



Objective Evaluation of Asthenopia Using Accommodative Microfluctuation in the High-Frequency Region

Park Sun-Mi and Lee Hyun Mee*

Dept. of Optometry & Vision Science, Catholic University of Daegu, Institute for Eye-functional Promotion, Gyeongbuk 38430, Korea

(Received November 9, 2018; Revised November 30, 2018; Accepted December 6, 2018)

Purpose: To investigate the objective evaluation of accommodative asthenopia using the accommodative response and accommodative microfluctuation in the high-frequency region. **Methods:** A total of 44 eyes of 22 subjects (mean age, 22.59±1.92 years) were included in this study. An automatic refractometer (Speedy-i K-model), Opto Ruler, and flipper were used. **Results:** The equivalent spherical refractive power, amplitude of accommodation, and accommodative facility of the subjects were -2.91±2.64 D, 9.83±1.32 D, and 14.6±3.47 cycles/min, respectively. When the change in accommodative stimuli was +0.50 D to -3.00 D, the size of the accommodative response changed by 0.04 D to -1.12 D. The size of the accommodative response to accommodative stimuli increased by 16.0–37.3%. The frequency of accommodative microfluctuation increased to 58.16–62.83 dB as the amount of accommodative stimuli. When the accommodative stimuli were -2.50 D and -3.00 D, the accommodative microfluctuation in the high-frequency region increased by more than 60 dB. The greater the myopia, the more negative was the correlation observed between the amount of accommodative response and accommodative microfluctuation. **Conclusions:** As accommodative stimuli increased, accommodative response, the frequency of accommodative microfluctuation increased. Therefore, the accommodative microfluctuation can be used to estimate asthenopia objectively. Accommodative microfluctuation can be useful for objectively evaluating accommodative asthenopia.

Key words: Accommodative microfluctuation, Amplitude of accommodation, Accommodative response, Accommodative stimuli, Asthenopia

서 론

최근 컴퓨터와 스마트폰 등과 같은 근거리 작업의 증가로 인해 굴절이상과 안정피로를 호소하는 사람이 늘어나고 있다.^[1]

장시간의 근거리 작업은 조절과 폭주의 불균형, 조절력 감소 등의 원인이 되어 안정피로(asthenopia, eyestrain)를 유발하여 눈에 지속적인 부담을 주게 된다.^[2,3] 안정피로는 눈이 쉽게 피로하고, 국소적으로 눈의 아픔, 침침함, 눈부심, 충혈, 눈물흘림 등의 증상으로서 최근에는 노안에서 뿐 만 아니라 20, 30대 젊은 층에서도 안정피로를 느끼는 경우가 증가하고 있다.^[4,5]

안정피로를 원인별로 분류하면, 눈에서 기인된 조절성, 근육성, 증후성, 부등상시성 안정피로와 내부 환경에 기인된 전신질환과 신경성 안정피로 등이 있다. 특히 외부환경 인자가 추가로 영향을 미칠 경우에는 안정피로는 더욱 가

속화되어 나타난다.

조절로 인한 안정피로는 누진가입도 렌즈를 착용함으로써 조절기능이 개선되고 근거리 작업 시 피로감이 감소되었다고 보고하였다.^[6,7] 근육성 안정피로에 관한 연구는 사위를 가진 근시안에서 안정피로를 호소하는 사람들이 많았으며 융합여력이 안정피로와 연관성을 나타내었다.^[8,9]

안정피로에 관한 연구가 다양한 방법으로 이루어지고 있다. 안정피로에 대한 대부분의 연구는 주관적인 판단이 강한 피검자의 설문에 의존하여 평가하는 방법이 사용되었다.^[10,11] 주관적 판단에 의존하는 방법은 평가 요소가 개인 및 주위환경 변화에 따라 동일한 자극에도 서로 다른 반응을 보일 수 있으므로 안정피로도의 평가에 대한 일관성이 떨어진다. 이로 인하여 객관적 평가방법으로 컴퓨터 작업 후의 눈물 막 파괴시간, 작업 중 눈 깜박임 횟수, 눈 깜박임 간격시간, 구결막 충혈 정도, 안구 표면 온도측정 등을 통하여 피로정도를 평가하는 방법이 제시되었다.^[12,13] 안

*Corresponding author: Lee Hyun Mee, TEL: +82-53-850-2552, E-mail: hmlee@cu.ac.kr

정피로에 대한 객관적인 검사방법으로 양안 개방형 자동 굴절검사기나 수차계를 이용하여 주시거리로 조절 자극량을 변화시켜 조절반응량을 측정하여 조절기능을 판단하는 방법이 제시되고 있다.^[14,15]

