ISSN(print) 1226-5012
J Korean Ophthalmic Opt Soc. 20(3):333-339, September 2015 http://dx.doi.org/10.14479/jkoos.2015.20.3.333

타각적 및 자각적으로 결정된 조절래그의 특성과 상관관계

유동식, 곽호원, 노병호, 손정식*
경운대학교 안경광학과, 구미 39160
투고일(2015년 7월 28일), 수정일(2015년 8월 24일), 게재확정일(2015년 9월 1일)

목적: 양안크로스실린더법으로 결정된 자각적 조절래그와 개방형 자동굴절계를 이용하여 결정된 타각적 조절래그를 미보정한 값과 보정한 값을 대상으로 임상적으로 그 특성을 평가하고자 하였다. **방법:** 건강한 33명(남 26명, 여자 7명, 22~27세의 평균 나이 23.73±1.35세)을 대상으로 하였다. 조절래그는 4가지 방법 (1) +2.00 D 운무와 양안크로스실린더를 이용한 자각적 방법, (2) 자동굴절계로 측정한 미보정 타각적 방법, (3) 타각적 방법에서 Gwiazda 등이 제시한 식으로 보정한 방법(유효 조절래그)과 (4) 타각적 방법에서 Mutti 등이 제시한 식으로 보정한 방법으로 결정하였다. **결과:** 평균 조절래그는 자각적 방법이 0.72 D, 미보정 타각적 방법이 0.82 D, Gwiazda식으로 보정한 타각적 방법이 0.88 D, Mutti 식으로 보정한 타각적 방법이 0.78 D였다. 타각적 조절래그 간에는 유의한 차이를 보였으나 자각적 조절래그와 타각적 조절래그 간에는 유의한 차이를 보이지 않았다. 유효 조절래그는 사위도와 굴절이상 간에 유의한 상관관계를 나타내었고, Muttii 등이 제시한 식으로 보정한 타각적 조절래그는 보정하지 않은 타각적 조절래그와 높은 상관성을 보였다($r=0.99$, $p<0.001$). **결론:** 타각적 조절래그는 사위와 굴정이상과 상관관계가 있으며, 특히 증상과 관련하여 임상적 활용과 정량적 평가에 Muttii 등이 제시한 타각적 유효 조절래그를 고려하여야 할 것이다.

주제어: 조절래그, 조절반응, 자동굴절계, 타각적, 자각적, 사위, 굴절이상

서 론

조절자극 또는 조절요구(accommodative stimulus or accommodative demand)에 대한 조절반응(accommodative response)은 일치하지 않는다. 이러한 불일치는 조절래그(accommodative lag) 또는 조절리드(accommodative lead)로 나타나며 임상적으로 조절과 이향기능(accommodative and vergence function)의 평가에서 중요한 항목이다.[1,2]

조절래그 평가는 조절자극에 대한 조절반응의 차이를 측정하는 것으로 궁극적으로 조절반응의 결정 방법에 따라 타각적이거나 자각적으로 분류할 수 있다. 조절반응의 타각적 방법은 주로 개방형 자동굴절계(open-field autorefractor)나 검영기(retinoscope)를 이용하며[3,4] 자각적 방법은 운무 또는 비운무 상태에서 크로스실린더(cross-cylinder)나 이색(duochrome)을 이용한다.[5,6] 검영기 이용은 간편하지만 사용자의 숙달이 요구되고 또한 1.00 D 이상의 조절래그량에서 신뢰성이 낮은 것으로 평가된다.[3,7] 개방형 자동굴절계는 검영기보다 고가이며 공간 확보가 필요하며 자유로운 상태(free space)에서 실제 놓여 있는 물체를 주시할 수 있으며 표준화된 타각적 방법으로 조절기능을 평가하는 데 이용된다.[8-10] 자각적 조절반응 측정에서 이색을 이용한 방법은 주로 적록검사(red-green test)법으로 빠르고 간단한 방법이지만 수정체의 노화나 경화(nuclear sclerosis) 또는 적색 선호 대상자에서 유용한 조절반응을 기대할 수 없으며, 크로스실린더를 이용한 방법은 임상적으로 선호하나 변동성이 크다.[5,7] 이와 같이 조절자극에 대한 조절반응의 측정 방법에 따라 조절래그는 각각의 특성을 갖고 있다. 선행 연구에서는 조절래그량의 직접적인 평가보다는 주로 조절반응에 대한 측정 방법의 비교[11-13]나 조절반응과 굴절이상과의 상관성 등[14]에 관한 것이었다. 따라서 직접적인 조절래그량 결정 방법에 따른 상대적 비교나 상관관계를 평가할 필요가 있을 것이다.

