

노안에서 조절미세파동의 고 진동수 영역 및 조절래그와 조절력의 관계

The Relationship between the High-Frequency Component of Accommodative Microfluctuation, Accommodative Lag and Accommodative Amplitude in Presbyopic Eyes

주락현¹ · 이동호² · 이도형¹ · 김진형¹

Lock Hyun Ju, MD¹, Dong Ho Lee, MD², Do Hyung Lee, MD, PhD¹, Jin Hyoung Kim, MD, PhD¹

인제대학교 의과대학 일산백병원 안과학교실¹, 빛 사랑 안과의원²

Department of Ophthalmology, Ilsan Paik Hospital, Inje University College of Medicine¹, Goyang, Korea
Bit-Sarang Eye Hospital², Seoul, Korea

Purpose: To determine the relationship between the high-frequency component of accommodative microfluctuation (HFC) and accommodative lag in presbyopic eyes and how they affect the subjective accommodation power with other ophthalmic factors, such as pupil diameter and corneal multifocality.

Methods: Forty subjects (80 eyes) were included in this study, and the non-corrected distance and near visual acuity was measured and then converted to log MAR vision. The addition power for 33 cm near visual work was also measured and the accommodative power was measured by the push-up method. The HFC, accommodative lag and pupil size according to accommodative stimuli (-1.0 to -3.0 D) was measured by Speedy-i Autorefractor (Right Mfg Co., Tokyo). The corneal multifocality and corneal astigmatism was measured by corneal topography (TMS-4; Tomey, Erlangen, Germany).

Results: The mean age was 60.0 ± 4.66 years (51-68) and there were 23 male and 17 female subjects (1.35:1). The HFC and pupil size showed no significant change according to accommodation demand, however, the accommodative lag showed a statistically significant increase ($p < 0.001$ by one-way ANOVA). Accommodative lag (-2.0 D) showed a statistically significant negative correlation with the subjective accommodative power, and the pupil size (0 D) showed a positive correlation with the subjective accommodative power.

Conclusions: In presbyopia patients, the objective accommodative lag and initial pupil size showed a statistically significant relationship with subjective accommodative power. On the other hand, HFC, pupil size and corneal multifocality, alone may not be indicators to predict accommodative power, but these are important components to explain the dynamic aspect of accommodation. J Korean Ophthalmol Soc 2014;55(11):1606-1612

Key Words: Accommodation, Accommodative lag, Accommodative microfluctuation, Corneal multifocality, Pupil size

■ Received: 2014. 5. 31. ■ Revised: 2014. 8. 6.

■ Accepted: 2014. 10. 16.

■ Address reprint requests to **Jin Hyoung Kim, MD, PhD**
Department of Ophthalmology, Inje University Ilsan Paik
Hospital, #170 Juhwa-ro, Ilsanseo-gu, Goyang 411-706, Korea
Tel: 82-31-910-7240, Fax: 82-31-911-7241
E-mail: jhk0924@hanmail.net

조절작용은 섬모체근 수축의 결과로 섬모체소대의 이완이 발생하고 이에 따라 수정체의 곡률이 증가하면서 굴절력을 얻게 된다는 Helmholtz의 이론이 지배적으로 받아들여지고 있다.¹ 많은 연구에서 섬모체근과 섬모체소대, 수정체 이외에도 동공크기, 구면수차, 코마수차, 난시, 각막 다초점성 등의 다양한 요인들이 조절 및 근거리 시력에 영향

을 주는 것으로 보고되고 있다.^{2,4} 노화에 따른 조절기능의 저하로 근거리 작업 시 불편감을 호소하는 노안이 고령화 사회에 따라 사회적 문제로 대두되고 있지만 기존의 조절력 측정은 Push-up 방법 등 피험자의 감각에 의존하는 주관적인 방법이 주를 이루고 있다. 이러한 주관적인 조절력 측정법은 객관성 및 재현성이 떨어지며 초점심도, 시력, 대비감도 등의 영향으로 조절력의 과대평가가 발생한다는 단점이 있다.⁵ 이에 따라 최근에는 자동굴절검사기나 수차계 등을 이용하여 객관적인 조절력 측정을 시도하고 있다.

정지된 사물을 볼 때 조절체계에서는 0.50D 이내의 작은 시간적 변동이 발생하는데 이를 미세파동(microfluctuation)이라 하며 파워 스펙트럼분석 결과 0.6 Hz 이하의 저 진동수 영역, 1.3-2.1 Hz 사이의 고 진동수 영역으로 나뉜다.⁶ 저 진동수 영역은 조절작용의 신경학적인 조절을 반영하고 고 진동수 영역은 섬모체근 및 섬모체소대, 수정체 등의 조절장치에서 발생하는 물리적인 잡음을 반영하는 것으로 여겨진다.⁷ 한 단계의 조절자극이 아닌 여러 단계의 조절자극을 줄 때 조절자극과 반응의 관계를 연구하는 동적 분석에서 고 진동수 영역이 조절의 물리적 측면을 반영하는 것으로 여겨져 비교 분석에 활용되고 있다.^{6,7}

조절레그는 조절반응이 필요한 조절자극보다 적을 때 발생하는 굴절력의 차이이며 정상 안에서도 1.00D 이상의 자극이 주어질 때 발생한다.^{8,9} 이는 조절자극의 크기 및 굴절 이상에 따라 증가하는 양상을 보이며 조절 반응의 객관적인 인자의 하나로 여겨진다.

