

Influence of Uncorrected Myopic and Astigmatic Refractive Error on the Ocular Counter-roll

Kwang-Keun Oh^{1,a}, Hyun Gug Cho^{2,b}, Byeong-Yeon Moon^{2,c}, Sang-Yeob Kim^{2,d}, and Dong-Sik Yu^{2,e,*}

¹Dept. of Optometry, Kangwon National University, Lecturer, Samcheok, 25949, Korea

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

(Received May 25, 2020: Revised June 3, 2020: Accepted July 14, 2020)

Purpose: This study aimed to evaluate the influences of uncorrected myopic and astigmatic refractive error on the ocular counter-roll (OCR). **Methods:** Forty-five college students (mean age 21.98±1.96 years) participated in this study. All subjects underwent a measurement of the OCR at head tilts of 10°, 20°, 30° in the right and left directions using a slit lamp microscope with an ophthalmic camera during fixation at a target of 40 cm distance in an uncorrected refractive error. **Results:** When the uncorrected myopia group less than -3.00 D and over -3.00 D were compared, a significant difference was found in the mean OCR in the condition of head tilt 10° (to the right: $p=0.011$, left: $p=0.033$). The mean differences of OCR between the astigmatism group less than -1.00 D and over -1.00 D were significant in conditions of 10° to the right and 20° to the left directions (to the right 10°: $p=0.028$, left: $p=0.004$). Although not statistically significant, the mean OCR increased as the amount of uncorrected refractive error increased in all groups. In the correlation analysis, both the myopia and astigmatism groups showed a positive correlation on the right and left at head tilt 10° (to the right: $r=0.379$, 0.460 , left: $r=0.341$, 0.394 , respectively), and the left head tilt 20° in the astigmatism group ($r=0.465$) also showed a positive correlation ($r=0.465$). **Conclusions:** The amount of uncorrected myopic and astigmatic refractive errors had an influence on the mean OCR. Therefore, the full correction of refractive error may be warranted to prevent the occurrence of unnecessary OCR.

Key words: Ocular torsion, Ocular counter-roll, Iris image, Slit lamp microscope, Refractive error

서 론

안구 회선(ocular torsion)은 안축을 기준으로 안구가 회전하는 것을 의미하며, 각막의 수직부분의 위쪽(12시 방향)을 기준으로 귀방향으로 회전하면 외회선(excyclo), 코방향으로 회전하면 내회선(encyclo)으로 정의한다.^[1] 이러한 안구 회선은 편심된 주시선 또는 눈모음에 의해 유발되는 안구 회선, 전정 안구 반사(vestibular ocular reflex)로 인해 발생하는 안구 회선, 주시선에 대해 동적인 변화로 발생하는 안구 회선으로 나뉜다.^[2] 이 가운데, 전정 안구 반사에 의해 발생하는 안구 회선인 ocular counter-roll(OCR)은 망막의 상을 안정화시키기 위해 발생하는 보상성 안구운동이며 주로 몸이나 머리가 기울 때 발생하며 기울기의 반대 방향으로 안구가 회전하는 것으로 정의된다.^[3] 전정 안구 반사는 말초 감각기관(peripheral sensory apparatus), 중심 처리과정(central processing mechanism), 외안근 운동

(motor output)의 세 가지 구성요소를 갖는다.^[4] 앞의 구성요소 중 말초 감각기관에는 2가지 안구 반사가 포함된다. 첫 번째는 머리의 회전 운동에 대응하며, 반고리관(semicircular canals)에 의해 발생하는 반고리관-안구 반사(angular vestibular ocular reflex)이고, 두 번째는 중력 및 선형운동에 대응하고 이석기관(otolith organs)에서 발생하는 이석-안구 반사(linear vestibular ocular reflex)이다.^[5] 중심 처리과정은 말초 감각기관인 전정계의 신호가 전정핵(vestibular nuclei)을 통해 소뇌(cerebellum)로 간 후 조정되는 것으로 정의되며, 조정된 신호는 눈돌림신경(oculomotor nerve), 도르래신경(trochlear nerve), 갓돌림신경(abducent nerve)의 핵으로 전달되어 외안근 운동을 발생시킨다.^[6] 정적 머리 기울기에서 OCR은 주로 이석기관에 의해 발생하며, 중력 방향에 해당하는 난형낭(utricle)과 구형낭(sacculle)의 활성화로 인해 발생한다.^[5]

OCR을 측정하는 방법에는 대표적으로 안저 촬영법

*Corresponding author: Dong-Sik Yu, TEL: +82-33-540-3415, E-mail: yds@kangwon.ac.kr

Authors ORCID: ^a<https://orcid.org/0000-0001-7638-5654>, ^b<https://orcid.org/0000-0002-8267-3801>, ^c<https://orcid.org/0000-0003-0645-4938>, ^d<https://orcid.org/0000-0001-6806-3305>,

^e<https://orcid.org/0000-0002-4387-4408>

(fundus photography)이 있고, 촬영한 안저 이미지를 이용하여 OCR을 측정한다.^[7-10] 그러나, 대부분의 안저 촬영법은 머리를 고정시키고 촬영해야 하며^[10] 동공이 작을 경우 약물을 사용하거나, 어두운 환경에서 촬영해야 하고, 백내장(cataract)과 같은 안매체에 혼탁이 있을 경우 촬영이 제한되는 단점이 있다.^[12,13] 이와 같은 단점으로 인해 OCR을 측정하기 위한 여러 가지 방법들이 소개되었고,^[14-18] 이 가운데, 홍채 이미지를 이용하여 OCR을 측정하는 방법들은 안저 촬영법과 비교하여 평균 OCR이 유사하였고 높은 상관성을 보였다.^[19-21] 또한, Hussein과 Coats^[22]는 머리 기울기 조건에 따른 OCR을 측정할 때 홍채 이미지가 유용할 것이라고 보고하였다.

