



양온교대온도안진검사에서 안진과 전정지각의 시간적 관계

김수영^{1,2,*}, 권은진^{1,*}, 조현진¹, 정성해¹¹충남대학교 의과대학 신경과학교실, 충남대학교병원 신경과, ²연세대학교 의과대학 신경과학교실, 세브란스병원 신경과

Temporal Relationship between Nystagmus and Perception during Bithermal Alternate Caloric Test

Sooyoung Kim^{1,2,*}, Eun-Jin Kwon^{1,*}, Hyunjin Jo¹, Seong-Hae Jeong¹¹Department of Neurology, Chungnam National University College of Medicine, Chungnam National University Hospital, Daejeon; ²Department of Neurology, Yonsei University College of Medicine, Severance Hospital, Seoul, Korea

• Received Oct 30, 2021
 Revised Nov 8, 2021
 Accepted Nov 17, 2021

• Corresponding Author:
 Seong-Hae Jeong
 Department of Neurology, Chungnam
 National University Hospital, 282
 Munhwa-ro, Jung-gu, Daejeon 35015, Korea
 Tel: +82-42-280-8057
 Fax: +82-42-252-8654
 E-mail: mseaj@cnu.ac.kr
 ORCID:
<https://orcid.org/0000-0001-5055-9986>

* These authors contributed equally to this work as co-first authors.

• Copyright © 2021 by
 The Korean Balance Society.
 • This is an open access article distributed under the terms
 of the Creative Commons Attribution Non-Commercial
 License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>)
 which permits unrestricted non-commercial use, dis-
 tribution, and reproduction in any medium, provided the
 original work is properly cited.

Objectives: During caloric irritation, the spinning/rotating sensation is predominant. However, there is no report on the temporal relationship between caloric nystagmus and perception.

Methods: Consecutive 57 participants underwent bithermal caloric test in the dizziness clinic of Chungnam National University Hospital from February 2018 to September 2018. For vestibular perception, we asked the subject to report feelings of rotation and/or linear sensation during each warm and cold water irrigation period. Besides routine caloric parameters, the duration of nystagmus and vestibular sensation were analyzed.

Results: In most participants, the caloric nystagmus preceded the vestibular sensation (79.6% in right warm, 83.3% in left warm, 88.5% in right cool, and 84.6% in left cool stimuli). The precedence of perception was observed in 5 normal persons and 15 patients with vestibular migraine (n=4), unilateral vestibulopathy (n=3), and Menière's disease (n=2), multiple systemic atrophy (n=2), cerebellar ataxia (n=2), vertebrobasilar insufficiency (n=1), and post-earthquake dizziness (n=1). The mean latency between nystagmus and perception was 11.7 seconds. And the duration of nystagmus was longer than that of perception in all conditions. Non-spinning sensations during the caloric test were also observed in some participants (26.8% in right warm, 30.3% in left warm, 29.1% in right cool, and 24.1% in left cool stimuli).

Conclusions: During the bithermal alternate caloric test, various vestibular perception and temporal relationship between perception and nystagmus suggest the bithermal caloric stimulation does not reflect only the signal originating from the horizontal canal pathway. A further validation study is needed.

Res Vestib Sci 2021;20(4):134-140

Keywords: Caloric tests; Perception; Vestibulo-ocular reflex

서론

어지럼증 환자의 전정기능검사 결과와 환자가 느끼는 어지럼증 정도가 일치하지 않는 경우를 흔히 경험한다. 이는 환자가 표현하는 어지럼증이 말초전정기능뿐만 아니라 균형 유지에 관여하는 시각, 말초신경, 대뇌, 소뇌, 뇌간, 심리적 기능 등의 통합 결과이므로, 동일한 전정기능을 보여도 각 개체 내 신체, 심리적 조건에 따라 다른 것으로 예상된다. 고식적 전정기능검사는 주로 뇌간매개 반사(brainstem-mediated reflex)를 주로 평가하는 경우가 일반적이거나, 일부 연구에서 전정안반사와 지각 역치를 동시에 관찰할 수 있는 방법으로 회전외자검사, 갈바니전정자극, 양온교대온도안진검사(bithermal caloric test) 등이 시행되었다. 이중 양온교대온도안진검사는 비생리적인 회전 자극이기는 하나, 일측 수평반고리관을 자극하는 유일한

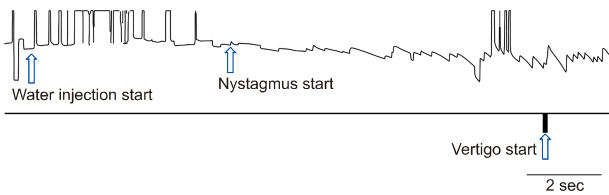


Fig. 1. Bithermal caloric test with right warm stimuli, displaying steps for calculating nystagmic and perceptual thresholds in a subject with episodic dizziness.