본 저자들은 50대 이상의 정상안에서 조절미세파동의 고 진동수 영역, 조절레그를 측정하여 그 평균값을 알아보고 노안의 발생과 관계되는 조절력의 변화와 연관성이 있는지 여러 안과지표를 비교하고 조절력과의 관계에 대해 알아보고자 하였다.

대상과 방법

교정시력 1.0 이상의 안과질환이 없는 50대 이상의 40명, 80안을 대상으로 진행하였다. 원추각막이나 각막혼탁 등의 각막질환이 있거나 녹내장, 시력에 영향을 주는 백내장, 망막질환, 과거 안과적 수술 또는 외상의 병력, 콘택트렌즈의 착용, 동공이상, 심한 안검염, 활동성 감염, 건성안 등의 전안부 질환 및 자율신경계에 영향을 미칠 수 있는 약물을 복용하는 환자들은 연구 대상에서 제외하였다.

Snellen 차트를 이용하여 5 m, 33 cm에서 원거리, 근거리 나안시력을 측정하여 logMAR 시력으로 전환하였고 33 cm 근거리 시력 교정에 필요한 가입도수를 측정하여 노안이 있는지를 확인하였다. Speedy-i[®] 자동굴절검사기(Right Mfg

Co., Tokyo)를 이용하여 굴절력을 측정한 후 구면렌즈 대응치에서 -1.0~3.0D까지 1.0D 단위의 조절자극을 주면서 이때 발생하는 조절미세파동의 고 진동수 영역, 조절레그, 동공크기의 변화(가로, 세로)를 중등도 조명 상태(5-15 lux)에서 측정하였다.

고 진동수 영역은 조절자극 각 단계에서 몇 초간 측정한 굴절 값을 해닝 창함수(Hanning window)를 이용한 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform)에 따라 파워스펙트럼 곡선을 그린 후, 1.0-2.1 Hz 영역을 적분한 값으로 HFC값을 구하였다. 조절레그는 각 단계에서 주어진 조절자극과 실제 발생한 굴절력의 차이를 이용하여 측정하였다. 각막지형도(TMS-4; Tomey, Erlangen, Germany)를 이용하여 측정한 동공 크기 내에서의 각막 굴절력 차이를 각막다초점성을 대변하는 지표로 측정하였으며 각막 난시는 Sim K를 이용한 난시 값을 취하였다.

환자의 조절력은 굴절이상을 교정한 후 조절근점을 측정하여 그 역수로 조절력을 측정하는 Push-up method를 이용하였다. 통계학적 분석은 SPSS ver. 16.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)의 one-way ANOVA를 이용하여 조절자극에 따른 변화를 분석하였으며 Pearson correlation을 이용하여 push-up method를 이용한 조절력과의 상관관계를 분석하였다. p 값이 0.05 미만인 경우 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 간주하였다.

결 과

대상자의 평균 60.0 ± 4.66 세(51세-68세)였고 남자와 여자의 비율은 1.35:1이었다. 대상자의 근거리 나안시력은 0.75 ± 0.35 logMAR (0-1.60)이고, 대상안 모두 33 cm 근거리 시력 교정에 $+2.15 \pm 0.04$ D ($+1.50 \sim +3.00$ D)의 가입도수가 필요하여 노안임을 확인하였다. 원거리 나안시력은 0.27 ± 0.36 logMAR (0-2.00)이며 평균 구면렌즈 대응치는 $+0.32 \pm 1.11$ D ($-2.62 \sim +2.50$)였고, Push-up method를 이용한 조절력은 4.51 ± 1.22 D ($+2.10 \sim +7.10$ D), 각막다초점성은 1.52 ± 0.75 D ($+0.61 \sim +3.85$ D)이었다(Table 1). 연령이 증가함에 따라 가입도수도 증가하는 양상을 보였다($p < 0.001$, $r: 0.683$ by Pearson correlation).