본 연구는 완전교정 후 근거리에서 크로스실린더와 십자시표(cross grid)를 이용하여 자각적으로 결정한 조절래그량, 조절자극과 조절반응을 보정하지 않은 타각적으로 결정한 조절래그량, 교정렌즈의 굴절력과 정점간거리를 고려하여 보정한 유효 조절래그(effective accommodative lag)에 관한 것이다. 특히, 유효 조절래그는 Gwiazda 등[15,16]이 제시한 눈과 주시 물체까지의 거리, 정점간거리에 따른 완전교정 굴절력과 교정렌즈 굴절력을 기준한 타각적 유효

*Corresponding author: Jeong-Sik Son, TEL: +82-54-479-1332, E-mail: jsson@ikw.ac.kr

조절래그와 Muttii 등[17,18]이 제시한 각막 전면에서 초점까지 거리의 역수를 기준한 타각적 유효 조절래그에 관한 것이다. 위와 같은 조절래그 결정 방법의 다양성에 비해 조절래그의 활용은 굴절이상이나 양안시이상 평가에 단순히 타각적 및 자각적 조절래그량에만 치중한 면이 있으므로 다양한 조절래그에 대한 상관관계나 유용성에 대한 평가가 필요한 것으로 판단된다. 본 연구에서는 조절래그에 대한 활용 측면에서 유효 조절래그에 대한 임상에서의 유용성 평가와 더불어 미보정 타각적 조절래그, 보정 타각적 조절래그 및 자각적 조절래그 간의 상관관계, 조절래그와 굴절이상 및 사위간의 상관관계를 중심으로 각 조절래그의 특성을 분석하고자 한다.

대상 및 방법

1. 대상

본 연구의 취지와 참여에 동의하며 원거리 교정시력 0.8 이상, 사시나 약시, 안질환과 눈 수술 경험이 없는 20대 대학생 33명(평균 23.73세, 남자 26, 여자 7명)을 대상으로 하였다.

2. 방법

문진을 포함한 예비검사에서 사시, 안질환, 수술 경험 유무를 확인하고 수동포롭터(VT-SE, Topcon, Japan)를 이용하여 자각적 굴절검사를 실시한 후, push-up법에 의한 조절력과 von Graefe법에 의한 원거리와 근거리 사위도를 측정하였다. 조절래그는 40 cm에서 결정하였다.

1) 개방형 자동굴절계의 정밀도 확인[13,14,19]

타각적 굴절상태 평가에 사용되는 개방형 자동굴절계(Nvision-K 5001, Shin-nippon, Japan)의 정밀도와 신뢰도는 제조사에서 제공된 모델아이(model eye)를 12 mm의 정점간거리에 두고 5회 이상 측정하였을 때 허용오차가 구면굴절력과 원주굴절력에서 모두 ±0.25 D 이내, 곡률반경에서 ±0.03 mm 이내로 모두 만족하는 것으로 확인되었다.

2) 타각적 조절래그량의 결정

완전 교정상태의 굴절력을 장입한 시험테(trail frame)를 동공간거리와 정점간거리(12 mm)에 맞도록 피검자에게 착용시켜 양안주시 상태를 유지하게 하였다. 원거리 투영식 시표(ACP-7, Topcon, Japan)에서 최고시력보다 2단계 큰 시표를 보게 하고 반암실 상태에서 개방형 자동굴절계를 이용하여 오른쪽 눈의 굴절력을 측정하여 양안 조절래그를 결정하였다. 또한, 낮은 조명 상태에서 피검자로부터 40 cm거리에 근용 시표(NC-3, Topcon, Japan)를 두고 근거리 최고시력보다 2단계 큰 시표를 양안으로 보게 한 다음 오른쪽 눈의 굴절력을 측정하였다. 측정은 1~2초 간격으로 각각 5회 이상으로 실시하였다.

보정하지 않은 타각적 조절래그량은 식 (1)에 의해서 결정하였고,[11] 타각적 유효 조절래그는 Gwiazda 등[15,16]이 제시한 식 (2)과 Muttii 등[17,18]이 제시한 식 (3)을 이용하여 결정하였다. 결정된 값이 (+)이면 조절래그, (–)이면 조절리드이다.