Table 1. General characteristics of variables

| Characteristic | Patient group | Normal group |
|-------------------------------|---------------|--------------|
| No. of participants | 45 | 12 |
| Age (yr) | 56.7±14.2 | 29.3±8.4 |
| Sex, female | 22 (48.9) | 4 (33.3) |
| Unilateral caloric weakness | | |
| No | 28 (66.7) | 12 (100) |
| Yes | 14 (33.3) | 0 (0) |
| Diagnosis | | |
| Vestibulopathy | 16 | |
| Vestibular migraine | 8 | |
| Menière's disease | 6 | |
| Parkinsonism | 6 | |
| Vertebrobasilar insufficiency | 3 | |
| Episodic dizziness | 3 | |
| Cerebellar ataxia | 1 | |
| Imbalance | 1 | |
| Post-earthquake disease | 1 | |

Values are presented as number only, mean±standard deviation, or number (%).

검사로 알려져 있다. 양온교대안진검사 시 회전성 어지럼증 이외에도, 붕 뜨거나 가라앉는 느낌, 혹은 무증상 등 다양한 양상의 전정지각이 보고되었다[1-4]. 그러나, 양온교대온도검사 시 전정안반사 역치와 지각 역치의 시간적 연구는 부재하므로 본 연구를 시행하게 되었다.

대상 및 방법

2018년 2월부터 9월까지 충남대학교병원 신경과 어지럼증 클리닉을 방문한 57명(정상군 12명, 환자군 45명)을 대상으로 충남대학교병원 연구윤리위원회의 연구 승인을 받고, 연구에 동의하는 환자를 대상으로 서면 동의를 받고 진행하였다(No. CNUH IRB 2012-12-014-022).

30℃와 44℃의 물 250 mL를 45초 동안 외이도에 각각 주입하여 검사하고, 양온교대온도안진검사(Aquastar water irrigator, Micromedical Technologies Inc., Chatham, IL, USA)를 시행하고, 3차원 비디오안구검사를 이용해 분석하였다. 이전 물 주입 잔류 효과를 최소화하기 위해 각 자극간 5분의 휴식기를 두었다. 양온교대온도안진검사를 시작하기 전 환자에게 검사 시 물 주입 후 발생할 수 있는

Table 2. Characteristics of vestibular perception during bithermal caloric test

| Variable | Patient group (n=45) | Normal group (n=12) |
|--------------------------|----------------------|---------------------|
| Right warm ^{a)} | | |
| Rotating | 33 (75.0) | 8 (66.7) |
| Others | 11 (25.0) | 4 (33.3) |
| Linear | 7 | 2 |
| No perception | 4 | 2 |
| Left warm ^{b)} | | |
| Rotating | 32 (72.7) | 7 (58.3) |
| Others | 12 (27.3) | 5 (41.7) |
| Linear | 8 | 4 |
| No perception | 4 | 1 |
| Right cool ^{c)} | | |
| Rotating | 32 (74.4) | 7 (58.3) |
| Others | 11 (25.6) | 5 (41.7) |
| Linear | 4 | 3 |
| No perception | 7 | 2 |
| Left cool ^{d)} | | |
| Rotating | 33 (78.6) | 8 (66.7) |
| Others | 9 (21.4) | 4 (33.4) |
| Linear | 3 | 2 |
| No perception | 6 | 2 |

Values are presented as number (%) or number only.

Missing value: ^{a)}1, ^{b)}1, ^{c)}2, and ^{d)}3.

느낌인 회전감, 선형 지각(예, 붕 뜨는 느낌, 가라앉는 느낌), 무지각 등에 대해 설명하고 표현하도록 하였다. 물 주입 후 증상 시작과 종결을 알리도록 하여 지각 잠복기(perception latency)와 기간(perception duration)을 확인하였다. 지각 잠복기를 본 연구에서는 지각 역치로 정의하였다(Fig. 1). 동시에 안구의 수평 위치를 기록하여 두 번째 안진의 빠른 속도 성분이 시작되는 지점을 안진의 시작 시점으로 정의하였다. 물 주입 시간부터 안진 잠복기를 전정안반사 역치로 정의하였으며, 안진 지속기간(nystagmus duration)도 확인하였다(Fig. 1). 통계적 분석을 위해 이 분 변수에 대해서는 카이제곱 검정을, 연속 변수에 대해서는 *t* 검정을 이용하였다. 유의수준은 0.05으로 하였고, 통계 분석은 IBM SPSS Statistics ver. 26 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) 프로그램을 이용하였다.