Speedy-i를 이용하여 측정한 조절미세파동의 고 진동수 영역은 조절자극 증가에 따라 미세하게 증가하는 양상을 보였으나 유의한 차이를 보이지는 않았고($p = 0.379$ by one-way ANOVA), 조절레그는 조절자극 증가에 따라 통계적으로 유의한 차이를 보였고, 증가하는 양상을 보였다 ($p < 0.001$ by one-way ANOVA, $p < 0.001$ by Scheffe & Bonferroni analysis) (Fig. 1, 2, Table 2). 또한 연령에 따른 고 진동수 영역과 조절레그의 변화량은 유의한 상관관계를 보이지 않았지

Table 1. Baseline characteristics of eyes (n = 80)

	mean \pm SD	Range
Age (years)	60.0 \pm 4.67	51-68
Sex (M:F)	1.35:1	
UCVA-far (log MAR)	0.27 \pm 0.36	0.00-2.00
UCVA-near (log MAR)	0.75 \pm 0.35	0.00-1.60
Sphere (diopter)	+0.67 \pm 1.11	-2.00 ~ +3.00
Cylinder (diopter)	-0.67 \pm 0.53	-1.75 ~ 0.00
SE (diopter)	+0.32 \pm 1.11	-2.63 ~ +2.50
Add power* (diopter)	+2.15 \pm 0.04	+1.50 ~ +3.00
Corneal multifocality (diopter)	1.52 \pm 0.11	+0.23 ~ +3.23
Corneal astigmatism (sim K) (diopter)	-0.76 \pm 0.74	-3.85 ~ -0.61
Accommodative power by push-up method (diopter)	4.50 \pm 1.22	2.10-7.10

UCVA = uncorrected visual acuity; SE = spherical equivalent; SimK = simulated keratometry.

*Lens addition power for 33 cm near vision by progressive plus lens addition method.

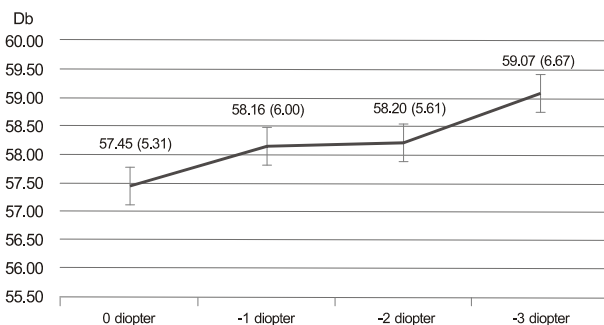


Figure 1. The high-frequency component (HFC) of microfluctuation according to accommodative demand. There was no significant change in HFC according to stimulus ($p = 0.379$ by one-way ANOVA). Db = decibel.

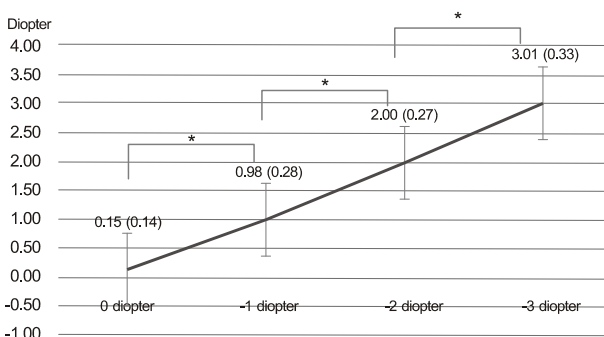


Figure 2. The accommodative lag according to accommodative demand. There was a significant increase in accommodative lag according to stimulus ($p < 0.001$ by one-way ANOVA). * $p < 0.001$ by Scheffe & Bonferroni analysis.

만 연령이 증가할수록 조절자극에 따른 고 진동수 영역의 변화량은 감소하는 양상을 보이고 조절래그의 변화량은 증가하는 양상을 보였다(HFC at all accommodative stimulus: $p > 0.05$, $r < 0.00$, accommodative lag at all accommodative stimulus: $p > 0.05$, $r > 0.00$ by Pearson correlation c age).

조절자극이 없을 때의 동공크기는 X축 4.31 ± 0.89 mm

Table 2. High-frequency component (HFC) of accommodation and accommodation lag according to accommodation stimuli

Stimulus (diopter)	HFC (dB)	Accommodative lag (diopter)
0.0	57.45 \pm 5.31	0.15 \pm 0.14
-1.0	58.16 \pm 6.00	0.98 \pm 0.28
-2.0	58.20 \pm 5.61	2.00 \pm 0.27
-3.0	59.07 \pm 6.67	3.01 \pm 0.33

Values are presented as mean \pm SD; HFC: high-frequency component of accommodative microfluctuation; There was no significant change in HFC according to stimulus but, the accommodative lag showed a significant increase.

Table 3. Pupil size according to accommodation stimuli

Stimulus (diopter)	Horizontal size (X) (mm)	Vertical size (Y) (mm)
0.0	4.31 \pm 0.89	4.27 \pm 0.82
-1.0	4.26 \pm 1.03	4.17 \pm 0.93
-2.0	4.26 \pm 1.10	4.09 \pm 0.93
-3.0	4.30 \pm 1.11	4.09 \pm 0.94

Values are presented as mean \pm SD; There was no significant change in pupil size according to stimulus, but the vertical axis showed more continuous constriction rather than horizontal as a result of near complex.