최근에는 자동굴절검사기나 수차계를 이용하여 객관적인 조절기능 측정을 시도하고 하고 있으며 그 중 하나가 조절미세파동의 연구다. 조절미세파동은 정지된 사물을 볼 때 조절 체계에서 0.5 D단위의 조절자극에 대한 조절반응이 일어날 때 생긴다. 조절미세파동은 0.6 Hz이하의 저진동수 영역과 1.3~2.1 Hz의 고진동수 영역으로 나뉜다.^[16] 저진동수 영역은 조절작용의 신경학적인 조절을 반영하고 심장박동 즉 맥박의 영향을 받는다. 고진동수 영역은 섬모체근 및 섬모체띠, 수정체 등의 조절에 기여하는 장치에서 발생하는 물리적인 잡음을 반영한 것이라고 여겨진다.^[17] 이와 관련하여 조절미세파동과 조절기능과의 연관성에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있다.^[18,19] 조절미세파동에 대한 이전의 연구를 보면 조절경련에 의한 눈의 피로를 가진 사람들은 표적을 보고 있음에도 불구하고 섬모체근이 활발하게 움직인다는 것을 조절미세파동의 스펙트럼파워 값으로 알 수 있다. 즉 안정피로가 있는 피검자의 고진동수 영역 조절미세파동의 스펙트럼파워는 일반적인 피검자의 고진동수영역 조절미세파동의 스펙트럼파워 진동수에서 높은 진동수를 보였다. 안정피로 상태에 있는 피검자들의 고진동수영역 조절미세파동에서의 스펙트럼파워는 높은 수치를 나타내며, 일반적인 피검자의 경우는 낮은 값으로 나타났다. 이는 안정피로를 가진 피험자는 먼 거리의 물체를 볼 때에도 수정체근육이 충분히 이완되지 않았다는 것을 의미한다.^[20] 저진동수 영역의 조절미세파동은 동공지름의 변화와 관계가 있으며 시각적 초점심도와 관련이 있다는 연구도 있다.^[21] 고진동수 영역과 조절래그, 동공크기 및 각막다초점성 모두 조절력을 결정하는 단독인 자로서는 연관성이 떨어지지만 조절자극의 변화에 따른 조절의 동적 양상을 파악하고 이상여부를 확인하는 요소로 활용가능하다.^[22]

지금까지 조절미세파동에 대한 연구는 있으나 조절자극이 조절반응과 조절미세파동에 미치는 영향에 대한 연구는 거의 없었으며, 조절력 및 안정피로에 대한 연구는 진행되었으나 안정피로를 객관적인 평가하는 지표는 없다. 따라서 안정피로를 보다 객관적이며, 과학적인 접근방법을 통하여 평가하는 지표가 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 조절 기능을 객관적으로 평가하는 방법으로 자동 굴절검사기를 이용하여 조절자극에 대한 조절반응, 조절미세파동, 동공크기와의 상관관계를 알아보려고 한다. 또한 조절 체계 내에서 발생하는 조절미세파동의 고진동수 영역이 안정피로를 객관적으로 평가하는 지표가 되는지

알아보고자 하였다.

대상 및 방법

1. 대상 및 장비

본 연구는 안과적 질환 및 안과적 수술을 하지 않았으며 사시, 복시, 역제, 폭주 및 안구 운동에 이상이 없는 20대 피검자들을 대상으로 실시하였다. 참여자들의 나이는 평균 22.59세이고, 성별은 남자12명, 여자10명으로 총 44안에 대하여 연구를 진행하였다.

자동안굴절계로 측정한 구면 굴절력은 -2.57 ± 2.50 D이었으며, 실린더굴절력과 등가구면굴절력은 각각 -0.91 ± 0.87 D와 -2.91 ± 2.64 D이다(Table 1).

본 연구에 사용된 자동굴절검사기(Auto Refractometer)는 Speedy-i K-model(Righton Mfg Co., Tokyo Japan,)를 사용하였다. 조절력 측정은 시판되는 OptoRuler(Fig. 2)를 사용하여 Push-up법에 의한 방법으로 3번 측정하여 평균하였다.

조절용이성 검사는 ± 2.00 D Flipper를 사용하여 측정하였다. ± 2.00 D Flipper는 조절용이를 검사하는 기구로써 $+2.00$ D를 먼저 눈에 대고 눈 앞 40 cm에 있는 시표가 선명하게 보이면 반전시켜 -2.00 D를 눈앞에 대고 선명하게 보이는 것을 1사이클(Cycle)수로 하였으며, 1분 동안 선명하게 읽는 횟수를 cpm으로 나타내었다.

2. 연구 방법

1) 타각적 조절반응과 조절미세파동 측정

눈의 굴절력은 자동굴절검사기를 이용하여 측정하며, 등가구면 굴절력은 측정된 굴절력에서 자동으로 산출된다.

조절반응량은 산출된 등가구면 굴절력의 값에 대하여 $+0.50$ D에서 -3.00 D의 영역까지 0.5 D 단위로 8단계의 조절자극량에 대한 조절반응량이 산출된다. 0.5 D 조절자극량 단위에 6번의 동일한 자극을 가하여 연속적인 조절반응량을 산출한다.