OCR과 시각적 기능에 대한 여러 선행연구들이 있다. Poljac 등^[23]은 안구 회전량을 직접 측정하진 않았지만, 안구 회전에 대한 지각적 보상이 있다고 주장하였고, Goonetilleke 등^[24]은 수평선 방향의 시각적 인식과 안구 회전은 양의 상관관계를 나타낸다고 보고하였다. Sheiman과 Wick^[11]은 안구 회전이 부등시의 광학적 교정으로 인해 발생할 수 있다고 보고하였다.

Allen^[24]은 수평 방향의 동향 운동시에는 안구 회전의 양이 변화하지 않으나, 수평 이항 운동(눈모음)과 수직 방향의 눈올림시 외회선이 증가한다고 하였고, 이는 제 3뇌신경(눈돌림 신경)의 지배를 받는 모든 외안근(안쪽곧은근, 위곧은근, 아래곧은근, 아래빗근)에 영향을 주기 때문에 회선 운동이 발생한다고 보고하였다. 또한, Scobee^[25]의 연구에서 원거리와 근거리의 난시축이 변하는 대상자가 247명 중 189명(77%)였으며, 근거리 주시시 발생하는 안구 회선이 난시축에 영향을 준다고 보고하였다. 굴절교정 레이저 각막절제술(photorefractive keratectomy) 전후의 난시와 안구 회선에 대한 연관성을 연구한 Ozulken과 Ilhan^[26]은 수술 전의 높은 난시는 큰 안구 회전량과 관계되고 이것은 수술 후에도 영향을 준다고 보고하였다. Fesharaki 등^[27]은 OCR이 난시 축에 영향을 미칠 수 있으므로, 적은 머리 기울기를 가질지라도 굴절검사에서 난시 축의 오차를 발생시킬 수 있다고 보고하였다.

앞의 선행연구를 참고하면, 흔한 굴절이상의 유형인 근시와 난시는 미교정된 굴절이상은 안구 회선에 영향을 줄 수 있을 것으로 예상된다. 따라서, 본 연구의 목적은 근시성 및 난시성 굴절이상이 OCR에 어떠한 영향을 미치는지 알아보는 것이다.

대상 및 방법

1. 대상

본 연구의 목적과 취지에 대한 설명을 듣고 연구 참여

에 동의한 평균 연령 21.98 ± 1.96 세의 대학생 45명(남 26, 여 19)을 대상으로 하였다. 모든 대상자에게 문진을 실시하였고 전신적 및 안과적 과거력, 전정기관 관련 질환, 약물 복용 경험과 눈 수술 경험의 유무가 없음을 확인하였다. 또한, 사시 및 양안시 기능 이상과 약시를 가진 대상자는 연구에서 제외하였다. 자각적 굴절검사를 통해 최대 교정시력이 1.0 이상을 대상으로 하였으며, 대상자들의 평균 등가구면 굴절력은 -3.98 ± 3.15 D이었다. Choi 등^[28]은 주시타겟이 있을 경우 더 적은 OCR을 나타낸다고 보고하였고, 강한 주시자극은 더 안정적인 주시상태를 만든다고 하였다. 따라서, 본 연구에서는 안정적인 주시상태에서 OCR을 측정하기 위해 우위안을 기준으로 모든 실험이 진행되었다. 또한, 굴절이상이 OCR에 미치는 영향을 알아보기 위해 정시는 등가구면 굴절력이 ± 0.25 D 이내,^[29] 난시는 선행연구^[30]와 -0.50 D 이하는 교정으로 인한 시각적 이익이 적다는 점^[31]을 참고하여 -0.75 D 이상을 기준으로 하였다.

2. 연구 방법

안과용 카메라(DC-4, Topcon, Japan)가 부착된 세극등현미경(SL-D701, Topcon, Japan)에 반투명거울을 장착하여 전방주시를 가능하게 한 후 안경을 착용하지 않은 상태에서 40 cm 거리(거울 반사로 인한 거리이며, 실제거리는 20 cm)의 타겟을 주시하게 하였다. 타겟을 주시하게 한 후 머리 기울기 0°, 오른쪽 및 왼쪽 방향으로 각각 10°, 20°, 30° 조건에서 홍채 이미지를 16배율로 3번씩 촬영하여 홍채의 음와(iris crypts)가 가장 선명한 이미지를 선정하였다. 총 7가지 머리 기울기 조건에서 촬영된 홍채 이미지는 Image J 프로그램(Imag J, NIH, USA)^[32]을 사용하여 동공

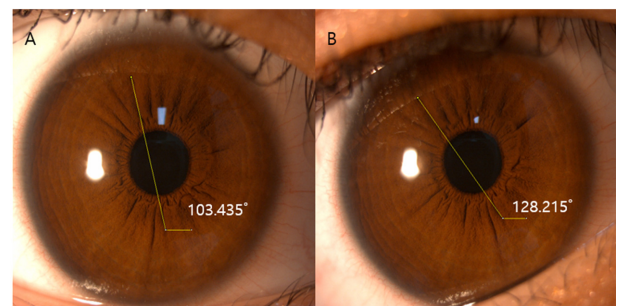


Fig. 1. An example of measuring OCR in the right eye using iris image and Image J.