(2.50-6.70 mm), Y축은 4.27 ± 0.83 (2.50-6.00)이었으며 연령이 증가할수록 감소하는 양상을 보였지만 통계적으로 유의하지는 않았다(Pupil size (X, Y) at all accommodative stimulus: $p > 0.05$, $r < 0.00$ by Pearson correlation c age). 이후 조절 자극에 따른 동공크기의 변화는 조절자극이 증가할수록, 연령이 증가할수록 가로 축 크기는 변화가 없고 세로 축 크기가 감소하는 양상을 확인할 수 있었다(Fig. 3, Table 3). 그러나 통계적으로 유의한 변화는 아니었고 동공 크기 변화량도 연령이나 조절자극과 유의한 관계를 보이지 않았다(pupil size 변화량 (X, Y): $p > 0.05$ by Pearson correlation c age or accommodative stimulus).

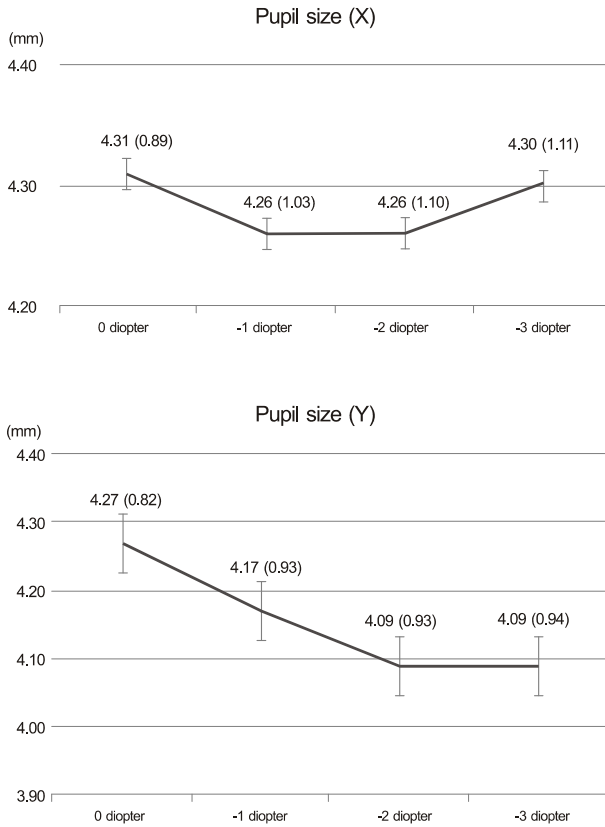


Figure 3. The pupil size according to accommodative demand. There was no significant change in pupil size according to stimulus, but the vertical axis showed more continuous constriction rather than horizontal as a result of near complex.

각막다초점성과 각막난시 각각은 연령 증가에 따라 감소하고 가입도수, 근거리 logMAR 나안 시력과 음의 상관관계를 보였지만 통계적으로 유의하지는 않았으며 각막다초점성과 각막난시 사이에는 통계적으로 유의한 양의 상관관계를 보였다($p < 0.001$, $r = 0.865$ by Pearson correlation).

push-up method를 이용해 측정한 조절력과의 상관관계 분석에서 -2.0D 조절자극을 줄 때 발생한 조절레그는 통계적으로 유의한 음의 상관관계($p < 0.001$, $r = -0.406$ by Pearson correlation), 조절자극이 없을 때의 동공크기(x, y)와는 유의한 양의 상관관계를 보였으며(X: $p = 0.001$, $r = 0.365$, Y: $p = 0.007$, $r = 0.301$ by Pearson correlation) 그 외 연령, 성별, 구면렌즈 대용치, 근거리 및 원거리 나안시력, 미세파동의 고 진동수 영역 및 변화량, 조절레그와 동공크기 변화량, 각막다초점성과 각막난시 등의 인자들은 유의한 상관관계를 보이지 않았다(Table 4).

고 찰

조절력은 나이가 들어감에 따라 10년에 2.5D의 점진적인

Table 4. Pearson correlation analysis for accommodative power and other independent variables

	Correlation coefficients	p-value* ($p < 0.05$)
Age (years)	0.214	0.061
Sphere	-0.207	0.066
Cylinder	-0.032	0.776
SE	-0.208	0.064
0.0 D HFC	-0.105	0.355
-1.0 D HFC	0.028	0.806
-2.0 D HFC	-0.047	0.678
-3.0 D HFC	-0.022	0.847
0.0 D accommodative lag	-0.134	0.238
-1.0 D accommodative lag	0.011	0.925
-2.0 D accommodative lag	-0.406	$< 0.001^\dagger$
-3.0 D accommodative lag	0.065	0.565
UCVA (far)	0.202	0.073
UCVA (near)	-0.181	0.109
0 D pupil size x	0.365	0.001^\dagger
0 D pupil size y	0.301	0.007^\dagger
-1.0 D pupil size x	0.161	0.154
-1.0 D pupil size y	0.088	0.440
-2.0 D pupil size x	0.060	0.600
-2.0 D pupil size y	-0.050	0.658
-3.0 D pupil size x	0.109	0.336
-3.0 D pupil size y	0.068	0.552
Sim K	-0.206	0.100
Corneal multifocality	-0.175	0.223

SE = spherical equivalent; D= diopter; HFC = high-frequency component of accommodative microfluctuation; UCVA = uncorrected visual acuity; SimK = simulated keratometry.