고진동수 영역의 조절미세파동은 조절자극량의 변화에 따라 산출 된다. 이때 조절미세파동의 스펙트럼파워는

Table 1. Baseline characteristics of eyes (n=44)

	Mean±SD	Range
Age (Years)	22.59±1.92	20 ~ 27
Sex (M:F)	1.2:1	
Sphere (D)	2.57±2.50	3.31 ~ -1.83
Cylinder (D)	-0.91±0.87	-1.21 ~ 0.62
Equivalent Spherical Power (D)	-2.91±2.64	3.70 ~ -2.13

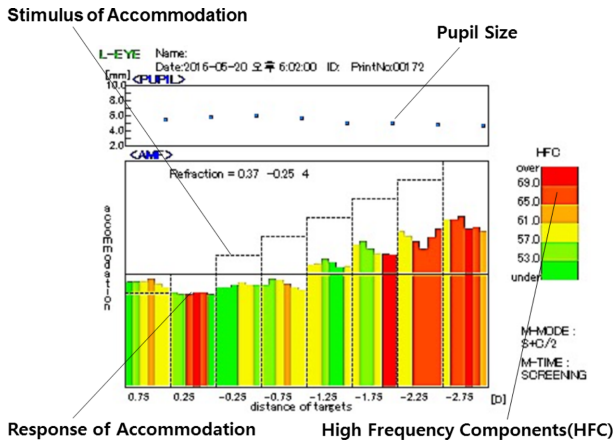


Fig. 1. Speedy-i Measurement Report.

Fast Fourier Transformation(FFT)에 의해 분석된다. FFT 분석은 Hanning's window를 사용하여 FFT분석을 위한 균형 잡힌 데이터를 만든 이후 FFT를 사용하여 계산된다. 이 값을 단순화하기 위해서, 스펙트럼과 위 값은 일반적인 로그함수로 변환되고, 1.0~2.25Hz 사이의 로그 값의 합이 HFC의 스펙트럼과 위 값으로 나타난다. 전체 과정은 표적의 거리에 따라 반복된다.^[22]

동공 크기는 조절자극량의 변화에 따라 X축(가로), Y축(세로)로 산출된다. 자동굴절검사기에서 측정된 조절반응량에 대한 조절반응량, 동공크기, 조절미세파동의 진동수는 Fig. 1과 같은 패턴으로 나타나며 이를 근거로 데이터화 하였다.

2) 조절력 측정(Push-up)

피검자의 조절력검사는 완전교정 한 후에 시판되는 OptoRuler에 의한 Push-Up 방법을 사용하였다. 측정방법은 조절력시표를 앞쪽 시표삽입부에 꽂은 다음 가림판 끝부분을 피검자자 턱에 대고 시표를 천천히 이동시켜 시표

가 완전히 흐려진 점을 측정하고 시표를 앞으로 당겨 천천히 뒤로 옮기면서 선명해지는 회복점을 측정하였다. 이 과정을 3번 반복하여 실시한 후에 흐린점의 평균값을 데이터로 활용하였다.

3) 조절용이성 검사

조절용이 검사는 ± 2.00 D Flipper Twin Frame 이용하였다. 눈앞에 40 cm에 근거리 시표를 대었을 때 선명하게 보이는 시점에서 +2.00 D부터 -2.00 D까지를 1 Cycle하였으며, 단안으로 1분 동안에 플리퍼를 반전시켜 얻은 Cycle 수를 표시하였다.

4) 통계 처리

본 연구의 자료는 통계 프로그램은 SPSS 18.0을 사용하여 일원배치 분산분석(one-way ANOVA) 상관분석을 사용하였으며 유의수준은 $p=0.05$ 로 하였다.

결과 및 고찰

1. 조절자극에 대한 조절반응량과 조절미세파동

조절자극량을 +0.5 D에서 -3.00 D 까지 0.5 D 씩 변화시켰을 경우 조절반응량은 0.04 D에서 -1.12 D로 지속적으로 증가하였다($p=0.00$)(Table 2, Fig. 2). 조절자극량이 -2.50 D와 -3.00 D일 때 조절반응량의 증가 비율이 약 34.4%와 약 37.3%로 증가하였으며, 조절미세파동의 고진동수 영역은 61.88 dB 과 62.83 dB로 높은 진동수를 나타낸다. 이 결과로 볼 때 근거리 작업 시 눈의 부담을 준다는 사실을 확인 할 수 있다. 각 조절자극량에 따른 조절반응량의 상관관계를 분석한 결과 변수들 간의 상관 관계는 유의한 관계가 있는 것으로 나타났다.