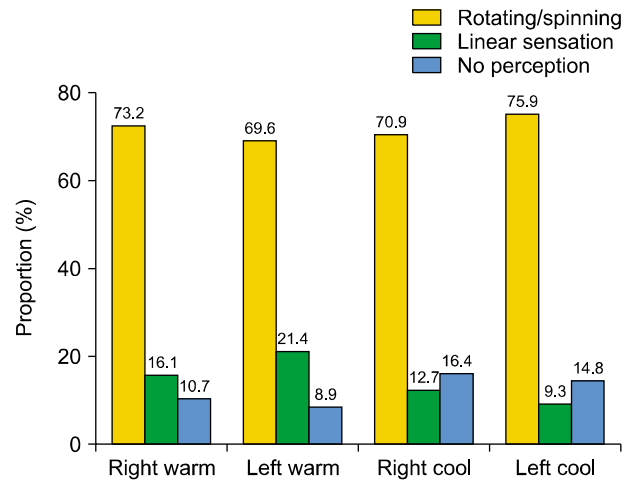


Fig. 2. The characteristics of initial perception during the bithermal caloric test.

Table 3. Comparison between rotating sensation group and linear sensation group

| Bithermal caloric test | Rotation | Linear | <i>p</i> -value |
|----------------------------------|--------------|--------------|-----------------|
| Right warm | | | |
| Canal paresis (%) | 12.84±23.79 | 1.78±34.60 | >0.05 |
| Slow phase peak velocity (°/sec) | 21.67±13.96 | 24.33±22.95 | >0.05 |
| Perception latency (sec) | 34.39±13.40 | 25.41±5.12 | >0.05 |
| Nystagmus latency (sec) | 23.36±8.38 | 26.47±6.83 | >0.05 |
| Perception duration (sec) | 112.68±36.78 | 109.09±8.86 | >0.05 |
| Nystagmus duration (sec) | 118.85±28.98 | 104.01±24.71 | >0.05 |
| Left warm | | | |
| Canal paresis (%) | 6.46±26.06 | 3.82±27.86 | >0.05 |
| Slow phase peak velocity (°/sec) | 20.88±16.12 | 23.67±21.44 | >0.05 |
| Perception latency (sec) | 36.41±13.29 | 31.78±4.28 | >0.05 |
| Nystagmus latency (sec) | 23.55±11.66 | 25.63±15.38 | >0.05 |
| Perception duration (sec) | 114.24±30.50 | 103.77±25.44 | >0.05 |
| Nystagmus duration (sec) | 133.44±24.26 | 118.95±24.60 | >0.05 |
| Right cool | | | |
| Canal paresis (%) | 13.95±24.86 | 11.17±19.75 | >0.05 |
| Slow phase peak velocity (°/sec) | 14.17±7.10 | 9.00±4.72 | >0.05 |
| Perception latency (sec) | 38.64±15.23 | 33.32±5.64 | >0.05 |
| Nystagmus latency (sec) | 24.46±10.71 | 28.80±12.65 | >0.05 |
| Perception duration (sec) | 118.14±32.63 | 82.08±24.98 | 0.015 |
| Nystagmus duration (sec) | 126.01±24.29 | 95.77±28.88 | 0.005 |
| Left cool | | | |
| Canal paresis (%) | 5.44±26.04 | 3.60±37.35 | >0.05 |
| Slow phase peak velocity (°/sec) | 10.83±5.57 | 7.20±2.86 | >0.05 |
| Perception latency (sec) | 41.68±14.59 | 37.71±11.84 | >0.05 |
| Nystagmus latency (sec) | 28.08±11.53 | 26.44±7.55 | >0.05 |
| Perception duration (sec) | 102.54±32.45 | 81.04±22.88 | >0.05 |
| Nystagmus duration (sec) | 130.26±30.34 | 105.40±28.95 | >0.05 |

Values are presented as mean±standard deviation.

