



Comparison of CA/C Ratio with Different Measuring Methods

Ho-Weon Kwak¹, Hyeong-Su Kim², Byeong-Ho Roh¹, and Sung-Il Hong^{1,*}

¹Dept. of Optometry, Kyungwoon University, Gumi 39160, Korea

²Dept. of Optometry, Kangwon National University, Samcheok 25949, Korea

(Received April 28, 2017; Revised June 9, 2017; Accepted June 20, 2017)

Purpose: To compare the convergence accommodation to convergence (CA/C) ratios with varying prismatic powers and base among three clinical methods. **Methods:** 52 young adult subjects (mean age of 21.68±2.57 years, 32 males and 20 females) with normal binocular vision participated in this study. After measure diatance and near binocular function include phoria test and accomodation, accommodative response was measured using the open-field autorefractor (NVision K-5001, Shin-Nippon, Japan), the Streak Retinoscope (WEL18245, Welch Allyn, America) and the BCC (binocular crossed cylinder). While accommodative response was measuring, prismatic powers and base were also varied. CA/C ratios was calculated base on the accommodative response. **Results:** Accommodative response were high in the order of BCC, AR, and Nott method at all prismatic power and base. As the prismatic power was increased from the prismatic base of the BI to the BO, accommodative response was also gradually increased. The mean of the CA/C ratios in all prismatic powers and bases was higher in the order of BCC, AR, and Nott method. For persons with normal binocular function, the mean of the CA/C ratios measured by 6 Δ, BI was 0.095±0.012 D/Δ in BCC, 0.093±0.012 D/Δ in AR, 0.088±0.009 D/Δ in Nott method, respectively. The mean and standard deviation for 6 Δ, BI was the smallest in all methods and there was no statistically significant difference (F = 2.532, p = 0.085). **Conclusions:** When the CA/C ratios was measured by the Nott method, the most consistent result was obtained regardless of the prismatic power and the base.

Key words: CA/C ratio, Accommodative response, Binocular cross cylinder, Nott retinoscopy, Open field auto-refractor

서 론

현대 사회는 근거리에서 사용하는 여러 가지 기기에 의한 빈번한 시자극으로 과도한 이항운동과 조절작용으로 인해 많은 안정피로가 유발된다.^[1] 이러한 안정피로는 두통, 작열감, 흐림, 안통, 눈의 건조감 그리고 복시 등의 증상을 발생시킨다.^[2,3] 따라서 근거리에서 발생하는 이항운동과 조절의 불균형에 관한 문제의 원인을 정확하게 평가하는 것이 중요하다.

CA/C 비(convergence accommodation to convergence ratio)는 AC/A 비(accommodative convergence to accommodation ratio)와 더불어 근거리에서 이항운동과 조절의 이상을 평가할 수 있는 중요한 임상적 진단법 중 하나이다.^[4,5] 예를 들어, 비정상적인 AC/A 비와 CA/C 비를 가진 사람은 정상적인 사람보다 조절의 오차를 가질 가능성이 더 높으며 폭주부족과 폭주과다를 가진 사람의 경우 비정상적인 AC/A 비와 CA/C 비로 인해 이항운동과 조절의 균형이 맞지 않고, 폭주부족을 가진 경우 낮은 AC/A 비와 높은

CA/C 비를 가질 가능성이 높다.^[6,7]

CA/C 비를 측정하기 위해서는 일정한 검사 거리(40 cm)에서 조절을 유발시키는 흐림을 제거시킨 후 프리즘을 사용하여 이항운동의 변화에 따른 폭주성 조절의 변화를 평가하게 된다. 일반적으로 CA/C 비의 측정은 옵토미터(optometer), 검영기(retinoscope), 개방형 자동굴절력계를 사용하는 타각적 측정법과 BCC(binocular crossed cylinder)를 사용하는 자각적 측정법으로 나뉜다. 조절의 단서를 제거시켜 조절의 open loop 상태로 만들기 위해 핀홀(pinhole)을 눈에 덧대어 검사하거나, DoG 시표(Difference of Gaussian target), 확산 필터(diffuse filter)를 덧댄 흐린 광원, 빛간섭무늬(interference pattern)를 주시타겟으로 사용하기도 한다.^[5,8-12]

핀홀을 통해서 보여지는 이미지는 거리와 눈의 조절상태와 관계없이 선명하게 인식되기 때문에 조절자극이 없는 open loop 상태를 만들 수 있다.^[13,14] 그리고 레이저 광선에 의해 만들어진 점간섭무늬(speckle interference pattern)를 망막에 결상시키면 이러한 무늬는 조절상태에 영향을

*Corresponding author: Sung-Il Hong, TEL: +82-54-479-1337, E-mail: sihong@ikw.ac.kr

주지 않기 때문에 폭주성 조절의 연구에 사용되는 주시타깃으로 효과적이다.^[15] 또한 중앙이 0.2 cpd(cycle per degree)의 낮은 공간주파수를 가진 Gaussian 타깃(DoG target)은 조절자극이 없는(open loop) 상태를 만들어 순수한 폭주성 조절을 효과적으로 측정할 수 있다.^[16]