조절반응량은 조절자극량이 증가함에 따라 함께 증가함

Table 2. Accommodative responses and High-frequency component (HFC) of accommodation to accommodation stimuli

Stimulus of Accommodation	Response of Accommodation	High frequency components (HFC)	SD	P-value
Stimulus of Accommodation	Mean		SD	P-value
-3.0	-1.12	62.83	0.76	0.00
-2.5	-0.86	61.88	0.57	0.00
-2.0	-0.57	59.55	0.47	0.00
-1.5	-0.31	58.51	0.34	0.00
-1.0	-0.17	57.61	0.29	0.00
-0.5	-0.08	57.11	0.42	0.00
0.0	0.03	57.82	0.28	0.00
0.5	0.04	56.17	0.27	0.00

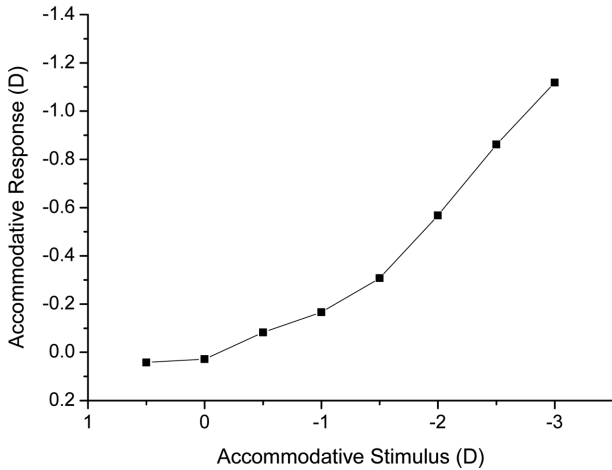


Fig. 2. Accommodative responses to accommodation stimuli.

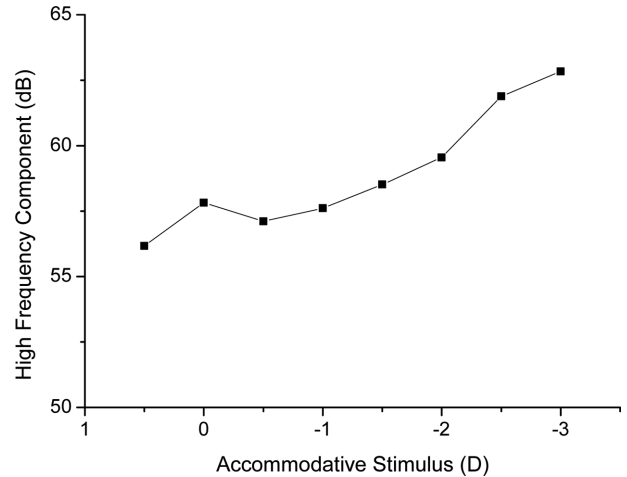


Fig. 3. High-frequency component(HFC) of accommodation to accommodation stimuli.

Table 3. High-frequency component (HFC) of accommodation to accommodation stimuli

Stimulus of Accommodation	High frequency components (HFC)		
Stimulus of Accommodation	Mean	SD	P-value
-3.0	62.83	0.76	0.00
-2.5	61.88	0.57	0.00
-2.0	59.55	0.47	0.00
-1.5	58.51	0.34	0.00
-1.0	57.61	0.29	0.00
-0.5	57.11	0.42	0.00
0.0	57.82	0.28	0.00
0.5	56.17	0.27	0.00

을 알 수 있었다. 조절자극 0.5 D단위 안에서 6번의 동일한 자극에 대한 조절반응을 측정함으로써 연속적인 조절반응량의 변화를 알 수 있다. 조절자극량이 증가함에 따라 조절반응량의 변화가 더 크게 나타났다는 이전의 연구와 같은 결과를 얻었다.^[14] 이전의 연구와 본 연구의 차이점은 조절자극량과 조절반응량을 연속적 변화를 볼 수 있다는 점이다.

조절작용에 관여하는 고진동수 영역의 조절미세파동은 조절자극량의 증가함에 따라 값이 증가하였다. 조절자극량이 0.00 D일 때 조절미세파동은 -0.5 D의 조절자극량에 대한 조절미세파동보다 다소 크게 나타났는데 이것은 측정시 발생한 기계적 오류인지 아니면 조절이완된 상태에서 조절자극으로 변할 때 생기는 모양체근의 조절작용에 의한 것인지 명확하지가 않아서 앞으로 추가적인 연구가 필요하다.

각 조절자극량에 따른 고진동수 영역의 조절미세파동의 상관관계를 분석한 결과는 변수들 간의 상관관계는 유의한 것으로 나타났다(p=0.00)(Table 3). 조절자극량이 증가시킬 경우 조절미세파동의 스펙트럼파워 값은 56.17 dB에서 62.83 dB로 증가되었다. 조절자극에 따른 고진동수 영역의 조절미세파동의 변화는 조절자극이 0.5 D에서 -2.00 D사이에서는 60 dB 이하로 나타났으며, -2.5 D에서 -3.00 D에서는 60 dB 보다 높은 값을 보였다(Fig. 3). 조절자극량이 증가함에 따라 조절반응량의 변화는 더 크게 나타났다. 조절작용에 관여하는 고진동수 영역의 조절미세파동은 조절자극량의 증가함에 따라 값이 증가하였다.