*Pearson correlation analysis; † -2.0 D accommodative lag showed a statistically significant negative relationship between the accommodative power and pupil size (0 D) showed a positive relationship between the accommodative power.

선형 감소를 보이며 50-55세에 이르러 조절력을 완전히 상실하게 되어 노안이 발생한다.^{10,11} 이러한 노안의 진행은 15세에서 45세 사이에 진행하며 섬모체근, 섬모체소대, 수정체, 수정체낭 등 관련 조직들의 변화에 따라 수정체가 필요한 굴절력을 발휘하지 못하여 망막에 불명확한 상이 맺히게 된다. 이론적으로 노안 군에서의 조절력은 0D이지만 동공크기, 난시, 코마 및 구면 수차 등에 의한 초점심도의 증가로 주관적인 방법에 의한 조절력 측정에서는 1.0-2.0D의 조절력이 측정된다.⁵ 본 연구에서 포함된 50대 이상의 대상자들을 모두 근거리 시력 저하와 가입도수가 필요한 임상적 노안을 보였지만, push-up method를 이용해 측정한 조절력의 평균은 4.50 ± 1.22 D로 Duane¹²이 50대 이상 평균 조절력 약 2.0D보다 높은 값을 보이고 있다. 이는 대상안의 안과적 특성에 따라 주관적 조절력이 다르게 나타날 만큼 다른 요소들의 작용이 차지하는 부분이 크다는 것을 시사한다. 따라서, 순수한 섬모체근, 섬모체소대, 수정체, 수정

체나 등 관련 조직들의 변화 정도를 측정하는 객관적인 조절력을 측정하는 지표로 미세파동의 개념과 조절레그가 관심을 받고 있다.

그러나, 기존의 조절미세파동 변화와 조절레그의 수치화는 적외선 굴절계나 자동굴절검사기 등의 장비를 연속적인 조절력 측정이 가능하게 재구성하여 사용하는 방법이 대부분이었으며 또한 미세파동의 아날로그 신호를 다시 프로그램을 이용하여 재구성하는 번거로움이 있어 연구에 어려움이 많았다.^{6,7,9} Speedy-i는 조절 자극을 달리하여 고 진동수 영역과, 조절레그, 동공크기의 변화를 동시에 측정하여 자동으로 수치화하므로 이런 지표들과 조절력과의 상관관계를 연구해 볼 수 있는 유용한 기계로 판단된다. 따라서, 본 연구에서 이를 이용한 객관적인 조절과 연령 및 다른 안과적 지표들과의 연관성을 살펴보고 주관적인 조절력에 기여하는 바도 분석해 보았다. 노안에서 미세파동의 고 진동수 영역과 조절레그를 측정하여 조절력과의 관련성을 발표한 연구는 본 연구가 처음인 것으로 안다.

미세파동의 개념은 50여 년 전 Fourier analysis를 이용해 처음으로 명시되었으며 조절 시 발생하는 미세파동은 고 진동수 영역과 저 진동수 영역으로 나뉜다.⁶ 고 진동수 영역은 “plant noise”로 명명되며 동맥파동 및 호흡의 영향을 받는 것으로 보고되며 저 진동수 영역은 동공크기 및 표적 밝기의 감소에 따라 증가하는 양상으로 보여 조절작용에서 신경학적 조절 및 피드백에 관련 있는 것으로 여겨진다.^{7,13,14} 이에 따라 조절의 물리적인 작용으로 여겨지는 고 진동수 영역은 조절력의 중간 값에서 최대값을 보이고 그 이상의 자극에서는 감소하는 양상을 보이는 반면 저 진동수 영역은 지속적인 증가를 보인다.¹⁵ 또한 미세파동과 수정체에 대한 연구에서 수정체 주변부에서 중심부로 갈수록 미세파동의 크기는 줄어들지만 고 진동수 영역과 저 진동수 영역의 파워스펙트럼은 비슷한 모양을 보이므로 고 진동수 영역이 비록 적은 양일이라도 수정체 중심부의 생리적 리듬 변화를 반영하는 것으로 생각한다.¹⁶

본 연구에 포함된 모든 대상은 33 cm 근거리 작업에 돋보기 도수가 필요하였으므로 임상적으로 노안상태임을 알 수 있었다. 이들은 조절자극이 증가하더라도 고 진동수 영역의 유의한 차이를 보이지 않았으므로 조절 반응이 저하되어 있음을 알 수 있었는데, 이러한 반응저하의 정도는 통계적으로 유의하지는 않으나 연령이 증가함에 따라 더욱 심해지는 경향을 보였다. 즉 고령일수록 조절작용 시 발생하는 plant noise가 적어지며 이에 따라 조절력의 저하도 함께 오는 것으로 생각한다. 또한 노화에 따라 섬모체근의 종주근과 방사근은 근섬유가 감소하면서 결합조직으로 대체되지만 윤상근은 근섬유의 증가를 보여 전체 근수축력에는

차이가 없음에도 불구하고⁵ 50대 이상에서 고 진동수 영역의 반응이 저하된 것은 고 진동수 영역이 단순히 섬모체근의 작용으로만 발생하는 것이 아니라 섬모체소대 및 수정체의 변화가 깊게 관련 있을 가능성을 제시하며, 더불어 노안 발생에 물리학적 요인에 이들의 기여도가 크다는 것을 시사한다.