환자로 하여금 40 cm의 검사거리에서 조절의 유발을 막을 수 있는 이러한 시표를 주시시킨 후 프리즘을 사용하여 이항운동을 다양하게 유발시켜 프리즘을 부가하기 전의 조절반응량과 부가 후의 조절반응량 사이의 차이를 통해 CA/C 비를 계산하게 된다.^[12]

이항운동과 조절의 상관관계를 알아보고 분석하는 방법 중 AC/A 비는 국내, 외에서 많은 연구가 이루어져 임상적으로 흔히 사용되고 있는 반면, CA/C 비는 측정법이 표준화되어 있지 않았으며 측정값들이 다양하게 분석되지 않아 임상에서 활용도가 낮다. 하지만 임상에서 CA/C 비는 이항운동과 조절의 이상을 분석함에 있어 유용하게 이용될 수 있으며 이항운동과 조절의 정확도를 평가하는데 있어 중요한 검사이다.^[8]

본 연구에서는 세 가지 CA/C 비 검사법에서 프리즘 굴절력과 기저방향을 다양하게 변화시켰을 때의 CA/C 비를 측정값을 비교해 보고자 하였다.

대상 및 방법

1. 연구 대상

본 연구의 목적과 취지를 이해하고 동의하며 사시, 정신 질환, 안과적 질환 및 굴절교정 수술을 받은 경험이 없고 원거리 완전교정시력이 1.0 이상이며 최대 난시성 굴절이상도 -0.50 D 미만으로 양안시의 기능적 문제가 없는 20대 대학생 52명(평균 21.68 ± 2.57 세, 남자 32명, 여자 20명)을 대상하였다. 대상자들의 평균 원거리 사위도는 -1.25 ± 1.20 Δ,

Table 1. Demographic and refractive characteristics of subjects

Characteristics	Mean±SD
Mean age (yr)	21.68±2.57
Gender (male/female)	32 / 20
Refractive errors (diopters for SE)	OD -3.01±2.09
	OS -2.76±2.17
Phoria (Δ)	Distance -1.25±1.20
	Near -2.56±1.80
AA (D)	9.07±1.82
PD (mm)	64.00±2.56

SE: spherical equivalent, OD: Oculus dexter, OS: Oculus sinister, Δ: prism diopter, AA: amplitude of accommodation, PD: pupillary distance

근거리 사위도는 -2.56 ± 1.80 Δ이었으며 양성융합력은 22.80 ± 5.43 Δ, 음성융합력은 20.40 ± 4.11 Δ로 나타났다 (Table 1).

2. 연구 방법

문진을 포함한 예비검사는 모두 동일한 검사자에 의해 이루어졌으며 예비검사에는 자동포롭터(VT-SE, Topcon, Japan)를 이용한 자각적 굴절검사, 최대 조절력, 원-근거리 사위량, 양성상대폭주, 음성상대폭주, 양성상대조절, 음성상대조절 검사가 포함되었다. 세 가지 검사법을 사용하여 CA/C 비가 평가되었으며 각각의 이항운동 자극에는 프리즘이 사용되었고 조절반응량을 측정하기 위해 (1) 개방형 자동굴절력계(NVision K-5001, Shin-Nippon, Japan), (2) 검영기(Streak Retinoscope WEL18245, Welch Allyn, USA) 그리고 (3) 양안크로스실린더(binocular crossed cylinder, BCC)가 사용되었다. 세 가지 검사 장비에서 각각의 대상자들에게 대한 장비의 측정 순서는 무작위로 선택하였으며 각각의 검사 사이에는 30분 이상의 간격을 두었다. 시표의 거리는 40 cm를 유지하였고 검사 시의 오차를 줄이기 위하여 5번을 측정하여 평균값을 대푯값으로 기록하였다. 또한 모든 대상자들은 검사를 시작하기 전 최소 30분 동안 그리고 각 검사 사이에는 어떠한 근거리 작업도 하지 않도록 교육시켰다.

1) 사위검사

사위검사는 하웰 시표(Howell card)를 사용하였으며, 원거리 사위검사는 3 m, 근거리 사위검사는 40 cm에서 측정하였다. 피검자가 양안개방상태에서 원용 완전교정시력 1.0 이상일 때 하웰 시표를 주시하게 한 후 우안에 6 Δ, BD(base down)을 장입시켜 시표가 상하로 분리되었는지 여부를 확인하고 위쪽에 위치한 시표의 화살표가 아래쪽 시표에서 가리키는 숫자와 방향을 말하도록 하여 사위량을 측정하였으며 내사위의 경우 (+) 부호를, 외사위 경우 (-) 부호를 붙여 기록하였다. 이 때 모건의 표준값(Morgan's norm)^[17-19]에 따라 원거리 사위량은 1 ~ -3 Δ, 근거리 사위량은 0 ~ -6 Δ 까지를 정위로 분류하였다.