$$Obj(U) = (1/DTE) - (-R) \quad (1)$$

$$Obj(G) = EAD(G) - EAR(G) \quad (2)$$

$$Obj(M) = EAD(M) - EAR(M) \quad (3)$$

위 식들에서

$$EAD(G) = \frac{\frac{1}{DTE} - LENS + Rs + (0.012)\times(LENS - Rx)}{1 - 0.012\times(LENS + Rx)}$$

$$EAR(G) = \frac{Rx}{1 - 0.012\times Rx} - \frac{LENS}{1 - 0.012\times LENS} - R$$

$$EAD(M) = \frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{0.012 + DTE} + LENS} - 0.012} - Rx$$

$$EAR(M) = \frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{R} + 0.012} + LENS} - 0.012} - Rx$$ 이며,

여기서 *Obj*는 타각적 조절래그량, EAD=유효 조절자극 또는 조절요구량, EAR= 유효 조절반응량, R=40 cm에서 자동굴절계로 측정된 동적굴절력, *Rx*=완전교정굴절력의 등가구면굴절력, DTE= 각막정점에서 주시점까지의 거리, LENS=교정렌즈의 등가구면굴절력, 정점간거리는 12 mm이며, 괄호 안의 U는 보정하지 않은 값, G는 Gwiazda 등의 식으로 보정한 값, M은 Muttii 등의 식으로 보정한 값을 말한다.

3) 자각적 조절래그량의 결정[5,14]

수동포롭터에 완전교정 굴절력을 세팅한 후 낮은 조명 상태에서 ±0.50 D의 크로스실린더의 마이너스 축이 수직방향에 오도록 양안에 장입하여 오른쪽 눈을 기준하여 양안 조절래그를 결정하였다. 40 cm에 십자시표를 보게 한 다음, 양안에 +2.00 D를 운무한 상태에서 수직선이 진하게 보이는 것을 확인하였다. 이어서 수평선과 수직선의 선명도가 같아질 때까지 (–)방향으로 구면렌즈를 변화시켜 최종적으로 남아 있는 굴절력에서 완전교정 상태의 굴절력을 뺀 값으로 양안 조절래그량으로 결정하였고 Sub(FCC)

로 표기하였다.

3. 표본의 크기와 자료 분석

조절래그 평가에 필요한 표본 크기(sampling)를 결정하기 위해서 Erdfelder 등이 개발한 프로그램(GPower, Version 3.1.2)[20]을 이용하여 문헌[21]에 제시된 타각적 및 자각적 조절래그의 평균과 표준 편차, 각각 +1.35±0.37 D, +1.00±0.50 D를 적용하고 95% 신뢰도에서 평균비교 또는 상관분석에 필요한 표본 크기(N)를 구한 결과 22명으로 평가되었다. 본 연구에서는 모수적 검정이 가능한 30명 이상을 기준으로 하고 이 결과보다 50% 더 많은 33명 대상으로 평가하였다.

자료 처리와 데이터 해석을 위해 외사위는 음의 부호, 내사위는 양의 부호를 부여하였다. 자료 분석을 위해 SPSS(version 18.0.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 기술통계, 반복측정 분산분석(repeated measures ANOVA), 대응분석(paired t-test) 및 Pearson 상관분석을 실시하였다. 모든 분석에서 신뢰구간은 95%하였고, 유의확률(p)<0.05일 때 통계적으로 유의한 것으로 판단하였다.

결과 및 고찰

참여한 대상자의 특성은 Table 1에서 같이 교정굴절력은 등가구면굴절력으로 –2.07±2.46 D, 사위는 16 Δ 외사위에서 8 Δ 내사위 범위까지 다양하게 분포하였고, 원거리는 평균 1.06 Δ 외사위, 근거리는 평균 4.67 Δ 외사위를 보였다. 대상자를 수정된 Duane 분류체계를 기준[22] (Cooper 등에 의해 인용된[23])으로 비마비성 양안시이상으로 분류하면 정위가 48.5%, 폭주부족이 21.2%, 개산부족과 기본내사위가 각각 9.1%, 기본외사위가 6.1%, 폭주과다와 개산과다가 각각 3.0% 순으로, 이는 양안시이상 빈도 기준[23]으로 볼 때 표본 집단의 특이성은 갖지 않은 것으로 평가된다. 조절력은 11.15±2.72 D로 Hofstetter의 기준(평균 기대치=18.50 D 1/3×나이 D)[24] 이내로 대체적으로 조절기능에 문제가 없는 것으로 판단된다.