A: The angle at head tilt 0°.

B: The angle at head tilt 30° to the right direction.

If head tilts to the right 30°, the expected angle is 133.435° ($103.435^\circ + 30.00^\circ$). The difference between the calculated angle (133.435°) and actual measured angle (128.215°) in the left image is OCR. In Fig. 1, therefore, OCR is 5.220° ($133.435^\circ - 128.215^\circ$).

의 위쪽 부분의 음와를 기준으로 동공 중심을 지나 아래쪽 부분의 음와에 연결한 후 수평선을 그어 각도를 측정하였다. 머리 기울기 0°와 다른 조건들(10°, 20°, 30°)의 각도 차이를 계산하여 OCR을 측정하였다(Fig. 1). 또한, 굴절 이상의 정도에 따른 분석을 위해 선행연구를 참고하여 근시와 난시 모두 경도의 기준인 근시 -3.00 D, 난시 -1.00 D를 기준으로 분류하여 OCR을 분석하였다.^[30,31,33]

3. 분석

SPSS for Windows(Ver 19.0)을 사용하여 머리 기울기 조건에 따른 전체 OCR의 평균 분석을 위해 모수적 검정인 반복측정 분산분석(repeated measures ANOVA)을 이용하였고, 정규분포를 따르지 않는 두 그룹의 평균 비교를 위해 비모수적 검정인 Mann-Whitney U test를 이용하였다. 또한, OCR과 근시 및 난시의 연관성을 알아보기 위해 Pearson's 상관분석을 하였다. 모든 분석에서 유의확률이 0.05 이하일 때 통계적으로 유의한 차이를 보이는 것으로 판단하였다.

결과 및 고찰

1. 전체 대상자에서 머리 기울기 조건에 따른 홍채 이미지로 측정된 OCR

머리 기울기 조건들(오른쪽 및 왼쪽 방향으로 각각 10°, 20°, 30°)에 따라 홍채 이미지를 이용하여 측정된 평균 OCR은 Table 1과 같다. 머리를 오른쪽으로 10° 기울였을 때, 평균 OCR은 1.91±1.03°이었고, 20°에서 3.88±1.67°, 30°에서는 6.10±2.39°이었으며, 세 그룹간 유의한 차이를 나타내었다($p<0.001$). 또한, Bonferroni 사후검정에서 머리 기울기가 증가할수록 평균 OCR은 증가하는 것으로 나타났다. 왼쪽 방향으로 머리를 10°, 20°, 30° 기울였을 때, 평균 OCR은 각각 2.02±1.17°, 4.07±1.68°, 6.23±1.99°이었으며, 세 그룹간 유의한 차이를 나타내었고($p<0.001$), 오른쪽 기울기 조건과 마찬가지로 사후검정에서 머리 기울기가 증가할수록 평균 OCR도 증가하는 것으로 나타났다.

머리 기울기에 따른 OCR에 대한 여러 선행연구들^[34,35]에서 OCR은 머리 기울기의 대략 20% 정도라고 보고하였고, 머리 기울기가 증가할수록, 이에 대응하는 OCR은 감

소한다고 보고하였다. 예를 들어, 머리 기울기가 20°일 경우 OCR은 기울기의 대략 20% 정도지만, 머리 기울기가 80°일 경우 OCR은 10% 정도라고 보고하였다. 또한, Hermann의 연구^[36]에서는 머리 기울기 15°에서 27%, 30°에서 20%, 45°에서는 15%의 비율로 OCR이 발생한다고 보고하였다. Fluor^[35]는 OCR은 개인에 따라 넓은 범위를 나타내며, 범위는 1~21°라고 주장하였다. 몸 전체를 160° 회전시켜 OCR을 측정한 Kingma의 연구^[37]에서 최대 OCR은 12°였다. 본 연구의 전체 대상자들에서 머리 기울기에 대한 OCR의 비율은 오른쪽 머리 기울기(10°, 20°, 30°)에서 각각 19.1%, 19.4%, 20.3%이었고, 왼쪽은 20.2%, 20.4%, 20.8%로 선행연구들과 유사하였다.