2) CA/C 비 측정

① BCC(binocular crossed cylinder) 측정법

BCC 측정법은 자각적 굴절검사기인 포롭터를 이용하여 CA/C 비를 측정하는 대표적인 방법이다. CA/C 비를 측정하기 전에 PD자를 이용하여 근거리 PD(pupillary distance)를 측정하였다. 자동포롭터로 원거리 굴절이상을 완전교정한 양안 개방상태에서 근거리 PD로 세팅하였으며 피검자에게 근거리 40 cm에 위치한 십자시표를 주시

하게 한 후 ± 0.50 D의 크로스실린더를 장입하였다. 구면 렌즈를 이용하여 가로선과 세로선이 동시에 선명하게 보이는 지점에서 프리즘 자극이 없는 0 Δ 일 때의 조절반응량을 측정하였다. 이 후 총 프리즘을 6 Δ , 12 Δ , 18 Δ 의 순서로 BI과 BO의 기저방향으로 각각 바꾸어가며 양안에 나누어 프리즘을 장입 후 구면렌즈를 이용하여 십자시표의 가로선과 세로선이 동시에 선명한 지점을 찾아 조절반응량을 측정하였다.

$$CA/C = (\text{mean BCC with prism} - \text{mean BCC with no prism}) / \text{prism power}^{[8]}$$

이 공식에서 프리즘의 기저방향이 BI인 경우 (-) 부호, BO은 (+) 부호를 가진다.

② Nott 측정법(Nott dynamic retinoscopy)

자동포롭터를 이용하여 피검자의 원거리 굴절이상을 완전교정시켰으며 CA/C 비를 측정하기 전에 근거리 PD에 맞추어 포롭터를 조정하였다. 주시타깃은 웨슨 주시시차카드(Wesson fixation card, Bernell, USA)의 뒷면에 위치한 DoG 시표를 이용하였다. DoG 시표는 경계가 불분명한 두 개의 검정색 줄무늬 사이에 밝은 줄무늬로 구성된 시표로 조절의 단서를 배제시키기 위해 제작된 시표이다.^[13] CA/C 비의 측정은 자동포롭터의 근용 막대를 이용하여 40 cm의 거리에서 중앙에 구멍을 뚫은 DoG 시표를 위치시키고 피검자에게 그 시표를 주시하게 한 후 우안에 구면굴절력 렌즈를 가입하여 중화점을 찾아 이항운동의 자극이 없는 0 Δ 에서 조절반응량을 측정하였다. 그 후, 프리즘을 6 Δ , 12 Δ , 18 Δ 의 순서로 BI과 BO의 기저방향으로 각각 바꾸어가며 좌안에 프리즘을 장입 후 우안에서 구면렌즈를 이용하여 중화점을 찾아 조절반응량을 평가하였다.

$$CA/C = (\text{mean Nott with prism} - \text{mean Nott with no prism}) / \text{prism power}^{[8]}$$

이 공식에서 프리즘의 기저방향이 BI인 경우 (-) 부호, BO은 (+) 부호를 가진다.

③ 개방형 자동굴절력계(open field auto-refractor, AR) 측정법

타각적 굴절검사기기 중 개방형 자동굴절력계인 NVision K-5001(Shin-Nippon, Japan)은 임상에서 눈의 조절상태를 용이하고 효과적으로 측정할 수 있는 장비이다.^[20,21] CA/C 비를 측정하기 전에 자동포롭터를 이용하여 대상자의 원거리 굴절이상을 완전교정시켰으며, 시험테에 그 굴절력에 해당하는 시험렌즈를 장입하여 착용시킨 상태에서 개방형 자동굴절력계의 근거리 막대에 DoG 시표를 고정시킨 후 40 cm거리에서 주시시켰다. 프리즘을 가입하지

않은 상태에서 조절반응량을 측정한 후, 프리즘을 6 Δ , 12 Δ , 18 Δ 의 순서로 BI과 BO의 기저방향으로 각각 바꾸어가며 좌안에 장입 후 우안에서 조절반응량을 평가하였다.

$$CA/C = (\text{mean AR with prism} - \text{mean AR with no prism}) / \text{prism power}^{[8]}$$

이 공식에서 프리즘의 기저방향이 BI인 경우 (-) 부호, BO은 (+) 부호를 가진다.

본 연구에서는 일정한 주시거리에서 측정이 이루어졌고 D/ Δ (diopter/prism diopter)를 측정 단위로 사용하였으며 폭주를 유발시키는 BO(base out) 프리즘의 경우 (+) 부호를, 개산을 유발시키는 BI(base in) 프리즘의 경우 (-) 부호를 붙여 계산 하였다. 또한 프리즘을 부가하여 조절반응량을 측정할 때, 프리즘적응(prism adaptation) 현상^[6,22-24]을 최대한 배제시키기 위해 (1) 한 쪽 방향의 기저 방향으로 연속해서 검사를 하지 않으며, (2) 각각의 측정 시간은 10초를 넘지 않도록 하였고, (3) 각각의 측정 사이에는 30초 동안 눈을 감고 휴식을 취하도록 하였다. 18 Δ , BI의 경우, CA/C 비가 측정된 경우는 있었으나 양안시적으로 이상이 없는 대상자의 경우에도 융합이 어려운 경우가 많아 모두 결과에서 제외시켰다. 검사 시 오차를 줄이기 위해 5번 측정하여 평균값을 대푯값으로 기록하였다.

3. 자료 처리 및 분석

본 연구에서는 SPSS(Ver. 20.0 for Windows, SPSS Inc, USA)를 사용하여 프리즘 굴절력별 조절반응량과 측정방법에 따른 CA/C 비를 비교하기 위해 반복측정 분산분석(repeated measure ANOVA)을 시행하였고, 유의확률 $p < 0.05$ 일 때 통계적으로 유의한 차이가 있다고 판단하였다.