Table 1. Characteristics of subjects (N=33)

Characteristics		Mean±SD	Range
Age (yr)		23.73±1.35	22 to 27
Gender (male/female)		26 / 7	
Refractive error, SE (D)		–2.07±2.46	–8.63 to 0.88
Phoria (Δ)[a]	Distance	–1.06±3.48	–8.00 to 8.00
	Near	–4.67±5.12	–16.00 to 4.00
Binocular vision (N)[b]	Ortho	16 (48.5%)	
	CI	7 (21.2%)	
	CE	1 (3.0%)	
	DI	3 (9.1%)	
	DE	1 (3.0%)	
	Beso	3 (9.1%)	
	Bexo	2 (6.1%)	
Accommodative amplitude (D)		11.15±2.72	5.50 to 15.00

[a]Positive and negative values indicate eso and exo deviations, respectively; [b]Classification of non-strabismus binocular disorders based on distance and near phoria[2]; SD, standard deviation; SE, spherical equivalent; Ortho, orthophoria; CI, convergence insufficiency; CE, convergence excess; DI, divergence insufficiency; DE, divergence excess; Beso, basic esophoria; Bexo, basic exophoria.

1. 결정 방법에 따른 조절래그의 평균치 비교

4가지 방법으로 결정된 조절래그량의 평균치를 Fig. 1과 같다. Gwiazda 등이 제시한 식으로 보정한 타각적 조절래그 즉, Obj(G)이 0.88 D로 가장 크고, 보정하지 않은 타각적 조절래그 Obj(U)가 0.82 D, Muttii 등이 제시한 식으로 보정한 타각적 조절래그 Obj(M)가 0.78 D, 그리고 자각적 조절래그 Sub(FCC)가 0.72 D로 순으로 나타났다. 반복측정 분산분석에서 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았고(df=3, F=2.68, p=0.051), Table 1과 같이 대응분석 결과에서 자각적 조절래그와 모든 타각적 조절래그 간에도 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으나 타각적 조절래그 간에는 유의한 차이를 보였다. 자각적 조절래그와 타각적 조절래그의 차이가 평균 0.10 D로 일반적으로 양안의

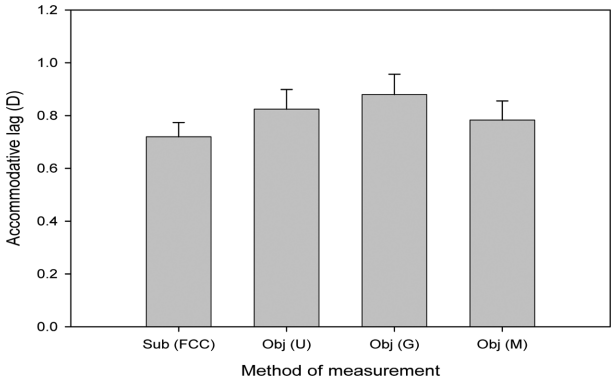

Fig. 1. Mean accommodative lag for the four methods. Error bars represent standard error of mean. Sub (FCC), subjective accommodative lag by fused cross-cylinder (FCC); Obj (U), objective accommodative lag under uncorrected accommodative demand and response by an open-field autorefractor; Obj (G), objective accommodative lag from effective accommodative demand and response using equations presented by Gwiazda *et al.*; Obj (M), objective accommodative lag from effective accommo= dative demand and response using equations presented by Mutt *et al.*

Table 2. Comparison between the four methods for assessing accommodative lag (D)

	MD	SD	95% LOA	t	p-value
Sub (FCC) vs Obj (U)	−0.10	±0.44	±0.87	−1.360	0.183
Sub (FCC) vs Obj (G)	−0.16	±0.51	±0.99	−1.815	0.079
Sub (FCC) vs Obj (M)	−0.06	±0.42	±0.81	−0.876	0.387
Obj (U) vs Obj (G)	−0.05	±0.13	±0.25	−2.460	0.019
Obj (U) vs Obj (M)	0.04	±0.05	±0.10	4.667	0.000
Obj (G) vs Obj (M)	0.10	±0.17	±0.34	3.216	0.003

MD, mean difference; SD, standard deviation; 95% LOA, 95% limits of agreement (1.96×SD); Other abbreviations are the same as the previous notes for Fig. 1