모든 결과에서 머리 기울기가 왼쪽 방향일 때가 평균 OCR이 컸는데, 이는 우위안의 반대 방향으로 머리가 기울어질 경우, OCR이 증가하는 것으로 생각된다. 본 연구에서는 우위안은 운동성 우위안을 기준으로 분류하였고, 우안인 대상자가 34명(75.6%), 좌안인 대상자가 11명(24.4%)였다. 우위안이 우안인 대상자가 많았기 때문에 왼쪽 머리 기울기시 평균 OCR이 더 큰 것으로 생각되나, 머리 기울기 방향과 우위안간의 관련성에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

2. 미교정 근시가 OCR에 미치는 영향

근시를 양에 따라 분류하는 것은 선행연구들마다 조금씩 차이를 보이지만, 보통 경도(-3.00 D 이하), 중도(-3.00 ~ -6.00 D), 고도(-6.00 D 이상)로 분류된다.^[33] 중도 근시의 기준점이 명확하지 않아 본 연구에서는 -3.00 D 기준으로 평균 OCR을 비교하였다. 오른쪽 머리 기울기 조건에서 -3.00 D 기준으로 분류한 근시의 평균 OCR은 Table 2와 같다. -3.00 D 이하의 근시 그룹에서 머리 기울기 10°의 평균 OCR은 1.50±0.76°, 20°에서 3.33±1.55°, 30°에서는 5.59±2.39°이었고, -3.00 D를 초과한 근시 그룹에서는 각각 2.19±1.10°, 4.24±1.67°, 6.43±2.37°이었다. 머리 기울기 10°에서 근시 -3.00 D 이하의 그룹보다 -3.00 D를 초과한 그룹의 평균 OCR이 더 컸으며, 평균 차이는 0.69°로 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다($p=0.011$). 20°와 30° 머리 기울기에서도 -3.00 D를 초과한 근시 그룹이 평균 OCR은 더 컸으나, 통계적으로 유의한 차이를 나타내지

Table 1. The mean OCR according to various head tilt conditions

Tilt direction	Angle			p	post-hoc	N
	10°	20°	30°			
To the right (degree)	1.91±1.03 ^a	3.88±1.67 ^b	6.10±2.39 ^c	$p<0.001$	a<b<c	45
To the left (degree)	2.02±1.17 ^a	4.07±1.68 ^b	6.23±1.99 ^c	$p<0.001$	a<b<c	45

Analyzed by repeated-measures ANOVA with Bonferroni *post-hoc* tests.

Table 2. The mean OCR according to the amount of myopia at right head tilt conditions

Tilt angle	Amount of spherical equivalent		p
	-3.00 D or less (n=18)	Over than -3.00 D (n=27)	
10°	1.50±0.76°	2.19±1.10°	0.011
20°	3.33±1.55°	4.24±1.67°	0.067
30°	5.59±2.39°	6.43±2.37°	0.132

Analyzed by the Mann-Whitney U test

Table 3. The mean OCR according to the amount of myopia at left head tilt conditions

Tilt angle	Amount of spherical equivalent		p
	-3.00 D or less (n=18)	Over than -3.00 D (n=27)	
10°	1.47±0.66°	2.38±1.30°	0.033
20°	3.64±1.05°	4.35±1.97°	0.247
30°	5.91±1.92°	6.44±2.03°	0.187

Analyzed by the Mann-Whitney U test

않았다(20° $p=0.067$, 30° $p=0.132$). 왼쪽 머리 기울기 조건에 따른 평균 OCR은 Table 3과 같고, 평균 OCR은 -3.00 D 이하의 근시 그룹 10°에서 1.47±0.66°, 20°에서 3.64±1.05°, 30°에서 5.91±1.92°였으며, -3.00 D 초과 근시 그룹은 각각 2.38±1.30°, 4.35±1.97°, 6.44±2.03°이었다. 오른쪽 머리 기울기 조건과 마찬가지로 모든 머리 기울기 조건에서 -3.00 D 초과 근시 그룹이 평균 OCR이 더 컸지만, 10°에서만 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다(평균 차이: 0.91°, $p=0.033$).

오른쪽 머리 기울기에 대한 OCR의 비율을 분석한 결과, 근시 -3.00 D 이하 그룹은 10°에서 15.0%, 20°와 30°에서는 각각 16.7%, 18.6%이었으며, 근시 -3.00 D 초과 그룹에서는 각각 21.9%, 21.2%, 21.4%였다. 왼쪽 머리 기울기에서 근시 -3.00 D 이하 그룹은 14.7%, 18.2%, 19.7%이었으며, -3.00 D 초과 그룹에서는 23.8%, 21.8%, 21.5%였다. 머리 기울기에 대한 OCR의 비교에서 -3.00 D 이하의 그룹이 초과 그룹보다 더 적은 비율을 나타냈다.

OCR은 망막을 안정화시키려는 보상성 안구운동으로, 머리나 몸이 기울게 되면 망막에 맺히는 상이 불안정해져 OCR이 발생한다.^[3] 이러한 개념을 적용해 보면 미교정된 근시의 양이 증가될 수록 망막 상의 안정성을 저하시켜 보상성 운동인 OCR이 증가되는 것으로 생각된다. 또한, 주시자극이 강할수록 OCR이 감소한다는 Choi 등^[28]의 연구를 참고하면, 정도 근시 그룹이 중고도 근시 그룹보다 상대적으로 강한 주시자극 상태 및 안정화된 주시 상태를 갖기 때문에 OCR이 감소하고 머리 기울기에 대한 OCR의 비율도 감소하는 것으로 생각된다.