결과 및 고찰

1. 프리즘 굴절력별 측정방법에 따른 조절반응량 비교

Table 2에 제시된 것과 같이 프리즘 자극이 없는 상태(0 Δ)에서의 조절반응량은 BCC 측정법 2.54 \pm 0.22 D, AR 측정법 2.07 \pm 0.24 D, Nott 측정법 1.61 \pm 0.20 D의 순으로 크게 나타났으며, 각 검사법 간에 통계적으로 유의한 차이를 보였다($F = 35.773$, $p = 0.000$).

6 Δ , BO에서의 조절반응량은 BCC 측정법 3.25 \pm 0.19 D, AR 측정법 2.62 \pm 0.27 D, Nott 측정법 2.13 \pm 0.21 D의 순으로 크게 나타났고($F = 39.930$, $p = 0.000$), 12 Δ , BO의 경우 BCC 측정법 3.86 \pm 0.24 D, AR 측정법 3.13 \pm 0.30 D, Nott 측정법 2.64 \pm 0.28 D의 순으로 크게 나타났으며($F = 49.085$, $p = 0.000$), 18 Δ , BO의 경우 BCC 측정법 5.01 \pm 0.23 D, AR 측정법 3.94 \pm 0.28 D, Nott 측정법 3.23 \pm 0.22 D의 순으로

Table 2. Accommodative response between each methods and prism powers (accommodative stimulus = 40 cm / 2.50 D, n = 52)

Prism (Δ)	Accommodative response (Diopters, mean \pm SD)				
	BCC ^(a)	AR ^(b)	Nott ^(c)	F/p-value	Post-hoc (LSD)
18 Δ BO	5.01 \pm 0.23	3.94 \pm 0.28	3.23 \pm 0.22	64.572/0.000	a>b>c
12 Δ BO	3.86 \pm 0.24	3.13 \pm 0.30	2.64 \pm 0.28	49.085/0.000	a>b>c
6 Δ BO	3.25 \pm 0.19	2.62 \pm 0.27	2.13 \pm 0.21	39.930/0.000	a>b>c
0 Δ	2.54 \pm 0.22	2.07 \pm 0.24	1.61 \pm 0.20	35.773/0.000	a>b>c
6 Δ BI	1.97 \pm 0.22	1.51 \pm 0.17	1.08 \pm 0.16	37.850/0.000	a>b>c
12 Δ BI	1.44 \pm 0.30	1.12 \pm 0.18	0.75 \pm 0.17	39.851/0.000	a>b>c

Δ : prism diopter, BO: base out, BI: base in, SD: standard deviation, MD: mean difference, SE: standard error, AR: auto-refractor, Nott: Nott dynamic retinoscopy, BCC: binocular crossed cylinder, Least significant difference: multiple *post hoc* comparison, LSD: Fisher's Least Significant Difference

크게 나타났고(F = 64.572, p = 0.000). BO의 기저방향에서 측정된 조절반응량은 모든 프리즘 굴절력에서 BCC 측정법이 가장 높게 나타났으며 Nott 측정법에서 가장 낮게 나타났고 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Table 2).

6 Δ , BI에서의 조절반응량은 BCC 측정법 1.97 \pm 0.22 D, AR 측정법 1.51 \pm 0.17 D, Nott 측정법 1.08 \pm 0.16 D의 순으로 크게 나타났고(F = 37.850, p = 0.000). 12 Δ , BI의 경우 BCC 측정법 1.44 \pm 0.30 D, AR 측정법 1.12 \pm 0.18 D, Nott 측정법 0.75 \pm 0.17 D의 순으로 크게 나타났고(F = 39.851, p = 0.000). BI의 기저방향에서 측정된 조절반응량 역시 모든 프리즘 굴절력에서 BCC 측정법에서 가장 높게 나타났고 Nott 측정법에서 가장 낮게 나타났으며 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Table 2).

조절반응량의 경우, BI에서 BO의 기저방향으로 프리즘 굴절력(Δ)이 증가할수록 조절반응량이 점차 높아지는 선형의 관계가 있는 것으로 나타났다(Table 1). 이러한 조절반응과 프리즘 굴절력 사이의 상관관계는 Hirani와 Firth^[12]의 선행연구에서도 동일하게 나타났다. 즉, BO 프리즘을 눈앞에 가입하게 되면 폭주에 의한 양성 폭주성 조절을 유발하여 조절반응량은 증가하게 되며, BI 프리즘을 눈앞에 부가하게 되면 개산에 의한 음성 폭주성 조절로 인해 조절반응량은 감소하게 된다.

자각적 측정법인 BCC 측정법에 의한 조절반응량이 타각적 측정법인 AR 측정법과 Nott 측정법보다 높게 측정되는 이유는 크로스실린더에 의해 만들어지는 두 경선에 의해 다소 애매모호한 조절반응을 보이기 때문이며,^[6] 이러한 자극은 광학적 무한대인 상태에서도 흐림에 의한 반사성 조절(reflex accommodation)을 유발시켜 조절체계를 약 1.70 D의 긴장성 조절상태(tonic accommodation)로 만드는 경향이 있다.^[25,26] 또한 어떠한 사람에서는 수직을 이루는 두 선 중에서 하나를 더 선호하기도 하고 렌즈를 사용하게 되면 시표의 겉보기 거리(apparent distance)도 달