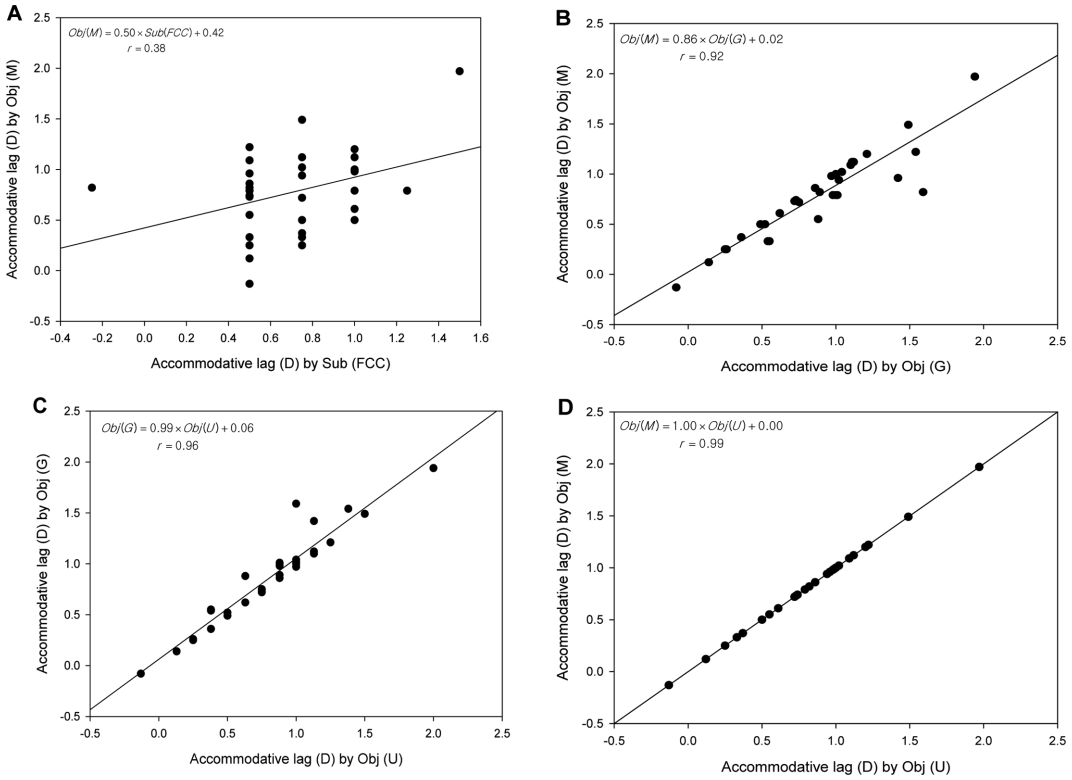

Fig. 2. The relationship between accommodative lags by method of measurement. Plus and minus signs present accommodative lag and lead, respectively. Abbreviations are the same as the previous notes for Fig. 1.

자각적 조절래그 +0.50±0.50 D과 타각적 조절래그 +1.37±0.37 D의 차이[21]인 0.87 D보다 작았다. 이러한 차이는 자각적 조절래그의 측정이 +2.00 D 운무상태에서 진행되어 다소 높게 측정된 것으로 판단된다. 이는 Rosenfield 등[5]과 Locke 등[25]의 연구에서 운무상태의 조절래그가 더 높게 측정되는 것과 일치하는 결과이다.

한편, 개방형 자동굴절계는 타각적으로 조절기능을 평가하는 데 기준표준(gold standard)으로 사용될 만큼 안정적인 것으로 알려져 있다.[3,5,14] 본 연구에서 개방형 자동굴절계를 이용하여 결정된 타각적 조절래그 결정에서 0.04~0.10 D의 작은 평균차이에도 불구하고 모두 유의한 차이를 보였다. 이러한 결과는 자각적 조절래그에 비해 변동성이 낮고 민감도[3]가 큰 것을 반영하는 것으로 여겨진다.

2. 조절래그 간의 상관관계

각각의 조절래그 사이의 Pearson 상관계수(r)은 Fig. 2와 같이 Sub(FCC)과 Obj(M) 간에 0.38(p=0.031), Obj(G)와 Obj(M)에서 0.92(p<0.001), Obj(U)와 Obj(G)에서 0.96 (p<0.001), Obj(U)와 Obj(M)에서 0.99(p<0.001)순으로 나타났다. 자각적 조절래그와의 상관성은 낮았고 타각적 조절래그 사이의 상관성은 높았으며, 특히 Obj(U)와 상관성은 Obj(G)보다 Obj(M)에서 높았다. Benzoni 등[14]은 2.50 D

의 조절자극에 대해 자각적 조절반응과 타각적 조절반응이 각각 2.35 D와 1.68 D로, 이들 간에는 뚜렷한 양의 상관성(r=0.62, p=0.001)을 갖는 것으로 보고하였다. 이 결과로부터 자각적 조절래그가 0.15 D, 타각적 조절래그가 0.82 D로 계산되며 이들 사이에는 상관성이 있는 것으로 파악된다. 따라서 비록 낮은 상관성이지만 Sub(FCC)과 타각적 조절래그의 상관성이 Obj(M)에서 낮게 나타난 것은 의미가 있는 결과로 판단된다. 또한 Obj(M)은 다른 타각적 조절래그 즉, Obj(G)와 Obj(U)와의 상관성을 보였다. 특히, 조절래그의 임상적 활용은 미보정상태의 조절래그를 더 많이 이용한 것으로 볼 때 Obj(M)와 Obj(U)의 상관관계가 높은 것은 의미가 있는 결과로 본다. 따라서 조절래그에 대한 활용 측면에서 Muttii 등이 제시한 타각적 유효 조절래그의 유용성이 있는 것으로 판단된다.