본 연구에서 각 조절자극에서 발생한 미세파동의 고 진동수 영역과 그 변화량은 push-up method를 통해 측정한 조절력과도 통계적으로 유의한 상관관계를 보이지 않았다. 일부 연구에서 수정체의 굴절력 변화와 조절미세파동의 저 진동수 영역과의 연관성이 제기되고 있지만 고 진동수 영역과의 관계에 대해서는 명확히 밝혀진 바가 없다.^{17,18} 또한 33 cm 근거리 작업 시 필요한 가입도수는 연령과 조절레그의 증가에 따라 통계적으로 유의하게 증가하지만(age: $r=0.683$, $p<0.001$, lag: $r=0.295$, $p=0.008$ by Pearson correlation) 고 진동수 영역의 변화와는 통계적으로 유의하지 않았으나 감소하는 경향을 보인다. 이는 잘 알려져 있는 것처럼, 실제 환자의 근거리 시력저하를 대변하는 지표인 돋보기 도수는 객관적인 수정체-섬모체근-섬모체소대 복합체의 물리적 조절력에 의해서만 결정되는 것이 아니라는 것을 명백히 보여준다. 따라서 노안환자에서 측정된 주관적인 조절력은 실제 조절 작용에 의한 굴절력 변화뿐만 아니라 초점심도나 고위수차등의 다른 요인이 더 크게 작용할 것으로 추정된다.

조절레그는 필요한 조절력에 조절반응이 따라가지 못해 발생하는 조절이상을 나타내며 이에 따라 망막에 선명한 상이 맺히지 못하게 되지만 정상인의 경우 초점심도의 범위를 넘지 않기 때문에 상의 흐림을 인지하지 못하는 현상으로 나타난다. 조절레그의 중요성은 어린 근시 환아들의 경우 정시 환아에 비해 조절반응이 떨어지기 때문에 근거리 주시에서보다 큰 조절레그가 발생하며 이에 따른 선명하지 못한 망막상이 안축장의 성장 및 근시의 진행을 유발하는 요인이라는 주장으로 연결되고 있다.^{19,20} 본 연구에서 조절자극에 따라 조절레그는 통계적으로 유의하게 증가하여 노안의 한 지표로 사용할 수 있음을 보여 주며, -2.0D 조절자극에서의 조절레그가 push-up method를 통해 측정한 조절력과 유의한 음의 상관관계를 보였다($p<0.001$, $r=-0.406$ by Pearson correlation). 위조절(pseudoaccommodation)의 범위로 알려져 있는 1-2D 이상의 조절자극에서 발생하는 조절레그가 push-up method를 통해 측정한 조절력과 유의한 상관관계를 보인 것은 위조절력을 넘어서 조절자극에서 노안 군의 조절력 저하상태를 보여주며 이는 조절레그가 노안 환자의 주관적인 조절력을 반영해 주는 객관적인 조절 지표로 쓰일 수 있다는 임상적 유용성이 있음을 보여준다.

한 연구에서 조절레그가 구면수차와 함께 근거리 작업에서보다 좋은 망막 상을 얻는 데 작용한다고 주장하였지만 이는 노안 이전의 성인을 대상으로 한 연구였으며 조절레그 모두 1.0D 이하의 작은 값만 발생하였다.²¹ 본 연구의 대상은 노안 군으로 판단되는 50대 이상이었으며 -2.0D 이상의 조절자극에서 측정된 조절레그는 1.0D 이상의 값이 포함되었으므로 조절레그에 의한 시각 체계의 조정작용을 넘어서 조절이상이 발생하였거나 노안환자에서는 적절한 조정작용이 일어나지 않는 것으로 추정할 수 있다. 따라서 조절레그는 근거리 주시에서 시각체계의 조절을 통해 보다 좋은 상을 제공할 수 있을지도 모르지만 조절레그가 없는 상황에서의 망막 상이 보다 선명하게 맺히는 것은 분명한 사실이며 조절레그 단독으로 조절력을 추정하기보다는 위 조절에 작용하는 다른 인자들과의 상관관계에 중점을 두어 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각한다.