조절반응량은 조절자극량이 증가함에 따라 함께 증가함을 알 수 있었으며, 조절자극 0.5 D단위로 동일한 자극에 대한 조절반응을 측정함으로써 연속적인 조절반응량의 변화를 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 이전의 연구와 같은 결과를 얻었다.^[23] 이전의 연구와 본 연구의 차이점은 조절자극량과 조절반응량을 연속적 변화를 볼 수 있다는 점이다. 또한 조절작용에 관여하는 고진동수 영역의 조절미세파동은 조절자극량의 증가함에 따라 값이 증가하였다. 조절자극량이 -2.50 D와 -3.00 D 일 때 고진동수 영역의 조절미세파동은 많이 증가하였으며 이는 근거리 작업을 할 때 눈앞 40 cm보다 가까우면 눈의 부담감을 준다는 것을 의미한다고 볼 수 있다.

안정피로가 있는 피검자의 고진동수 영역 조절미세파동의 스펙트럼파워는 일반적인 피검자의 고진동수영역 조절미세파동의 스펙트럼파워 진동수에서 높은 진동수를 보인다. 안정피로가 없는 정상인의 경우 고진동수 영역의 조절미세파동은 60 dB이하로 나타나고 안정피로가 있는 피검자의 경우에는 60~70 dB 정도의 높은 수치를 나타냈다.^[20] 따라서 장시간의 근거리 작업은 눈에 부담을 지속시키고

이것으로 인하여 눈에 피로가 유발된다고 볼 수 있다.

2. 조절자극에 따른 고진동수 영역에서의 등가구면굴절력에 대한 조절반응과 조절미세파동

각 조절자극량에 대한 등가구면굴절력과 조절반응량의

Table 4. Accommodative responses caused by the changes of equivalent spherical power according to accommodation stimuli

Accommodative Stimulus	Accommodative Response	P-Value
+0.5	-2.8598	0.649
0.0	-2.8780	0.495
-0.5	-2.9996	0.015*
-1.0	-3.0938	0.084
-1.5	-3.2476	0.432
-2.0	-3.5080	0.016*
-2.5	-3.7982	0.040*
-3.0	-4.0576	0.086

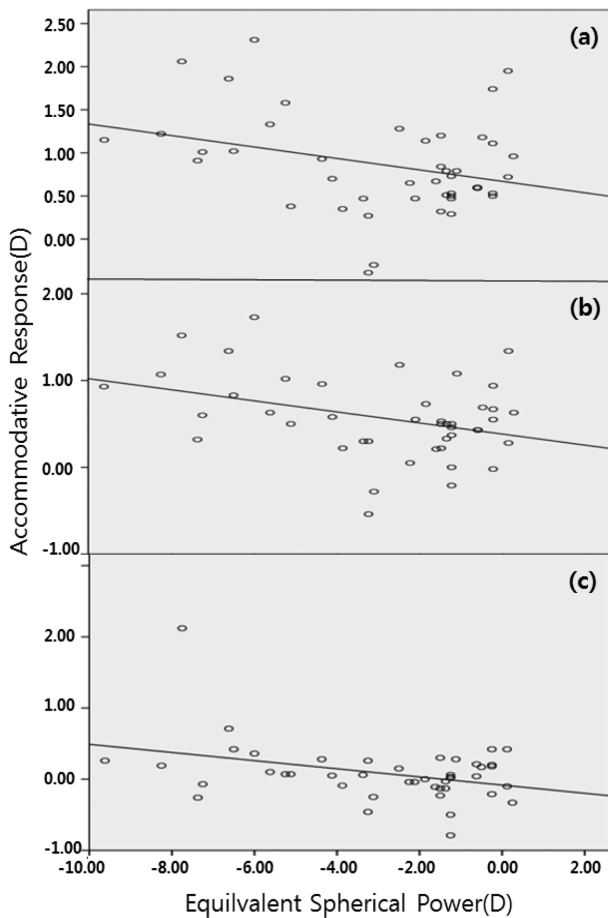


Fig. 4. Accommodative responses caused by the change of equivalent spherical power according to accommodation stimuli ((a) : 2.5D, (b) : 2.0D, (c) : 0.5D).

Table 5. HFC caused by the changes of equivalent spherical power according to accommodation stimuli

Accommodative Stimulus	High Frequency Components	P-Value
+0.5	56.5612	0.333
0.0	58.0389	0.443
-0.5	57.4138	0.075
-1.0	57.8318	0.008*
-1.5	58.6322	0.049*
-2.0	59.6789	0.010*
-2.5	61.9518	0.393
-3.0	62.8784	0.749

상관관계는 통계적으로 유의한 수준 이하이며, 일부 유의한 관계를 나타냈다(Table 4). 조절자극량이 -0.50 D ($p=0.015$), -2.00 D($p=0.016$), -2.50 D($p=0.040$)의 경우에는 상관성이 있는 것으로 나타났다. 등가구면굴절력과 조절반응량의 상관관계는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 모든 굴절력에 대해 음의 선형관계를 나타내었다.