3. 조절래그와 굴절이상 및 사위와의 상관관계

각각의 조절래그와 굴절이상과의 상관성은 Fig. 3과 같이 Obj(G)에서 r = –0.37(p=0.037)로 약한 음의 상관성을 보였고, Sub(FCC)에서 0.41(p=0.019)로 양의 상관성을 보였다. Bae 등[26]의 연구에서 근시도가 낮을수록 조절반응량이 높다고 보고, Baarg 등[27]이 조절래그는 등가구면 굴절력이 클수록 분포범위가 넓고 평균값이 높다는 해석, 그리고 조절래그가 근시 진행과 관련 있다는 Allen 등[28]의 보고를 종합하면 본 연구 결과에서 타각적 조절래그의 음의 상관성는 근시도가 클수록 조절래그가 크다는 의미이므로 조절래그와 굴절이상의 상관성이 있는 것으로 본다. 그러나 자각적 조절래그는 굴절이상과의 상관성을 나타나지 않았다. 그 이유는 자각적 조절래그의 변동성[5,29,30]으로 인한 것으로 판단되나 추가적인 연구가 필요하다.

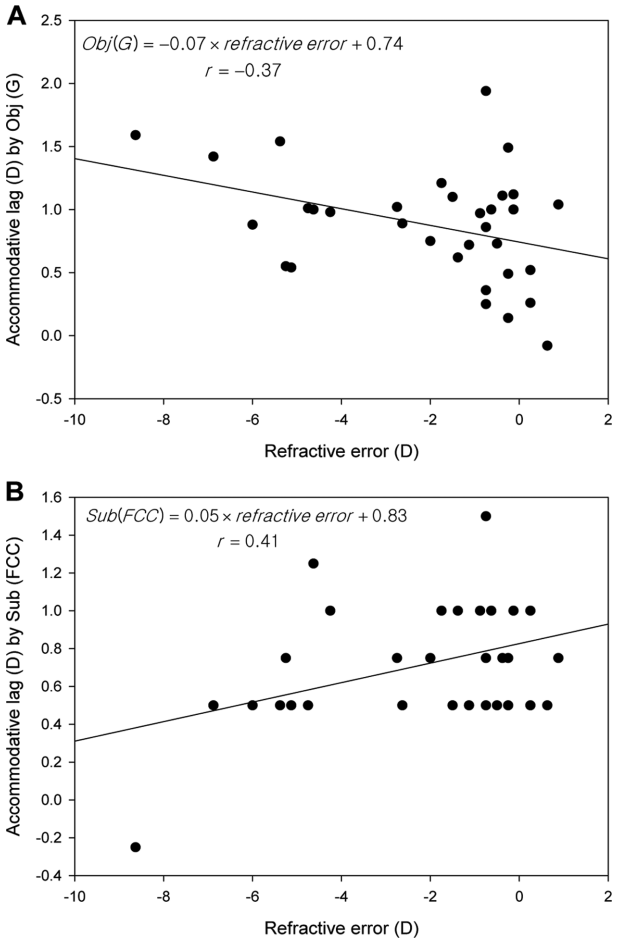

Fig. 3. (A) The relationship between objective accommodative lag using equation by Mutt *et al.* and refractive error. (B) The relationship between subjective accommodative lag by fused cross-cylinder (FCC) and refractive error.

Table 3. Correlation of accommodative lag and phoria

Phoria vs accommodative lag[a]		r	p-value*
Distance phoria	vs Sub (FCC)	–0.074	0.683
	vs Obj (U)	–0.422	0.014
	vs Obj (G)	–0.430	0.013
	vs Obj (M)	–0.419	0.015
Near phoria	vs Sub (FCC)	–0.106	0.556
	vs Obj (U)	–0.397	0.022
	vs Obj (G)	–0.445	0.010
	vs Obj (M)	–0.365	0.037

[a]Values for data procedures represent plus for esophoria and accommodative lag, and minus for exophoria and accommodative lead; *p-values of less than 0.05 indicate statistically significant correlations; r, Pearson's correlation coefficient; Other abbreviations are the same as the previous notes for Fig. 1.