라져 조절반응의 측정에 영향을 줄 수 있다.^[27] Yu 등^[11]의 연구에서도 자각적 조절반응은 타각적 조절반응에 비해 변동성이 크다고 하였으며, 자각적 방법과 타각적 방법을 이용하여 측정된 조절반응량 비교에서 자각적 방법이 크게 나타나는 것 또한 본 연구의 결과와 일치하였다. 더불어

Table 3. Convergence accommodation to convergence (CAC) ratios between methods and prism powers (n = 52)

Methods	Prism power (Δ)	Mean \pm SD (D/ Δ)	F/p-value	Post-hoc (LSD)
BCC	18 Δ BO ^(a)	0.137 \pm 0.037	3.687/0.006	a>b,c>d,e
	12 Δ BO ^(b)	0.110 \pm 0.026		
	6 Δ BO ^(c)	0.118 \pm 0.017		
	6 Δ BI ^(d)	0.095 \pm 0.012		
	12 Δ BI ^(e)	0.092 \pm 0.025		
	Total	0.110 \pm 0.027		
AR	18 Δ BO ^(a)	0.104 \pm 0.035	2.855/0.025	a>b,c,d>e
	12 Δ BO ^(b)	0.088 \pm 0.029		
	6 Δ BO ^(c)	0.092 \pm 0.015		
	6 Δ BI ^(d)	0.093 \pm 0.012		
	12 Δ BI ^(e)	0.079 \pm 0.023		
	Total	0.091 \pm 0.023		
Nott	18 Δ BO ^(a)	0.090 \pm 0.027	2.616/0.036	a,b,c,d>e
	12 Δ BO ^(b)	0.086 \pm 0.020		
	6 Δ BO ^(c)	0.087 \pm 0.011		
	6 Δ BI ^(d)	0.088 \pm 0.009		
	12 Δ BI ^(e)	0.072 \pm 0.021		
	Total	0.084 \pm 0.018		

SD: standard deviation, BO: base out, BI: base in, AR: auto-refractor, Nott: Nott dynamic retinoscopy, BCC: binocular crossed cylinder, Least significant difference: multiple *post hoc* comparison, LSD: Fisher's Least Significant Difference

어 타각적 측정법에서도 개방형 자동굴절력계를 이용하여 측정된 조절반응량이 Nott 측정법보다 더 높게 측정된 이유는 눈앞에 위치하는 장비에 의해 유발되는 근접성 조절 (proximal accommodation)량이 결과 값에 추가되어 나타난 것으로 생각된다.^[28]

2. 프리즘 굴절력별 측정방법에 따른 CA/C 비 비교

Table 3은 측정방법에 따른 각 프리즘 굴절력별 CA/C 비를 나타내었다. BCC 측정법으로 평가된 CA/C 비는 18 Δ, BO에서 0.137±0.037 D/Δ로 가장 높게 나타났고 12 Δ, BI에서 0.092±0.025 D/Δ로 가장 낮게 나타났으며 각 프리즘 굴절력에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다 (F = 3.687, p = 0.006). AR 측정법으로 평가된 CA/C 비는 18 Δ, BO에서 0.104±0.035 D/Δ로 가장 높게 나타났고 12 Δ, BI에서 0.079±0.023 D/Δ로 가장 낮게 나타났으며 각 프리즘 굴절력에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다(F = 2.855, p = 0.025). Nott 측정법으로 평가된 CA/C 비는 18 Δ, BO에서 0.090±0.027 D/Δ로 가장 높게 나타났고 12 Δ, BI에서 0.072±0.021 D/Δ로 가장 낮게 나타났으며 각 프리즘 굴절력에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다(F = 2.616, p = 0.036).

CA/C 비의 전체 평균은 BCC 측정법(0.110±0.027 D/Δ), AR 측정법(0.091±0.023 D/Δ), Nott 측정법(0.084±0.018 D/Δ) 순으로 높게 나타났다(Table 3). 20대 젊은 성인을 대상으로 개방형 자동굴절력계 측정법을 사용하여 평가된 CA/C 비에 대한 선행연구에서 Simmons와 Firth^[29]는 10 Δ, BO에서 0.110±0.056 D/Δ, 5 Δ, BO에서 0.108±0.074 D/Δ, 5 Δ, BI에서 0.100±0.090 D/Δ, 10 Δ, BI에서 0.089±0.055 D/Δ로 CA/C 비의 전체 평균은 0.102±0.069 D/Δ라고 하여 본 연구와 비슷한 결과를 보였다.

모든 측정법에서 프리즘 굴절력의 변화에 따른 CA/C 비는 일정한 선형관계(linearity)를 보이지 않았다(Fig. 1). CA/C 비에서 나타나는 이러한 비선형성은 높은 프리즘 굴절력에서 융합을 유지하기 위한 개개인의 융합력 차이, 타각의 융합을 유지시키려는 수의적인 폭주유발, DoG 시표를 오랫동안 주시할 때 융합을 유지할 수 있는 능력의 차이에서 그 이유를 찾을 수 있다.^[12,29] 본 연구에서도 프리즘 굴절력이 증가할수록 모든 검사법에서 표준편차가 증가하는 경향을 보여 이러한 변동성이 작용한 것으로 보인다.