동공 크기에 따른 조절력의 변화에 대해서는 아직까지 논란이 많다. 동공크기가 2.5 mm 이하에서는 동공크기의 감소에 따라 초점심도의 증가를 보여 근거리 시력에 영향을 주지만 2.5 mm 이상에서는 초점심도에 큰 영향을 끼치지 못하는 것으로 알려졌다.^{22,23} 본 연구에서 동공크기는 연령 증가와 조절자극에 따라 감소하는 양상을 보였지만 통계적으로 유의하지 않았으며 push-up method를 통해 측정된 조절력과도 유의한 상관관계를 보이지 않았다. 본 연구 대상 군들의 동공크기는 최대 조절자극인 -3.0D 에서도 모두 2.5 mm 이상의 동공크기를 보였기 때문에 초점심도에 영향을 끼치지 않아 push-up method를 통해 측정한 조절력과의 유의한 상관관계를 나타내지 못한 것으로 생각한다. 이에 반해 조절 자극이 없을 때의 동공크기는 조절력과 통계적으로 유의한 양의 상관관계를 보였다(X: $p=0.001$, $r=0.365$, Y: $p=0.007$, $r=0.301$, by pearson correlation). 동공 크기 감소에 따른 초점심도의 변화보다 오히려 각막다초점성 및 구면수차의 증가에 따라 큰 동공이 근거리 시력에 유리하다는 주장도 있는데, 이 주장은 본 연구의 결과와 어느 정도 일치한다.²

각막다초점성과 각막난시 각각은 고령일수록 감소하고 가입도수, 근거리 logMAR 나안 시력과 음의 상관관계를 보였지만 통계적으로 유의하지는 않았으며 둘 사이에는 통계적으로 유의한 양의 상관관계를 보였다. 하지만 두 인자 모두 push-up method를 통해 측정한 조절력과는 유의한 상관관계를 보이지는 않았다. 과거 다른 연구에서 각막다초점성은 동공 크기 내에서 굴절범위를 넓게 하여 노안환자에서 근거리 시력에 도움을 주는 것으로 보고되지만, 이들 연구는 위수정체안이나 굴절교정 수술을 받은 환자를 대상으로 진행하였으며 5.0D 이상의 높은 각막다초점성 평균값

을 보였다.²³ 따라서 본 연구는 50대 이상의 정상안을 대상으로 진행하였으며 측정된 각막다초점성도 평균 1.52D에 불과하기 때문에 push-up method를 통해 측정한 조절력과 유의한 상관관계를 보이기에 한계가 있었을 것으로 생각한다. 하지만 각막다초점성이 높을수록 근거리 나안시력이 좋아지고 가입 도수가 낮아지는 양상을 볼 때 위수정체안에서 조절력과의 상관관계에 대해서는 보다 많은 노안환자를 대상으로 시행한 연구가 필요할 것으로 생각한다.

요약하면, 50대 이상의 노안군에서는 조절자극에 따른 조절 미세파동의 고 진동수 영역의 증가는 보이지 않았으며 조절 반응 감소에 따른 조절레그의 유의한 증가를 보였다. 주관적 조절력과 유의한 상관관계를 보인 것은, -2.0D 조절자극에서의 조절레그와 조절 자극이 없을 때의 동공크기였으며, 그 외 고 진동수 영역 및 각막다초점성 등은 유의한 상관관계를 보이지 않았다. 본 연구는 노안환자만을 대상으로 진행한 연구이기 때문에 제한점이 있지만 통계적으로 유의한 결과를 보이지 않은 인자들도 조절력을 추정하는 인자로서 의미가 없는 것이 아니라 젊은 사람들과의 비교연구를 통해 노안을 예측할 수 있는 인자인지 여부를 확인해야 되며 저자들은 현재 이러한 비교 연구도 진행 중이다. 고 진동수 영역과 조절레그, 동공크기 및 각막다초점성 모두 조절력을 결정하는 단독인자로서는 연관성이 떨어지지만 조절자극의 변화에 따른 조절의 동적 양상을 파악하고 이상여부를 확인하는 요소로는 활용할 수 있을 것으로 생각한다.

또한 정상안에서 측정한 이 지표들의 측정값이 향후 이에 대한 연구들에서 연령을 고려한 정상치를 판별하는 기준치가 될 수 있을 것으로 기대하며, 연령에 따른 측정치의 변화와 인공수정체 삽입술을 시행한 눈에서의 조절자극의 변화에 따른 조절의 동적 양상을 파악하고 이상여부를 확인하는 요소로 활용하는 연구 등이 앞으로 더 필요할 것이다.

REFERENCES

- 1) von Helmholtz H. Über die accommodation des auges. Archiv Ophthalmol 1855;1:1-89.
- 2) Fukuyama M, Oshika T, Amano S, Yoshitomi F. Relationship between apparent accommodation and corneal multifocality in pseudophakic eyes. Ophthalmology 1999;106:1178-81.
- 3) Kamiya K, Kawamorita T, Uozato H, et al. Effect of astigmatism on apparent accommodation in pseudophakic eyes. Optom Vis Sci 2012;89:148-54.
- 4) Nishi T, Nawa Y, Ueda T, et al. Effect of total higher-order aberrations on accommodation in pseudophakic eyes. J Cataract Refract Surg 2006;32:1643-9.
- 5) Leonard Levin, Siv Nilsson, James Ver Hoeve, et al. Accommodation. In: Adrian Glasser, ed. Adler's Physiology of the EYE, 11th