사위와의 상관성을 분석한 결과는 Table 3과 같다. 자각적 조절래그는 원거리와 근거리 사위 모두에서 상관성을 보이지 않았다. 이는 자각적 조절래그가 사위의 특성을 파악하는데 한계가 있을 것으로 추정된다. 타각적 조절래그 모두 원거리에서 –0.419 ~ –0.430, 근거리에서 –0.365~–0.445로 음의 상관관계를 보였다. 일반적으로 외사위가 크면 양안단일시를 위해 폭주를 많이 하게 되고 조절반응이 커서 조절래그는 낮아져[31] 음의 관계를 갖는 것으로 해석된다.

결 론

타각적 조절래그가 자각적 조절래그보다 0.10 D 크게 나타났으며 그 차이는 작았다. 이러한 차이는 일반적인 양안시의 기준에서 타각적 조절래그는 낮게, 자각적 조절래그는 높게 측정된 결과로 판단된다. 또한 자각적 조절래그와 타각적 조절래그의 차이는 통계적으로 유의하지 않으

나 타각적 조절래그 간에는 유의성을 보임으로써 타각적 조절래그가 자각적 조절래그에 비해 변동성이 낮고 민감도가 있는 방법으로 평가된다.

임상에서 눈의 증상은 사위의 이상 정도에 관련 있는 것으로 조절래그와 사위도의 유의한 상관관계는 중요하다. 타각적 조절래그가 사위와의 상관성이 있는 것으로 나타났으며 굴절상태와도 유의한 상관성을 보였다. 특히 Muttii 등이 제시한 식으로 보정한 타각적 조절래그는 보정하지 않은 타각적 조절래그와 높은 상관성을 보였다. 따라서 조절래그의 임상적 활용은 미보정상태의 조절래그를 더 많이 이용한 것으로 볼 때 임상에서 증상과 관련된 조절래그의 정량적 평가는 Muttii 등이 제시한 타각적 유효 조절래그를 고려하여야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2015년 경운대학교 교내학술연구비의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

[1] Garca A, Cacho P. MEM and Nott dynamic retinoscopy in patients with disorders of vergence and accommodation. Ophthalmic Physiol Opt. 2002;22(3):214-220.

[2] Scheiman M, Wick B. Clinical management of binocular vision, 2nd Ed. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins, 2002;72-96, 455-456.

[3] Correction of Myopia Evaluation Trial 2 Study Group for the Pediatric Eye Disease Investigator Group. Accommodative lag by autorefraction and two dynamic retinoscopy methods. Optom Vis Sci. 2009;86(3):233-243.

[4] Seidemann A, Schaeffel F. An evaluation of the lag of accommodation using photorefraction. Vision Res. 2003; 43(4):419-430.

[5] Rosenfield M, Portello JK, Blustein GH, Jang C. Comparison of clinical techniques to assess the near accommodative response. Optom Vis Sci. 1996;73(6):382-388.

[6] Rabbetts RB. Bennett and Rabbetts' clinical visual optics, 4th Ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007;133-134.

[7] Elliott DB. Clinical procedures in primary eye care, 3rd Ed. Edinburgh: Butterworth-Heinemann, 2007;111-112:194-195.

[8] Rosenfield M, Desai R, Portello JK. Do progressing myopes show reduced accommodative responses. Optom Vis Sci. 2002;79(4):268-273.

[9] Mutti DO, Mitchell GL, Hayes JR, Jones LA, Moeschberger ML, Cotter SA et al. Accommodative lag before and after the onset of myopia. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2006;47(3):837-846.

[10] Gwiazda J, Thorn F, Held R. Accommodation, accommodative convergence, and response AC/A ratios before and at the onset of myopia in children. Optom Vis Sci. 2005; 82(4):273-278.

[11] Shim HS, Lee SW, Shim MS, Choi SM, Jang SJ. Accommodative response measurement using both eyes open-view autorefractometer. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2005;10(4):323-328.

[12] Shim HS, Shim MS, Joo SH. A Study of accommodative response on emmetropia. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2006;11(3):187-192.

[13] Han KA, Hwang JH, Mah KC. Objective measurement of accommodative responses with open-field autorefractor. Korean J Vis Sci. 2009;11(1):35-44.

[14] Benzoni JA, Collier JD, McHugh K, Rosenfield M, Portello JK. Does the dynamic cross cylinder test measure the accommodative response accurately. Optometry. 2009; 80(11): 630-634.

[15] Gwiazda J, Thorn F, Bauer J, Held R. Myopic children show insufficient accommodative response to blur. Invest Ophthalmol Vis Sci. 1993;34(3):690-694.