오른쪽 및 왼쪽 머리 기울기 조건에서 20°와 30° 모두

통계적으로 유의하지 않았다. 머리 기울기와 OCR에 대하여 연구한 선행연구들^[34,36]에서 머리 기울기가 증가하면 이에 대응하는 OCR의 양이 점차 줄어든다고 보고하였다. 이는 망막 상의 불안정함의 정도가 OCR이 안정화시킬 수 있는 정도의 임계치를 넘으면 OCR의 양이 감소한다는 것을 유추할 수 있다. 따라서, 20° 이상의 머리 기울기 조건에서는 10° 이하의 머리 기울기 조건보다 망막 상의 불안정함이 크기 때문에 두 그룹간 평균 OCR에 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않는 것으로 생각된다.

3. 미교정 난시가 OCR에 미치는 영향

본 연구에서 난시는 -1.00 D를 기준^[30,31]으로 분류하여 평균 OCR을 비교하였다. 난시는 축의 유형(직난시, 도난시, 사난시)에 따라 분류하여 비교하는 것이 올바른 것으로 판단되나, 모집된 대상자들의 35안(77.8%)이 직난시였기 때문에, 축의 유형별로 비교하는데 제한이 되었다. 따라서, 난시의 분석은 축을 제외한 굴절력을 기준으로 분류하여 분석하였다. 오른쪽 머리 기울기에 대한 평균 OCR은 Table 4와 같다. 10° 머리 기울기 조건에서 난시 -1.00 D 이하의 그룹의 평균 OCR은 1.56±0.47°, 20°는 3.62±1.65°, 30°에서는 5.78±2.01°였고, 난시 -1.00 D를 초과하는 그룹은 머리 기울기 10°에서 2.34±1.35°, 20°에서 4.20±1.67°, 30°에서 6.49±2.79°였다. 두 그룹간 평균의 차이는 머리 기울기 10° 조건에서만 유의한 차이를 나타내었다($p=0.025$). 20°와 30° 머리 기울기 조건에서는 평균 OCR의 양이 난시 -1.00 D 이하의 그룹보다 초과 그룹이 더 큰 경향을 보였으나, 통계적으로 유의하지 않았다(20° $p=0.209$, 30° $p=0.411$). 왼쪽 머리 기울기 조건에 대한 난시 그룹별 평균 OCR은 Table 5와 같다. 난시 -1.00 D 이하 그룹에서 평균 OCR은 머리 기울기 10°에서 1.74±0.84°, 20°에서 3.43±1.15°, 30°에서 5.82±1.94°였고 -1.00 D를 초과한 그룹에서는 10°에서 2.37±1.43°, 20°에서 4.86±1.92°, 30°에서 6.73±1.96°로 나타났으며, 난시 -1.00 D를 초과한 그룹이 평균 OCR은 더 큰 경향을 나타냈다. 왼쪽 머리 기울기 조건에서는 20° 머리 기울기 조건에서만 두 그룹간 유의한 차이를 나타내었으며($p=0.004$), 10° 및 30° 조건에서는 차이를 나타내지 않았다(10° $p=0.164$, 30° $p=0.064$).

Table 4. The mean OCR according to the amount of astigmatism at right head tilt conditions

Tilt angle	Amount of cylinder power		p
	-1.00 D or less (n=25)	Over than -1.00 D (n=20)	
10°	1.56±0.47°	2.34±1.35°	0.028
20°	3.62±1.65°	4.20±1.67°	0.209
30°	5.78±2.01°	6.49±2.79°	0.411

Analyzed by the Mann-Whitney U test

Table 5. The mean OCR according to the amount of astigmatism at left head tilt conditions

Tilt angle	Amount of cylinder power		p
	-1.00 D or less (n=25)	Over than -1.00 D (n=20)	
10°	1.74±0.84°	2.37±1.43°	0.164
20°	3.43±1.15°	4.86±1.92°	0.004
30°	5.82±1.94°	6.73±1.96°	0.064

Analyzed by the Mann-Whitney U test

오른쪽 머리 기울기에 대한 OCR의 비율을 분석한 결과, 난시 -1.00 D 이하 그룹은 10°에서 15.6%, 20°와 30°에서는 각각 18.1%, 19.3%이었으며, 난시 -1.00 D 초과 그룹에서는 각각 23.4%, 21.0%, 21.6%였다. 왼쪽 머리 기울기에서 난시 -1.00 D 이하 그룹은 17.4%, 17.2%, 19.4%였고, -1.00 D 초과 그룹에서는 23.7%, 24.3%, 22.4%였다. 머리 기울기에 대한 OCR의 비교에서 -1.00 D 이하의 그룹이 초과 그룹보다 더 적은 비율을 나타냈다.

난시 또한 근시와 마찬가지로 망막의 상을 불안정하게 하는 굴절 이상의 유형이며, 머리 기울기 10° 이하에서는 난시 -1.00 D 이하 그룹과 초과 그룹간 평균 차이가 나타날 것으로 예상되나, 오른쪽 10° 머리 기울기 조건에서만 두 그룹간 차이를 나타내었다. 하지만, 모든 머리 기울기 조건에서 난시 -1.00 D를 초과한 그룹이 평균 OCR이 더 큰 경향을 나타내었다. 또한, 머리 기울기에 대한 OCR의 비율도 큰 경향을 보였다. 이는 주시자극이 클수록 OCR이 감소한다는 선행연구^[28]를 참고하면, 미교정된 난시의 양이 증가할수록 주시자극이 불안정해져 평균 OCR의 양 및 머리 기울기에 대한 비율이 증가하는 것으로 판단된다.