결 과

정상군의 평균연령은 29.3세였고, 여자가 4명(33.3%)이었다. 환자군의 평균연령은 56.7세였고, 여자가 22명(48.9%)이었다. 두 군에서 안진의 서상속도는 환자군에서 온수 자극 시 안진이 약간 컸으나, 의미 있는 차이는 없었다. 환자군의 진단은 전정병증 16명, 전정편두통 8명, 메니에르병 6명, 기타 15명이었다(Table 1).

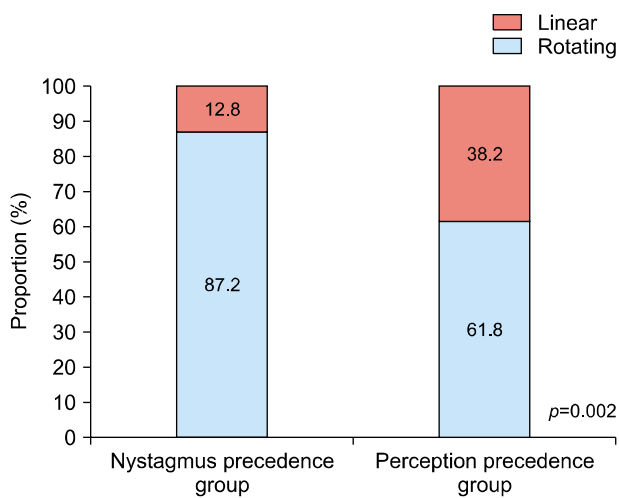


Fig. 3. The perception starting with linear sensation is more frequent in the group with perception precedence than in the group with nystagmus precedence during the caloric test ($p=0.002$).

Table 4. Temporal relationship between perception and nystagmus during bithermal caloric test

| Biothermal caloric test | Patient group (n=45) | Normal group (n=12) |
|---------------------------|----------------------|---------------------|
| Right warm ^{a)} | | |
| Perception precedence | 8 (19.0) | 3 (25.0) |
| Nystagmus precedence | 34 (81.0) | 9 (75.0) |
| Perception latency (sec) | 30.22±9.79 | 43.01±18.08 |
| Nystagmus latency (sec) | 119.07±32.35 | 87.82±28.71 |
| Perception duration (sec) | 21.88±5.95 | 31.87±12.08 |
| Nystagmus duration (sec) | 123.93±23.30 | 95.25±36.06 |
| Left warm ^{b)} | | |
| Perception precedence | 7 (16.7) | 2 (16.7) |
| Nystagmus precedence | 35 (83.3) | 10 (83.3) |
| Perception latency (sec) | 34.54±12.41 | 38.14±9.98 |
| Nystagmus latency (sec) | 22.97±11.55 | 28.29±13.89 |
| Perception duration (sec) | 116.47±30.32 | 87.82±28.71 |
| Nystagmus duration (sec) | 132.84±24.16 | 95.25±36.06 |
| Right cool ^{c)} | | |
| Perception precedence | 5 (12.5) | 1 (8.3) |
| Nystagmus precedence | 35 (87.5) | 11 (91.7) |
| Perception latency (sec) | 36.67±12.76 | 42.01±19.01 |
| Nystagmus latency (sec) | 25.76±11.44 | 28.47±9.08 |
| Perception duration (sec) | 118.95±34.69 | 94.32±25.56 |
| Nystagmus duration (sec) | 122.36±28.10 | 106.43±20.69 |
| Left cool ^{d)} | | |
| Perception precedence | 5 (12.5) | 3 (25.0) |
| Nystagmus precedence | 35 (87.5) | 9 (75.0) |
| Perception latency (sec) | 40.01±13.13 | 45.69±17.81 |
| Nystagmus latency (sec) | 27.45±10.89 | 31.14±15.22 |
| Perception duration (sec) | 107.00±30.53 | 81.02±29.64 |
| Nystagmus duration (sec) | 131.25±28.04 | 121.34±46.63 |

Values are presented as number (%) or mean±standard deviation. Missing value: ^{a)}3, ^{b)}3, ^{c)}5, and ^{d)}5.