Table 4에서는 프리즘 굴절력별 측정방법에 따른 CA/C 비를 반복측정 ANOVA를 통해 비교하였다. 모든 프리즘 굴절력에서 BCC 측정법으로 측정된 CA/C 비가 가장 높게 나타났으며 Nott 측정법에서 가장 낮게 나타났고, 프리즘 굴절력이 증가할수록 평균 CA/C 비에 대한 표준편차

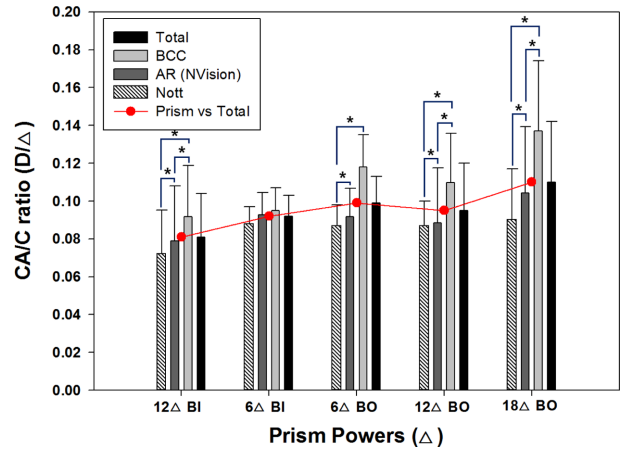


Fig. 1. Mean and standard deviation between methods and prism diopters (n=52). (D: diopter, Δ: prism diopter, BI: Base in, BO: base out, Nott: Nott dynamic retinoscopy, BCC: binocular crossed cylinder, AR: auto-refractor)

Table 4. Mean and standard deviation between methods of the differences with prism powers (n = 52)

Prism power (Δ)	Methods	Mean±SD (D/Δ)	F/p-value	Post-hoc (LSD)
18 Δ BO	BCC ^(a)	0.137±0.037	256.214/0.000	a>b>c
	AR ^(b)	0.104±0.035		
	Nott ^(c)	0.090±0.027		
	Total	0.110±0.032		
12 Δ BO	BCC ^(a)	0.110±0.026	27.628/0.000	a>b>c
	AR ^(b)	0.088±0.029		
	Nott ^(c)	0.086±0.020		
	Total	0.095±0.025		
6 Δ BO	BCC ^(a)	0.118±0.017	24.245/0.000	a>b,c
	AR ^(b)	0.092±0.015		
	Nott ^(c)	0.087±0.011		
	Total	0.099±0.014		
6 Δ BI	BCC ^(a)	0.095±0.012	2.532/0.085	a,b,c
	AR ^(b)	0.093±0.012		
	Nott ^(c)	0.088±0.009		
	Total	0.092±0.011		
12 Δ BI	BCC ^(a)	0.092±0.025	48.365/0.000	a>b>c
	AR ^(b)	0.079±0.023		
	Nott ^(c)	0.072±0.021		
	Total	0.081±0.023		

* p-values of less than 0.05 indicate statistically significant difference, SD: standard deviation, BO: base out, BI: base in, AR: auto-refractor, Nott: Nott dynamic retinoscopy, BCC: binocular crossed cylinder

가 증가하는 경향을 나타냈다(Table 3).

프리즘 굴절력이 증가할수록 표준편차가 크게 나타난

것은 위에서 설명된 추가적으로 작용한 수의성 폭주 이외에도 프리즘 굴절력이 증가함에 따라 주시편차(fixation disparity) 증가로 유발된 이항운동 반응량의 오차가 더 크게 유발되기 때문으로 사료된다.^[30] 또한 BO 프리즘의 경우 BI 프리즘보다 프리즘적응 현상이 더 크게 나타나기 때문에 특히 높은 프리즘 굴절력의 BO 프리즘을 사용하는 경우에는 측정을 빠르게 진행한다고 해도 프리즘 장입 후 10~15초가 경과하게 되면 빠른 융합버전스의 작용으로 일정한 이항운동 자극을 유지하기가 어려울 수 있다.^[22-24,31] 이러한 프리즘적응 현상은 시간이 경과할수록 증가하기 때문에 만약 프리즘의 기저를 한 방향에만 둔 채 프리즘 굴절력을 계속해서 증가시켜 반복적으로 동일한 방향으로 이항운동을 자극하게 되면 프리즘적응 현상이 증가할 수 있다.^[31] 따라서 본 연구에서는 각각의 프리즘 굴절력을 가입시킬 때 BI와 BO의 기저 방향을 번갈아 위치시킨 상태에서 조절반응량을 측정(예를 들어, 6 Δ, BI을 부가한 후, 6 Δ, BO을 부가)하여 프리즘적응 현상을 최소화하려고 노력하였다.

Goss 등^[8]은 8 Δ, BO 프리즘을 사용한 CA/C 비의 비교에서 각각적 측정법인 BCC 측정법과 타각적 측정법인 Nott 측정법 사이에서 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다고 보고하였으며, 본 연구에서도 6 Δ, BI 프리즘을 사용한 경우를 제외하고($F = 2.532, p = 0.085$) 모든 프리즘 굴절력에서 각각적 측정법인 BCC 측정법과 타각적 측정법인 Nott 측정법, AR 측정법 사이에서 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다(Table 4).