Sheiman과 Wick^[1]은 사난시에서 축이 미교정 및 잘못 교정될 경우 회선사위(cyclophoria)를 발생시킬 수 있다고 보고하였다. 이러한 선행연구와 본 연구의 결과를 보면, 난시의 양이 OCR에 영향을 주는 것으로 판단되나, 앞서 언급한 난시축의 유형에 따라 분류하지 못한 본 연구의 한계점으로 인해 분석에 제한이 될 것으로 생각된다. 따라서, 추후에 계획된 연구에서는 난시축의 유형별로 대상자를 모집하여 평균 OCR을 비교 분석해야 할 것으로 판단된다.

Table 6은 전체 대상자들에서 머리 기울기 조건들과 미교정 근시 및 난시 그룹간의 상관분석 결과이다. 오른쪽 머리 기울기 조건에서는 미교정 근시 그룹과 난시 그룹 모두 머리 기울기 10° 조건에서만 유의한 상관성을 나타내었다(근시 r=0.379, 난시 r=0.460). 왼쪽 머리 기울기 조건에서 근시 그룹은 10° 머리 기울기 조건에서만 유의한 상관성을 나타내었고(r= 0.341), 난시 그룹은 10°와 20° 조건에서 상관성을 나타내었다(10° r=0.394, 20° r=0.465).

Table 6. Correlation between refractive error and OCR at various head tilt conditions

Refractive error	r (p)					
	To the right head tilt			To the left head tilt		
	10°	20°	30°	10°	20°	30°
Myopia	0.379 (0.010)	0.242 (0.108)	0.161 (0.292)	0.341 (0.022)	0.164 (0.283)	0.195 (0.199)
Astigmatism	0.460 (0.001)	0.205 (0.177)	0.230 (0.128)	0.394 (0.007)	0.465 (0.001)	0.268 (0.075)

Analyzed by Pearson's correlation coefficient

상관분석 결과는 비록 높은 상관성을 보이진 않았지만, 머리 기울기가 10° 이하일 때 근시와 난시 그룹 모두에서 양의 상관성을 나타내었다. 이는 머리 기울기가 10° 이하일 경우 근시와 난시의 양이 증가하면 OCR이 많이 발생한다는 것을 나타낸다. Hermann^[36] 머리 기울기가 증가할수록 이에 대응하는 OCR의 비율이 감소한다고 하였다. 이를 참고하면, 머리 기울기 10°를 초과하면 굴절 이상의 그룹간의 평균 차이 또한 감소하게 되어 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않는 것으로 생각된다.

미교정된 근시 및 난시는 불안정한 주시자극 상태로 인해 보상성 운동인 OCR의 양이 증가하게 되고, 불필요한 OCR은 눈의 안정피로를 발생시킬 것으로 생각된다. Wick과 Ryan^[38]은 6 m 거리에서 정상적인 회선사위의 범위는 대략 0.752±1.15° 외회선 사위라고 보고하였다. OCR의 크기가 머리 기울기의 대략 20% 정도라고 보고된 선행연구들^[34,35]을 참고하면, 머리 기울기가 5°만 되어도 대략 1°의 OCR이 발생하게 되고 미교정된 굴절 이상에서는 더 큰 OCR이 발생될 것으로 추측되며, 이는 정상적인 회선사위의 범위보다 크다. 따라서, 불필요한 OCR의 양이 증가하면 잠재적으로 적은 양의 회선사위를 유발할 것으로 판단된다. 회선사위는 두통, 작열감, 안정피로, 느린 읽기 속도, 독서시 글자를 놓치거나 줄을 놓치는 자각적 증상을 나타낸다.^[1] 본 연구의 결과들을 종합해보면, 미교정된 굴절 이상에서 발생하는 불필요한 OCR을 방지하기 위해 굴절 이상의 양이 클수록 더 정확한 교정이 필요할 것으로 판단된다.

결론

오른쪽 및 왼쪽 방향의 머리 기울기 10° 조건에서만 미교정된 근시의 양에 따라 평균 OCR에 통계적으로 유의한 차이를 보였지만, 모든 근시 그룹에서 미교정된 근시의 양이 증가할수록 평균 OCR과 머리 기울기에 대한 OCR의 비율이 증가하는 경향을 보였다. 난시 그룹의 경우 오른쪽 머리 기울기 10°와 왼쪽 머리 기울기 20°에서 평균 OCR

에 유의한 차이를 보였다. 본 연구에서 난시 그룹은 난시 축의 유형에 따라 분석하지 못한 제한점이 있지만, 미교정된 난시의 양이 증가할수록 평균 OCR과 머리 기울기에 대한 비율 또한 증가하였다. 상관분석 결과, 머리 기울기 10° 이하의 조건에서는 미교정된 근시 및 난시와 평균 OCR간의 양의 상관관계를 나타내었다.