[16] He JC, Gwiazda J, Thorn F, Held R, Vera-Diaz FA. The association of wavefront aberration and accommodative lag in myopes. Vision Res. 2005;45(3):285-290.

[17] Mutti DO, Jones LA, Moeschberger ML, Zadnik K. AC/A ratio, age, and refractive error in children. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2000;41(9):2469-2478.

[18] Yeo AC, Kang KK, Tang W. Accommodative stimulus response curve of emmetropes and myopes. Ann Acad Med Singapore. 2006;35(12):868-874.

[19] Chat SW, Edwards MH. Clinical evaluation of the Shin-Nippon SRW-5000 autorefractor in children. Ophthal Physiol Opt. 2001;21(2):87-100.

[20] Erdfelder E, Faul F, Buchner A. GPower: a general power analysis program. Behav Res Methods Instr Comp. 1996; 28(1):1-11.

[21] Benjamin WJ. Borish's refraction, 2nd Ed. St. Louis: Butterworth Heinemann Elsevier. 2006;968-972.

[22] Duane A. A new classification of the motor anomalies of the eye based upon physiological principles, together with their symptoms, diagnosis, and treatment. Ann Ophthalmol Otol. 1896;5:969-1008.

[23] Cooper JS, Burns CR, Cotter SA, Daum KM, Griffin JR, Scheiman MM. Optometric clinical practice guideline: care of the patient with accommodative and vergence dysfunction. St. Louis: American Optometric Association, 2011;1-9.

[24] Hofstetter HW. Useful age-amplitude formula. Optom World. 1950;38:42-45.

[25] Locke LC, Somers W. A comparison study of dynamic retinoscopy techniques. Optom Vis Sci. 1989;66(8):540-544.

[26] Bae HJ, Yoon MO, Kim HS, Eom JH. The correlation of refractive error and accommodative response. Korean J Vis Sci. 2010;12(2):103-109.

[27] Baarg SB, Jeong YH. The accommodative lag and refractive error in early adults. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2012;17(1):59-65.
[28] Allen PM, O'Leary DJ. Accommodation functions: co-dependency and relationship to refractive error. Vision Res. 2006;46(4):491-505.
[29] Wold JE, Hu A, Chen S, Glasser A. Subjective and objective measurement of human accommodative amplitude. Cataract Refract Surg. 2003;29(10):1878-1888.
[30] Leon AA, Medrano SM, Rosenfield M. A comparison of the reliability of dynamic retinoscopy and subjective measurements of amplitude of accommodation. Ophthalmic Physiol Opt. 2012;32(2):133-141.
[31] Schor C. The influence of interactions between accommodation and convergence on the lag of accommodation. Ophthalmic Physiol Opt. 1999;19(2):134-150.

Characteristics of Accommodative Lags Determined by Objective and Subjective Methods and Their Correlation

Dong-Sik Yu, Ho-Weon Kwak, Byeong-Ho Roh, and Jeong-Sik Son*

Dept. of Optometry and Vision Science, Kyungwoon University, Gumi 39160, Korea
(Received July 28, 2015: Revised August 24, 2015: Accepted September 1, 2015)

Purpose: The aim of this study was to evaluate clinical characteristics of subjective accommodative lags determined by fused cross-cylinder (subjective method), and an open-field autorefractor (objective method) under uncorrected and corrected conditions. **Methods:** Thirty three healthy subjects (26 males and 7 females aged 23.73±1.35 years from 22 to 27 years) participated. Four methods were used to determine accommodative lag: (1) a subjective method with the fused cross-cylinder (FCC) under +2.00 D fogging lenses condition, (2) an objective method with the autorefractor under uncorrected condition (3) a corrected method (effective accommodative lag) using equations presented by Gwiazda *et al*. in objective methods, and (4) a corrected method using equations presented by Mutti et al. in objective methods. **Results:** The mean accommodative lags were 0.72 D for subjective method, 0.82 D for uncorrected objective method, 0.88 D for corrected method with Gwiazda's equations, and 0.78 D for corrected method with Mutti's equations. There were significant differences between the objective accommodative lags, but no significant differences between the objective and subjective accommodative lags. The effective accommodative lags showed significant correlations between phorias and refractive errors. The effective accommodative lag by Mutti's equations had a high correlation with uncorrected accommodative lags ($r=0.99$, $p<0.001$). **Conclusions:** The objective accommodative lag correlated with phorias and refractive errors. Especially, The effective accommodative lag using Mutti's equations may be considered for clinical availability and qualitative evaluation associated with symptoms.

Key words: Accommodative lag, Accommodative response, Autorefractor, Objective, Subjective, Phoria, Refractive error