각 조절자극량에 대한 등가구면굴절력과 조절미세파동에 대한 결과는 Table 5와 Fig. 5에 나타내었다. 등가구면굴절력과 고진동수 영역의 조절미세파동의 상관관계는 조절자극이 -1.00 D, -1.50 D, -2.00 D에서 상관성이 있는 것으로 나타났다. 등가구면굴절력과 고진동수 조절미세파동의 상관관계는 반비례 관계인 것으로 나타났다. 근시도가 높을수록 조절반응량과 조절미세파동이 증가하는 뚜렷한 음의 상관관계를 보였다.

같은 조절자극량에 따른 등가구면굴절력과 조절반응량, 등가구면굴절력과 조절미세파동의 상관관계에서는 일부 유의한 상관관계를 보였으며, 근시도가 높을수록 조절반응량과 조절미세파동이 증가하는 뚜렷한 음의 상관관계를 보였다. 조절자극량이 크면 조절반응량도 증가되며 조절미세파동은 높은 진동수를 나타내었으며 이는 근거리 작업 시 눈의 부담을 준다는 사실을 확인할 수 있다. 일반적으로 조절반응량은 크로스실린더 방법에 의한 조절래그량으로 나타낸다. 이전의 크로스실린더 방법에 의한 연구 결과와 본 연구의 결과는 다소 차이를 보인다. 이전의 연구에서는 비정시안에 안경을 착용하여 굴절이상을 완전 교정하여 검사를 시행하였다.^[20] 따라서 피검자의 눈은 안경으로 인한 조절효과가 발생하므로 조절반응량이 나안 일 때 보다 줄어들게 된다. 하지만 본 연구에서는 피검자의 근시안을 완전 교정하지 않은 상태로 측정하였으므로 조절효과가 없어서 결과에 차이가 생겼다고 판단된다.

조절미세파동의 고진동수영역의 값은 섬모체근의 움직임

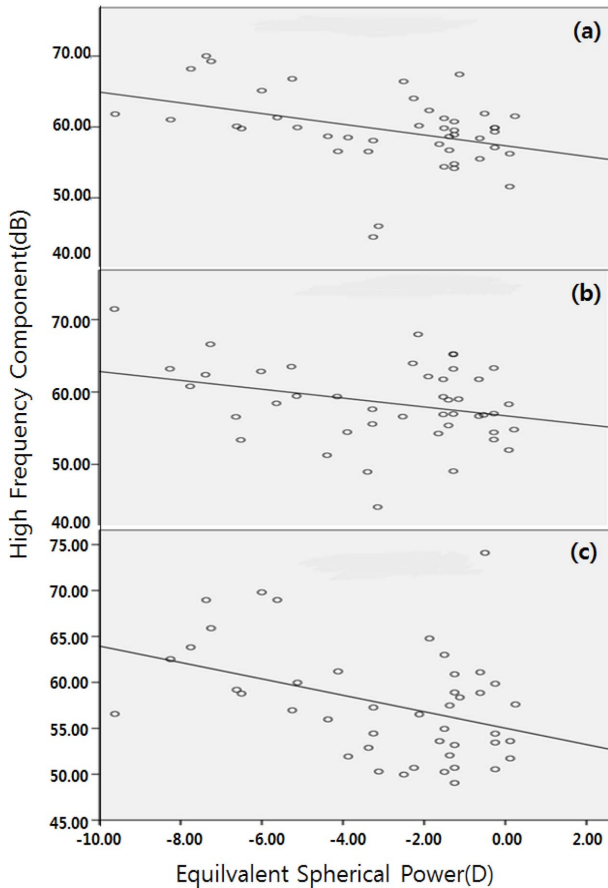


Fig. 5. HFC caused by the changes of equivalent spherical power according to accommodation stimuli ((a): 2.0D, (b): 1.5D, (c): 1.0D).

임을 반영한 값으로 조절기능의 다양한 형태를 알 수 있다. 따라서 조절미세파동의 고진동수영역의 스펙트럼파워 값으로 객관적인 조절성 안정피로의 척도로써 활용 가능할 것으로 보인다. 조절기능은 근거리작업이 많은 현대인에게 시생활의 아주 중요한 부분을 차지한다. 조절기능을 객관적으로 쉽게 평가하는 방법은 시생활을 편하게 누릴 수 있는 방법을 찾는 데 중요한 요소가 된다.

3. 조절자극에 대한 동공 크기의 변화

조절자극량이 증가함에 따라 동공의 X, Y축 크기는 Fig. 6에서 보듯이 증가와 감소를 반복하며 뚜렷한 경향성을 보이지 않으나, 전반적으로 감소 추세를 보였으며, 동공의 가로 크기가 세로 크기보다 약간 더 크게 나타났으나 유의성은 없는 것으로 보인다(p=0.986).