미교정된 근시 및 난시의 양이 증가하면 불안정한 망막의 상 및 주시상태로 인해 보상성 운동인 OCR에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서, 불필요한 OCR의 발생을 방지하기 위해, 완전한 굴절 이상의 교정이 필요할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- [1] Scheiman M, Wick B. Clinical management of binocular vision: heterophoric, accommodative, and eye movement disorders, 4th Ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2014;389-428.
- [2] Goonetilleke SC, Mezey LE, Burgess AM, et al. On the relation between ocular torsion and visual perception of line orientation. *Vision Res.* 2008;48(13):1488-1496. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.visres.2008.03.012>
- [3] Schworm HD, Ygge J, Pansell T, et al. Assessment of ocular counterroll during head tilt using binocular video oculography. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2002;43(3):662-667.
- [4] Fetter M. Vestibulo-ocular reflex. *Dev Ophthalmol.* 2007;40:35-51. DOI: <https://doi.org/10.1159/000100348>
- [5] De Graaf B, Bos JE, Groen E. Saccular impact on ocular torsion. *Brain Res Bull.* 1996;40(5-6):321-326. DOI: [https://doi.org/10.1016/0361-9230\(96\)00126-8](https://doi.org/10.1016/0361-9230(96)00126-8)
- [6] Mai JK, Paxinos G. The human nervous system, 3rd Ed. Boston: Elsevier Academic Press, 2012;328-366.
- [7] Williams TD, Wilkinson JM. Position of the fovea centralis with respect to the optic nerve head. *Optom Vis Sci.* 1992;69(5):369-377. DOI: <https://doi.org/10.1097/00006324-199205000-00006>
- [8] Rosenbaum AL, Santiago AP. Clinical strabismus management: principles and surgical techniques, 1st Ed. Philadelphia: Saunders, 1999;55-59.
- [9] Jethani J, Seethapathy G, Purohit J, et al. Measuring normal ocular torsion and its variation by fundus photography in children between 5-15 years of age. *Indian J Ophthalmol.* 2010;58(5):417-419. DOI: <https://doi.org/10.4103/0301-4738.67060>
- [10] Kothari MT, Venkatesan G, Shah JP, et al. Can ocular torsion be measured using the slitlamp biomicroscope?. *Indian J Ophthalmol.* 2005;53(1):43-47. DOI: <https://doi.org/10.4103/0301-4738.15284>
- [11] Choi SH, Sun HJ, Lee SJ. Fundus photography with a smartphone. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2017;58(8):947-951. DOI: <https://doi.org/10.3341/jkos.2017.58.8.947>
- [12] Peli E, Schwartz B. Enhancement of fundus photographs taken through cataracts. *Ophthalmology.* 1987;94:10-13. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0161-6420\(87\)33604-8](https://doi.org/10.1016/S0161-6420(87)33604-8)
- [13] Yu H, Agurto C, Barriga S, et al. Automated image quality evaluation of retinal fundus photographs in diabetic retinopathy screening. *IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation.* 2012;125-128. DOI: <https://doi.org/10.1109/SSIAI.2012.6202469>
- [14] Vilela MAP, Valenca FM, Barreto PKM, et al. Agreement between retinal images obtained via smartphones and images obtained with retinal cameras or fundoscopic exams –systematic review and meta-analysis. *Clin Ophthalmol.* 2018;12:2581-2589. DOI: <https://doi.org/10.2147/OPTH.S182022>
- [15] Seo JM, Kim KK, Kim JH, et al. Measurement of ocular torsion using digital fundus image. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2004;1:1711-1713. DOI: <https://doi.org/10.1109/iembs.2004.1403514>
- [16] Morton GV, Lucchese N, Kushner BJ. The role of funduscopy and fundus photography in strabismus diagnosis. *Ophthalmology.* 1983;90(10):1186-1191. DOI: [10.1016/s0161-6420\(83\)34408-0](https://doi.org/10.1016/s0161-6420(83)34408-0)
- [17] Madigan WP Jr, Katz NN. Ocular torsion-direct measurement with indirect ophthalmoscope and protractor. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus.* 1992;29(3):171-174.
- [18] Kushner BJ, Kraft SE, Vrabc M. Ocular torsional movements in humans with normal and abnormal ocular motility-part 1: objective measurements. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus.* 1984;21(5):172-177.
- [19] Bos JE, de Graaf B. Ocular torsion quantification with video images. *IEEE Trans Biomed Eng.* 1994;41(4):351-357. DOI: <https://doi.org/10.1109/10.284963>
- [20] Felius J, Locke KG, Hussein MA, et al. Photographic assessment of changes in torsional strabismus. *J AAPOS.* 2009;13(6):593-595. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaaapos.2009.09.008>
- [21] Oh KK, Cho HG, Moon BY, et al. Measurement of ocular torsion using iris imaging during fixation. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2019;24(1):77-82. DOI: <http://doi.org/10.14479/jkoos.2019.24.1.77>
- [22] Hussein M, Coats D. Use of iris pattern recognition to evaluate ocular torsional changes associated with head tilt. *Ther Adv Ophthalmol.* 2018;10:1-5. DOI: <https://doi.org/10.1177/2515841418806492>
- [23] Poljac E, Lankheet MJM, van den Berg AV. Perceptual compensation for eye torsion. *Vision Res.* 2005;45(4):485-496. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.visres.2004.09.009>
- [24] Allen MJ. The dependence of cyclophoria on convergence, elevation and the system of axes. *Am J Optom Arch Am Acad Optom.* 1954;31(6):297-307. DOI: <https://doi.org/10.1097/00006324-195406000-00006>
- [25] Scobee RG. The oculorotary muscles, 2nd Ed. St. Louis: Mosby, 1952;200-212.

