절이상의 변화는 조절의 구성 요소 중 근접성 조절을 포함한 반사성 조절에 의한 변화가 크게 나타나는 것을 알 수 있었다. 특히, 근거리 주시로 인하여 발생하는 조절성 굴절이상의 변화는 근거리 작업 시 시력에도 영향을 미칠 수 있으므로 근거리 작업이 많은 사람의 안경 처방 시에는 이를 고려한 처방이 필요할 것이다.

REFERENCES

- [1] Kim DH, Kwon OJ, Kim SM, et al. Eye physiology, 5th Ed. Seoul: Edfactory, 2014;27-55.
- [2] Sung PJ. Optometry, 9th Ed. Seoul: Hyunmoonsa, 2018; 55-182.
- [3] Benjamin WJ. Borish's clinical refraction, 2nd Ed. London: Butterworth-Heinemann, 2006;97-98.
- [4] Lee HJ. A study on the accommodative astigmatism of near vision. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2011;16(3):327-331.
- [5] Joo SH, Park SJ. A study for the change and distribution of far sighted and near sighted astigmatism power according to age. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2007;12(2):25-36.
- [6] Joo SH, Sim HS. A study for the change of astigmatism axis when the fixation point moved far distance to near distance. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2007;12(2):47-59.
- [7] Kim J, Yang DJ, Choi DY, et al. Changes in heterophoria and fusional vergence after near work with smartphone and paper book. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2016; 21(4):385-392. DOI: <http://doi.org/10.14479/jkoos.2016.21.4.385>
- [8] Park KJ, Lee WJ, Lee NG, et al. Changes in near lateral phoria and near point of convergence after viewing smartphones. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2012;17(2):171-176.
- [9] Kim SR, Park SY, Yeo HJ, et al. The change of convergence function of convergence insufficiency in their twenties after doing near work using a smartphone. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2018;23(1):47-56. DOI: <http://doi.org/10.14479/jkoos.2018.23.1.47>
- [10] Park M, Ahn YJ, Kim SJ, et al. Changes in accommodative function of young adults in their twenties following smartphone use. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2014; 19(2):253-260. DOI: <http://doi.org/10.14479/jkoos.2014.19.2.253>
- [11] Lee JY, Yu DS, Son JS, et al. The diurnal change of accommodative functions by near work. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2011;16(1):75-81.
- [12] Kim J, Jung WY, Jeong M, et al. Changes in the subjective symptoms and accommodative function after near work in a virtual moving environment. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2019;24(3):267-277. DOI: <http://doi.org/10.14479/jkoos.2019.24.3.267>
- [13] Kim SR, Park MO, Lee SY, et al. The change of accommodative function of vergence anomalies subjects in their twenties after near work with smartphone. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2017;22(1):71-80. DOI: <http://doi.org/10.14479/jkoos.2017.22.1.71>
- [14] Currie DC, Manny RE. The development of accommodation. Vis Res. 1997;37(11):1525-1533. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0042-6989\(97\)85022-5](https://doi.org/10.1016/s0042-6989(97)85022-5)
- [15] Hirani KJ, Firth AY. Convergence accommodation to convergence (CA/C) ratio: stability with different levels of convergence demand. Br Ir Orthopt J. 2009;6:60-64. DOI: <https://doi.org/10.22599/bioj.11>
- [16] Oh SJ. Changes in accommodation function and refractive error after near work. MS Thesis. Kangwon National University, Samcheok. 2019;1-23.
- [17] Owens DA, Wolf-Kelly K. Near work, visual fatigue, and variations of oculomotor tonus. Invest Ophthalmol Vis Sci. 1987;28(4):743-749.
- [18] Ehrlich DL. Near vision stress: vergence adaptation and

accommodative fatigue. *Ophthalmic Physiol Opt.* 1987; 7(4):353-357. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.1987.tb00760.x>

[19] Gang MJ, Choe OM. The investigation of the changes of visual problems in VDT workers. *J Korean Ophthalmic*

Opt Soc. 2002;7(2):33-39.

[20] Kim BH, Han SH, Shin YG, et al. Aided distance visual acuity and refractive error changes by using smartphone. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2012;17(3):305-309.

근거리 주시 시 발생하는 조절성 굴절이상 변화와 조절의 구성 요소에 관한 연구

정수아¹, 김기창², 김현정^{3,*}

¹원광보건대학교 안경광학과, 교수, 익산 54538

²건양대학교 보건복지대학원 안경광학과, 학생, 대전 35365

³건양대학교 안경광학과, 교수, 대전 35365

투고일(2020년 11월 23일), 수정일(2020년 12월 17일), 게재확정일(2021년 3월 17일)

목적: 본 연구는 근거리 주시로 나타날 수 있는 조절성 굴절이상의 변화와 그 구성 요소에 관하여 알아보고자 하였다. **방법:** 개방형 자동안굴절력계(N-Vision K-5001, Shin-Nippon, Japan)를 이용해 원거리(5 m)와 근거리(40 cm) 굴절이상을 측정하였다. 근거리 굴절이상의 경우 조절 자극량에 의한 굴절력 변화를 보정한 후 근거리 주시로 인해 발생한 조절성 굴절이상의 변화를 확인하였다. 근거리 시표를 양안의 중앙에 위치시킨 상태와 단안의 정면에 위치시킨 상태에서 측정한 근거리 굴절이상의 차이 값으로부터 폭주성 조절량을 산출하였다. 조절성 굴절이상의 변화량과 폭주성 조절량의 차이로부터 근접성 조절을 포함한 반사성 조절량을 산출하였다. 그리고 이들을 파워벡터(M, J₀, J₄₅, B)를 적용하여 이들을 비교, 분석하였다. **결과:** 근거리 주시 시 발생한 조절성 굴절이상의 변화, 폭주성 조절, 근접성 조절을 포함한 반사성 조절으로 인하여 각각 구면굴절력(S)은 -1.54 ± 0.58 D, 0.01 ± 0.37 D, -1.55 ± 0.53 D, 원주굴절력(C)은 -0.31 ± 0.59 D, 0.41 ± 0.71 D, -0.72 ± 0.84 D, 교정 축(Ax, θ)은 $5.18 \pm 83.74^\circ$, $13.18 \pm 69.58^\circ$, $-8.00 \pm 79.41^\circ$, M은 -1.69 ± 0.70 D, 0.21 ± 0.55 D, -1.91 ± 0.77 D, J₀는 0.13 ± 0.26 D, -0.17 ± 0.29 D, 0.31 ± 0.43 D, J₄₅는 0.01 ± 0.16 D, 0.08 ± 0.22 D, 0.03 ± 0.16 D, B는 1.72 ± 0.55 D, 0.56 ± 0.44 D, 1.97 ± 0.81 D 변화하였다. **결론:** 근거리 주시 시 조절개입으로 굴절이상의 변화가 발생할 수 있으므로 이를 고려한 처방이 이루어져야 할 것이다. 그리고 근거리 주시 시 폭주 개입으로 폭주성 조절이 발생하는 것을 확인 할 수 있었으며, 조절성 굴절이상 변화는 조절의 구성 요소 중 근접성 조절을 포함한 반사성 조절에 의한 변화가 크게 나타나는 것을 알 수 있었다.

주제어: 조절성 굴절이상 변화, 반사성 조절, 폭주성 조절, 근접성 조절, 파워벡터