- ed. Elsevier Saunders, 2011; chap. 3.
- 6) CAMPBELL FW, ROBSON JG, WESTHEIMER G. Fluctuations of accommodation under steady viewing conditions. *J Physiol* 1959;145:579-94.
- 7) Gray LS, Winn B, Gilmartin B. Accommodative microfluctuations and pupil diameter. *Vision Res* 1993;33:2083-90.
- 8) Morgan MW. Accommodation and its relationship to convergence. *Am J Optom Arch Am Acad Optom* 1944;21:183-95.
- 9) Nakatsuka C, Hasebe S, Nonaka F, Ohtsuki H. Accommodative lag under habitual seeing conditions: comparison between adult myopes and emmetropes. *Jpn J Ophthalmol* 2003;47:291-8.
- 10) Koretz JF, Kaufman PL, Neider MW, Goeckner PA. Accommodation and presbyopia in the human eye--aging of the anterior segment. *Vision Res* 1989;29:1685-92.
- 11) Ostrin LA, Glasser A. Accommodation measurements in a pre-presbyopic and presbyopic population. *J Cataract Refract Surg* 2004;30:1435-44.
- 12) Duane A. Normal values of the accommodation at all ages. *J Am Med Assoc* 1912;59:1010-3.
- 13) Collins M, Davis B, Wood J. Microfluctuations of steady-state accommodation and the cardiopulmonary system. *Vision Res* 1995;35:2491-502.
- 14) Gray LS, Winn B, Gilmartin B. Effect of target luminance on microfluctuations of accommodation. *Ophthalmic Physiol Opt* 1993;13:258-65.
- 15) Toshida K, Okuyama F, Tokoro T. Influences of the accommodative stimulus and aging on the accommodative microfluctuations. *Optom Vis Sci* 1998;75:221-6.
- 16) Winn B, Pugh JR, Gilmartin B, Owens H. The frequency characteristics of accommodative microfluctuations for central and peripheral zones of the human crystalline lens. *Vision Res* 1990;30:1093-9.
- 17) Schultz KE, Sinnott LT, Mutti DO, Bailey MD. Accommodative fluctuations, lens tension, and ciliary body thickness in children. *Optom Vis Sci* 2009;86:677-84.
- 18) van der Heijde GL, Beers AP, Dubbelman M. Microfluctuations of steady-state accommodation measured with ultrasonography. *Ophthalmic Physiol Opt* 1996;16:216-21.
- 19) Gwiazda J, Thorn F, Bauer J, Held R. Myopic children show insufficient accommodative response to blur. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1993;34:690-4.
- 20) Nakatsuka C, Hasebe S, Nonaka F, Ohtsuki H. Accommodative lag under habitual seeing conditions: comparison between myopic and emmetropic children. *Jpn J Ophthalmol* 2005;49:189-94.
- 21) Buehren T, Collins MJ. Accommodation stimulus-response function and retinal image quality. *Vision Res* 2006;46:1633-45. Epub 2005 Jul 22.
- 22) Campbell FW. The depth of field of the human eye. *Optica Acta* 1957;4:157-64.
- 23) Westheimer G. Pupil size and visual resolution. *Vision Res* 1964;4:39-45.

= 국문초록 =

노안에서 조절미세파동의 고 진동수 영역 및 조절래그와 조절력의 관계

목적: 노안이 있는 눈에서 조절미세파동의 고 진동수 영역(High-Frequency Component of Accommodation, HFC)과 조절래그(Accommodative lag)를 측정하여 주관적 조절력과의 관계를 알아보려고 하였다.

대상과 방법: 안과질환이 없는 50세 이상 40명 80안의 정상안을 대상으로 33 cm 근거리 나안시력과 근거리 교정에 필요한 가입도수를 측정하여 노안을 확인하고, push-up method를 이용한 조절력을 측정하였다. Speedy-i[®] 자동굴절검사기를 이용하여 굴절력, 조절 자극에 따른 미세파동의 고 진동수 영역과 조절래그, 동공크기의 변화를 측정하였고, 각막지형도를 이용하여 각막다초점성과 각막 난시를 측정하여 조절력과의 연관성을 알아보았다.

결과: 대상자의 평균 나이는 60.0 ± 4.66세(51-68세)였고 남자와 여자의 비율은 1,35:10이었다. HFC 및 동공크기는 조절자극 증가에 따라 유의한 변화를 보이지 않았으나 조절래그는 통계적으로 유의한 증가를 보였다($p < 0.001$ by one-way ANOVA). Push-up method를 이용한 조절력과의 상관관계 분석에서 -2.0D 조절자극에서의 조절래그는 통계적으로 유의한 음의 상관관계, 동공크기는 양의 상관관계를 보였으나 그 외 인자들은 유의한 상관관계를 보이지 않았다.

결론: 노안 연령에서 객관적 지표인 조절래그와 초기 동공크기가 주관적인 조절력을 추정하는 유의한 지표로 사용될 수 있음을 보였으며 그 외 HFC 및 동공 크기, 각막다초점성도 조절력을 결정하는 단독인자는 아니지만 조절의 동적 관계를 이해하는 데 좋은 인자로 사용될 것으로 생각한다.

〈대한안과학회지 2014;55(11):1606-1612〉