본 연구에서는 프리즘 굴절력의 증가에 따른 CA/C 비의 변화를 평가하기 위해 최대 프리즘 굴절력을 18 Δ, BO에서 18 Δ, BI까지로 설정하였다. 하지만 BI의 기저방향으로 이 정도 크기의 프리즘 굴절력을 사용하여 CA/C 비를 평가할 경우, 정상 양안시를 가진 사람의 경우에도 융합력의 한계점^[17-19] 근처에서 측정되기 때문에 측정을 하는 동안 융합을 계속해서 유지하는 것이 어려웠다. 따라서 본 연구에서는 18 Δ, BI으로 측정된 결과는 최종 분석에서 제외시켰다.

각각적 방법인 BCC 측정법의 경우, 타각적 검사법에 비해 각각의 프리즘 굴절력과 기저방향에 따른 측정치의 범위가 컸다(Table 3). 타각적 방법 중 AR 측정법의 경우 6 Δ, BI에서 12 Δ, BO 사이에서 통계적으로 유의한 차이가 나지 않았으며, Nott 측정법의 경우 6 Δ, BI에서 18 Δ, BO의 범위에서 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않아 12 Δ, BI을 제외하고는 일정한 결과를 얻을 수 있었다.

다만 프리즘을 사용한 측정법의 경우 프리즘적응 현상에 의해 측정 시간이 흐를수록 프리즘적응 현상이 점점 증가하고 BO 프리즘이 BI 프리즘보다 프리즘적응 현상이

더 크게 나타난다.^[6,30] 또한 BO 방향의 프리즘 굴절력이 증가할수록 선형적으로 동공의 크기는 감소하게 되어 초점심도의 증가에 의한 오차가 발생할 가능성도 높아진다.^[32] 더불어 높은 프리즘 굴절력이 사용될 경우 측정시간이 지체되면 측정오차를 유발할 수 있다. 따라서 이러한 프리즘적응 현상과 측정시간의 지체에 의한 오차를 줄이기 위해서는 각각의 프리즘 굴절력과 기저방향을 바꿀 때 가능한 지체 시간을 최소화하려는 노력이 필요할 것이다.

결론

프리즘 굴절력과 기저방향에 따른 세 가지 측정법(BCC 측정법, AR 측정법, Nott 측정법)에서의 CA/C 비를 비교 분석하였다.

1. 모든 프리즘 굴절력과 기저방향에서 CA/C 비는 BCC 측정법, AR 측정법, Nott 측정법 순으로 크게 나타났다.
2. 각각적 방법인 BCC 측정법의 경우, 6 Δ, BI을 제외하고 각각의 프리즘 굴절력과 기저방향에 따른 CA/C 비의 평균 차이와 표준편차가 크게 나타났다.
3. 타각적 방법 중 AR 측정법의 경우, 6 Δ, BI에서 12 Δ, BO 사이에서 통계적으로 유의한 차이가 나지 않았다.
4. 타각적 방법 중 Nott 측정법의 경우, 6 Δ, BI에서 18 Δ, BO의 범위에서 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않아 12 Δ, BI을 제외하고는 일정한 결과를 얻을 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2017년 경운대학교 교내학술지원비로 연구되었습니다.

REFERENCES

- [1] Vilela MA, Castagno VD, Meucci RD, Fassa AG. Asthenopia in schoolchildren. *Clin Ophthalmol.* 2015;28(9):1595-1603.
- [2] Nakazawa T, Okubo Y, Suwazono Y, Kobayashi E, Komine S, Kato N et al. Association between duration of daily VDT user and subjective symptoms. *Am J Ind Med.* 2002; 42(5):421-426.
- [3] Jeon 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.
- [4] Goss DA. Pratt system of clinical analysis of accommodation and convergence. *Optom Vis Sci.* 1989;66(11):805-806.
- [5] Daum KM, Rutstein RP, Houston G 4th, Clore KA, Corliss DA. Evaluation of a new criterion of binocularity.