조절자극량에 대한 동공 크기의 변화량은 조절자극량이 증가할수록 동공 크기가 줄어들고 있다. 동공의 크기를 X축과 Y축으로 줄어드는 경향성을 볼 때 거의 비슷하게 감소함을 알 수 있다. 이것은 동공크기는 저 진동수 영역의 조절미세파동에 더 많은 영향을 받는다는 이전의 연구와

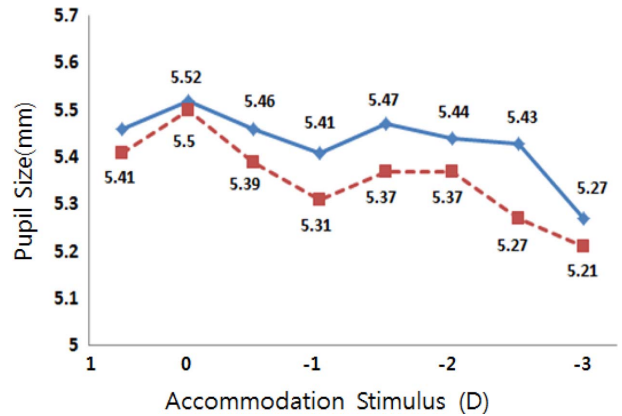


Fig. 6. The changes of pupil size according to accommodation stimuli The solid line and dot line are the x-axis and the y-axis of the pupil, respectively

같다고 볼 수 있다.^[17]

동공 크기가 2.5 mm 이하에서는 초점심도가 증가하여 근거리 시력에 영향을 주지만 2.5 mm 이상에서는 초점심도에 영향을 끼치지 않는 것으로 알려져 있다.^[16,24] 본 연구에서 측정된 동공 크기변화는 X축이 5.27 mm~5.46 mm로 변화되고 Y축이 5.21 mm~5.41 mm까지 변화되므로 초점심도로 인한 조절기능에는 영향을 미치지 않았다. 이는 고진동수 영역의 조절미세파동은 동공 지름에 따른 스펙트럼파워의 진동수의 변화가 거의 없으나, 저진동수 영역의 조절미세파동의 경우에는 동공 지름이 커질수록 스펙트럼파워의 진동수의 변화가 작아지며, 이것은 저진동수 영역의 조절미세파동은 동공지름의 변화와 관계가 있으며 시각적 초점심도와 관련이 있다는 기존 연구결과^[21]와 일치함을 확인할 수 있었다.

4. 조절용이성

조절용이성 측정값은 평균적으로 14.6±3.47 cpm로 나타났으며, 이 값은 성인 평균값인 13 cpm이상이므로 정상 범위에 든다. 남, 녀를 구분하여 측정한 조절용이성은 남, 녀의 측정값이 거의 같았다. 또한 조절자극에 따른 조절용이성에 대한 조절반응량 및 조절미세파동과의 상관성도 거의 없는 것으로 나타났다.

이런 결과는 조절기능의 결함이 의심되면 조절력검사, 조절반응검사. 조절용이 검사를 각각 시행하여야 한다는 이전의 연구^[8]와 일치하며 조절력과 조절용이, 조절반응, 조절미세파동은 조절기능의 한 독립된 부분으로 작용한다고 볼 수 있다.

결론

본 연구에서 조절반응과 조절미세파동의 측정으로 객관

적인 조절 반응과 조절미세파동으로 안정피로를 객관적으로 평가하고자 하였다.

조절성 안정피로는 조절자극량이 증가함에 따라 조절반응량이 증가되었으며 고진동수 영역에서의 조절미세파동이 증가되었다. 조절자극량에 대한 동공 크기의 변화량은 조절자극량이 증가할수록 동공 크기가 줄어들며 동공 크기는 저진동수 영역의 조절미세파동에 더 많은 영향을 받는다. 조절미세파동은 조절성 안정피로를 객관적으로 평가하는데 유용하게 활용될 것이다.

감사의 글

본 연구는 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 개인기초연구사업(No. NRF-2018R1A2B6008622)으로 연구되었습니다.