- [26] Ozulken K, Ilhan C. Effects of cyclotorsion orientation and magnitude in eyes with compound myopic astigmatism on the compensation capacity of WaveLight EX500 photorefractive keratectomy. *Korean J Ophthalmol*. 2019; 33(5):458-466. DOI: <https://doi.org/10.3341/kjo.2019.0042>
- [27] Fesharaki H, Azizzadeh A, Ghoreishi SM, et al. The effects of lateral head tilt on ocular astigmatic axis. *Adv Biomed Res*. 2014;3:10. DOI: <https://doi.org/10.4103/2277-9175.124638>
- [28] Choi HY, Kim EH, Lee SJ, et al. Ocular torsion according to fixation in fundus photograph. *J AAPOS*. 2006;10(1):71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaapos.2006.01.087>
- [29] Pateras ES. Prevalence of refractive errors amongst adults, located at the north suburbs of Athens-Greece. *Health Sci J*. 2012;6(1):102-114.
- [30] Chebil A, Jedidi L, Chaker N, et al. Characteristics of astigmatism in a population of Tunisian school-children. *Middle East Afr J Ophthalmol*. 2015;22(3):331-334. DOI: <https://doi.org/10.4103/0974-9233.150635>
- [31] Villegas EA, Alcón E, Artal P. Minimum amount of astigmatism that should be corrected. *J Cataract Refract Surg*. 2014; 40(1):13-19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2013.09.010>
- [32] NIH (National Institutes of Health, USA). Image J ver 1.45, 2011. <https://imagej.nih.gov/>(7 September 2020).
- [33] Kapadia MS, Wilson SE. One-year results of PRK in low and moderate myopia: fewer than 0.5% of eyes lose two or more lines of vision. *Cornea*. 2000;19(2):180-184. DOI: <https://doi.org/10.1097/00003226-200003000-00011>
- [34] Nagel WA. Über kompensatorische raddrehungen der augen. *Zeitschr f Psych*. 1896;12:331-354.
- [35] Fluor E. A comparison between subjective and objective recording of ocular counter-rolling as a result of tilting. *Acta Oto-laryngol*. 1975;79(1-2):111-114. DOI: <https://doi.org/10.3109/00016487509124662>
- [36] Hermann DS, Jan Y, Tony P, et al. Assessment of ocular counterroll during head tilt using binocular video oculography. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2002;43(3):662-667.
- [37] Kingma H, Stegeman P, Vogels R. Ocular torsion induced by static and dynamic visual stimulation and static whole body roll. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 1997;254(1):S61-S63. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02439726>
- [38] Wick B, Ryan JB. Clinical aspects of cyclophoria: definition, diagnosis, therapy. *J Am Optom Assoc*. 1982;53(12): 987-995.

미교정 근시 및 난시성 굴절이상이 안구 역회선에 미치는 영향

오광근¹, 조현국², 문병연², 김상엽², 유동식^{2,*}

¹강원대학교 안경광학과, 강사, 삼척 25949

²강원대학교 안경광학과, 교수, 삼척 25949

투고일(2020년 5월 25일), 수정일(2020년 6월 3일), 게재확정일(2020년 7월 14일)

목적: 미교정된 근시 및 난시성 굴절이상이 Ocular counter-roll에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. **방법:** 45명의 대학생들(21.98±1.96세)을 대상으로 굴절이상 미교정 상태에서 40 cm 거리의 타겟을 주시한 상태에서 세극등현미경과 안과용 카메라를 이용하여 오른쪽 및 왼쪽 방향으로 10°, 20°, 30°의 머리 기울기 조건에 따라 홍채 이미지를 촬영한 후 평균 OCR을 측정하였다. 평균 OCR은 굴절이상에 따라 분류하여 비교하였다. **결과:** -3.00 D 이하의 미교정 근시와 -3.00 D를 초과하는 근시 그룹을 비교한 결과, 머리 기울기 10° 조건에서만 평균 OCR에 유의한 차이를 나타내었다(오른쪽: $p=0.011$, 왼쪽: $p=0.033$). 난시 -1.00 D 이하의 그룹과 -1.00 D를 초과하는 난시 그룹의 OCR의 평균 차이는 머리 기울기 오른쪽 10°와 왼쪽 20° 조건에서 유의한 차이를 나타내었다(오른쪽 10°: $p=0.028$, 왼쪽 20°: $p=0.004$). 또한, 통계적으로 유의하지는 않았지만, 모든 그룹에서 미교정된 굴절이상의 양이 클수록 평균 OCR이 증가하였다. 상관분석 결과, 근시와 난시 그룹 모두 오른쪽 및 왼쪽 머리 기울기 10° 조건에서 양의 상관관계를 보였고(각각 오른쪽 $r=0.379$, 0.460 , 왼쪽 $r=0.341$, 0.394), 난시 그룹에서는 왼쪽 머리 기울기 20°에서도 음의 상관관계를 보였다($r=0.465$). **결론:** 미교정된 근시 및 난시의 양이 증가하면 OCR에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서, 불필요한 OCR의 발생을 방지하기 위해, 완전한 굴절이상의 교정이 필요할 것으로 판단된다.

주제어: 안구 회선, 안구 역회선, 홍채 이미지, 세극등현미경, 굴절이상