- Optom Vis Sci. 1989;66(4):218-228.
- [6] Schor CM, Narayan V. Graphical analysis of prism adaptation, convergence accommodation, and accommodative convergence. *Am J Optom Physiol Opt.* 1982;59(10):774-784.
- [7] Schor C. The influence of interactions between accommodation and convergence on the lag of accommodation. *Ophthalmic Physiol Opt.* 1999;19(2):134-150.
- [8] Goss DA, Vatnsdal P, Babinsky E, Candy TR. Comparison of three methods of measuring CA/C ratios. *Optometry & Visual Performance.* 2015;3(1):14-25.
- [9] Lee MH, Yu DS. CA/C ratio of adults in their early twenties with normal binocular vision. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2012;17(2):153-158.
- [10] Roh BH, Yu DS, Son JS, Kwak HW. Comparison between response AC/A and CA/C ratio according to additional spherical powers and prism powers. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2015;20(3):341-347.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] Fincham EF. The proportion of ciliary muscular force required for accommodation. *J Physiol.* 1955;128(1):99-112.
- [14] Fincham EF, Walton J. The reciprocal actions of accommodation and convergence. *J Physiol.* 1957;137(3):488-508.
- [15] Kersten D, Legge GE. Convergence accommodation. *J Opt Soc Am.* 1983;73(3):332-338.
- [16] Tsuetaki TK, Schor CM. Clinical method for measuring adaptation of tonic accommodation and vergence accommodation. *Am J Optom Physiol Opt.* 1987;64(6):437-449.
- [17] Morgan MW. The clinical aspects of accommodation and convergence. *Optom Vis Sci.* 1944;21(8):301-313.
- [18] Morgan MW. Analysis of clinical data. *Optom Vis Sci.* 1944;21(12):447-491.
- [19] Scheiman M, Wick B. Clinical management of binocular vision: heterophoric, accommodative, and eye movement disorders, 4th Ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2013;52-54.
- [20] Wolffsohn JS, Gilmartin B, Mallen EA, Tsujimura S. Continuous recording of accommodation and pupil size using the Shin-Nippon SRW-5000 autorefractor. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2001;21(2):108-113.
- [21] Davies LN, Mallen EA, Wolffsohn JS, Gilmartin B. Clinical evaluation of the Shin-Nippon NVision-K 5001/Grand Seiko WR-5100K autorefractor. *Optom Vis Sci.* 2003;80(4):320-324.
- [22] Sethi B. Vergence adaptation: a review. *Doc Ophthalmol.* 1986;63(3):247-263.
- [23] Henson DB, North R. Adaptation to prism-induced heterophoria. *Am J Optom Physiol Opt.* 1980;57(3):129-137.
- [24] Pickwell LD, Kurtz BH. Lateral short-term prism adaptation in clinical evaluation. *Ophthalmic Physiol Opt.* 1986;6(1):67-73.
- [25] Owens DA. The Mandelbaum effect: evidence for an accommodative bias toward intermediate viewing distances. *J Opt Soc Am.* 1979;69(5):646-652.
- [26] Leibowitz HW, Owens DA. Night myopia and the intermediate dark focus of accommodation. *J Opt Soc Am.* 1975;65(10):1121-1128.
- [27] Westheimer G. Accommodation levels during near crossed-cylinder test. *Am J Optom Arch Am Acad Optom.* 1958;35(11):599-604.
- [28] Wesner MF, Miller RJ. Instrument myopia conceptions, misconceptions, and influencing factors. *Doc Ophthalmol.* 1986;62(3):281-308.
- [29] Simmons JM, Firth AY. Convergence accommodation to convergence CA/C ratio: convergence versus divergence. *Strabismus.* 2014;22(3):120-124.
- [29] Brenk-Krakowska A, Szady M, Naskrecki R. Fixation disparity curve in dyslexic adults. *Opt Appl.* 2012;42(4):805-820.
- [31] Kwon MJ, Jeon IC, Byun JW, Mah KC. The analysis of prism adaptation by prism-induced deviation changes. *Korean J Vis Sci.* 2009;11(4):293-306.
- [32] Alpern M, Mason GL, Jardinico RE. Vergence and accommodation. V. Pupil size changes associated with changes in accommodative vergence. *Am J Ophthalmol.* 1961;52:762-767.

측정 방법에 따른 CA/C 비의 비교

곽호원¹, 김형수², 노병호¹, 홍성일^{1,*}

¹경운대학교 안경광학과, 구미 39160

²강원대학교 안경광학과, 삼척 25949

투고일(2017년 4월 28일), 수정일(2017년 6월 9일), 게재확정일(2017년 6월 20일)

목적: 본 연구에서는 세 가지 CA/C 비 검사법에서 프리즘 굴절력과 기저방향을 다양하게 변화시켰을 때의 CA/C 비를 측정값을 비교해 보고자 하였다. **방법:** 양안시 기능적 문제가 없는 20대 대학생 52명(평균 21.68±2.57세, 남자 32명, 여자 20명)을 대상으로 주시거리 40 cm에서 원, 근거리 사위검사를 포함한 양안시 기능 검사와 조절력 검사를 진행 후 개방형 자동굴절력계 (NVision K-5001, Shin-Nippon, Japan), 검영기(Streak Retinoscope WEL18245, Welch Allyn, America) 그리고 BCC (binocular crossed cylinder)를 이용하여 프리즘 굴절력과 기저방향에 따른 조절반응량을 측정하여 CA/C 비를 평가하였다. **결과:** 검사법간 조절반응량은 모든 프리즘 굴절력과 기저방향에서 BCC 측정법, AR 측정법, Nott 측정법의 순으로 크게 나타났으며 BI의 프리즘 기저방향에서 BO 방향으로 프리즘 굴절력이 증가할수록 점차 증가하는 선형관계를 나타냈다. 모든 프리즘 굴절력과 기저방향에서 평균 CA/C 비는 BCC 측정법, AR 측정법, Nott 측정법 순으로 크게 나타났다. 정상 양안시 기능을 가진 사람의 경우 6 Δ, BI으로 측정된 CA/C 비의 평균은 BCC 측정법 0.095±0.012 D/Δ, AR 측정법 0.093±0.012 D/Δ, Nott 측정법 0.088±0.009 D/Δ 순으로 높게 평가되었으며 모든 검사법 사이에서 평균과 표준편차가 가장 적었고 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(F = 2.532, p = 0.085). **결론:** 모든 측정법 중 Nott 측정법으로 CA/C 비를 측정했을 때 프리즘 굴절력과 기저방향에 관계없이 가장 일정한 결과를 얻을 수 있었다.

주제어: CA/C 비, 조절반응, 양안크로스실린더, Nott 검영법, 개방형 자동굴절력계