REFERENCES

- [1] Grisham JD, Simons HD. Refractive error and the reading process: a literature analysis. *J Am Optom Assoc.* 1986; 57(1):44-55.
- [2] Collins M, Davis B, Atchison D. VDT screen reflections and accommodation response. *Ophthalmic Physiol Opt.* 1994;14(2):193-198.
- [3] Culhane HM, Winn B. Dynamic accommodation and myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1999;40(9):1968-1974.
- [4] Park CJ, Yoo JS, Kim JH. Changes of accommodative function in VDT workers in relation to rest. *J Korean Ophthalmol Soc.* 1994;35(7):790-794.
- [5] Jean IC, Kim HJ, Ro JH, Lee HS, Mah KC. Analysis of clinical performance of accommodation release apparatus for improving asthenopia. *Korean J Vis Sci.* 2011;13(4): 279-293.
- [6] Lee AY, Kim JM, Lee KJ. Comparison of accommodative function of young adults in their twenties wearing monovision, modified monovision and multifocal soft contact lenses. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2015;20(2):117-124.
- [7] Jeong WC, Kim SH, Kim JM. Near visual performance of multifocal contact lenses in university students. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2011;16(1):51-60.
- [8] Kim JH, Lee DH. The factors influencing the asthenopia of emmetropia with phoria. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2005;10(1):71-82.
- [9] Yoon KH. The study on relation between fusional reserve and asthenopia of lateral phoria in myopia. *Korean J Vis Sci.* 2008;10(1):71-77.
- [10] Woo HK, Moon BY, Cho HG. Ocular symptoms on VDT syndrome and symptoms-related factors. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2011;16(3):351-356.
- [11] Lee CY. Relation of psychosocial stress, eye strain, and critical flicker fusion of VDT workers. *Korean J Aerosp Environ Med.* 2001;11(1):32-36.
- [12] Suh YW, Kim KH, Kang SY, Kim SW, Oh JR, Kim HM et al. The objective methods to evaluate ocular fatigue associated with computer work. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2010;51(10):1327-1332.
- [13] Kim HR, Jeong JH. The study of visual fatigue by monitor letter contrast with an eye tracker. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2014;19(4):533-538.
- [14] Bae SH, Kwak HW. Comparison between accommodative response change on the full vision correction and low vision correction. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2012; 17(1):75-81.
- [15] Kang DW, Eom YS, Rhim JW, Kang SY, Kim HM, Song JS. Evaluation of objective accommodation power in different age groups using an auto accommodation refractometer. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2016;57(1):20-24.
- [16] Campbell FW, Robson JG, Westheimer G. Fluctuations of accommodation under steady viewing conditions. *J Physiol.* 1959;145(3):579-594.
- [17] Gray LS, Winn B, Gilmartin B. Accommodative microfluctuations and pupil diameter. *Vision Res.* 1993;33(15): 2083-2090.
- [18] 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(3):291-298.
- [19] Winn B, Pugh JR, Gilmartin B, Owen H. The frequency characteristics of accommodative microfluctuations for central and peripheral zones of the human crystalline lens. *Vision Res.* 1990;30(7):1093-1099.
- [20] Kajita M, Ono M, Suzuki S, Kato K. Accommodative microfluctuation in asthenopia caused by accommodative spasm. *Fukushima J Med Sci.* 2001;47(1):13-20.
- [21] Gray LS, Winn B, Gilmartin B. Effect of target luminance on microfluctuations of accommodation. *Ophthalmic Physiol Opt.* 1993;13(3):258-265.
- [22] Ju LH, Lee DH, Lee DH, Kim JH. The relationship between the high-frequency component of accommodative microfluctuation, accommodative lag and accommodative amplitude in presbyopic eyes. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2014;55(11):1606-1612.
- [23] Yu DS, Kwak HW, Roh BH, Son JS. Characteristics of accommodative lags determined by objective and subjective methods and their correlation. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2015;20(3):333-339.
- [24] Westheimer G. Pupil size and visual resolution. *Vision Res.* 1964;4(1):39-45.

고진동수 영역의 조절미세파동을 이용한 안정피로의 객관적 평가 연구

박선미, 이현미*

대구가톨릭대학교 안경광학과, 시기능증진연구소, 경북 38430, 대한민국
투고일(2018년 11월 9일), 수정일(2018년 11월 30일), 게재확정일(2018년 12월 6일)

목적: 본 연구는 조절반응과 조절미세파동을 이용해서 고진동수 영역에서의 안정피로를 객관적으로 평가하고자 한다. **방법:** 대상자는 20대(평균 연령 22.59 ± 1.92 세) 이었으며 44 안을 대상으로 하였다. 사용한 장비와 기구는 자동굴절검사기(Speedy-i K-model), Opto Ruler, 플리퍼를 이용하였다. **결과:** 등가구면굴절력, 조절력, 그리고 조절용이성은 각각 -2.91 ± 2.64 D, 9.83 ± 1.32 D 및 14.6 ± 3.47 (사이클/분)이었다. 조절 자극의 변화가 +0.50 D에서 -3.00 D 일때 조절반응의 크기는 0.04 D ~ -1.12D만큼 변화되었다. 조절 자극에 대한 조절 반응의 양은 16%~37.3%의 비율로 증가했다. 조절미세진동수는 조절 자극의 양이 증가함에 따라 58.16-62.83 dB로 증가하였다. 조절자극량이 -2.50 D와 -3.00 D일 때 고진동수 영역의 조절미세파동은 60dB 이상 증가하였다. 근시도가 높을수록 조절반응량과 조절미세파동이 증가하는 뚜렷한 음의 상관관계를 보였다. **결론:** 조절자극의 증가에 따라 조절반응 및 조절미세파동의 진동수가 증가하였다. 따라서 조절미세파동은 안정피로의 객관적인 평가에 유용할것이다.

주제어: 조절미세파동, 조절력, 조절반응량, 조절자극량, 안정피로