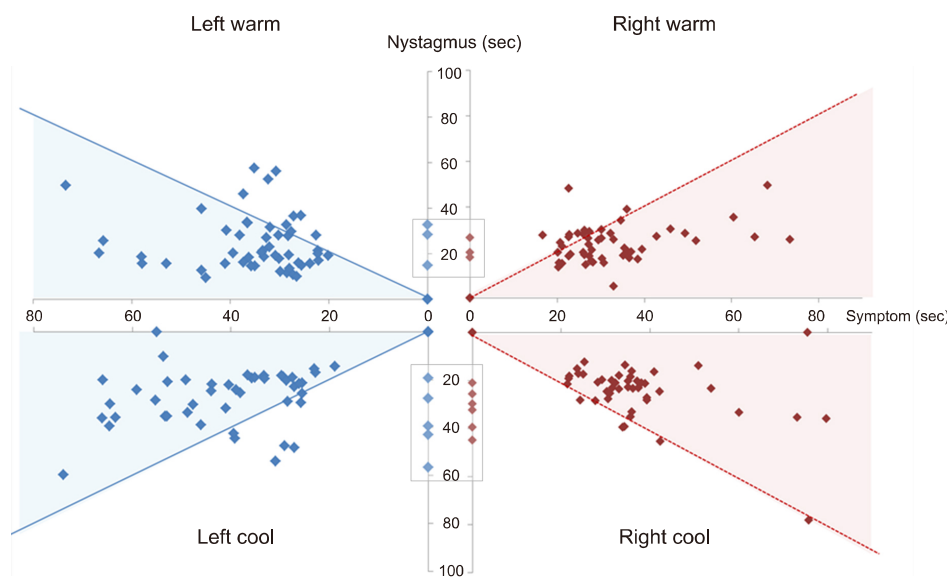


Fig. 4. The temporal relationship of the latency between nystagmus and perception. The shaded area (pink and blue rectangle) means the precedence of nystagmus. In most patients, the caloric nystagmus precedes the vestibular sensation (79.6% in right warm, 83.3% in left warm, 88.5% in right cool, and 84.6% in left cool stimuli). Some participants show caloric nystagmus without perception (gray squares).

Table 5. Diagnosis with precedence of perception during bithermal caloric test

| Diagnosis | Number |
|-------------------------------|--------|
| Normal | 5 |
| Unilateral vestibulopathy | 3 |
| Vestibular migraine | 4 |
| Menière's disease | 2 |
| Vertebrobasilar insufficiency | 1 |
| Cerebellar ataxia | 2 |
| Multiple system atrophy | 2 |
| Post-earthquake dizziness | 1 |

1. 양온교대온도안진검사서 전정지각 양상

환자군과 정상군 모두에서 양온교대온도안진검사 시 회전성 감각이 가장 많았고(69.6%~75.9%), 선형 지각(9.3%~21.4%), 무감각(8.9%~16.4%) 순으로 나타났다(Table 2, Fig. 2).

2. 회전 지각군과 선형 지각군 비교

회전 지각군과 선형 지각군 사이에 반고리관마비 차이는 없었으며, 지각 잠복기가 선형 움직임 지각군에서 회전 지각군에 비해 짧은 경향이 있지만, 통계적으로 유의하지 않았다(Table 3). 우측 냉수 자극 시 안진과 지각 지속시간이 선형 움직임 지각군에서 유의하게 짧았지만, 다른 조건에서 통계적으로 유의한 차이는 없었다(Table 3). 그러나 전체적으로 볼 때, 선형 지각군에서 전정지각 선행이 의미 있게 많았다($p=0.002$) (Fig. 3).

3. 안진과 전정지각의 시간 관계

두 군 모두에서 양온교대안진검사 중 안진이 지각보다 선행하여 나타나는 경우가 많았고, 안진의 지속시간이 지각 지속시간보다 더 길었다(Table 4, Fig. 4). 또한, 정상군과 환자군의 비교 시 정상군에서 안진과 지각의 지속시간이 더 길었다(Table 4). 그러나, 정상군 중 5명(41.7%), 환자군 중 15명(33.3%)은 지각이 안진에 선행하여 나타났다(Table 5).

4. 전정지각과 안진의 상관 관계

전정지각 잠복기와 안진 잠복기는 우측(온수: $r=0.349$,

Table 6. Correlation analysis between perception and nystagmus

| Variable | Stimuli | r | p-value |
|--|---------|--------|---------|
| Perception latency-nystagmus latency | RW | 0.349 | 0.013 |
| | RC | 0.585 | <0.001 |
| | LC | 0.324 | 0.030 |
| Perception latency-perception duration | RW | -0.585 | <0.001 |
| | LW | -0.359 | 0.014 |
| | LC | -0.593 | <0.001 |
| Nystagmus latency-nystagmus duration | RW | -0.555 | <0.001 |
| | LW | -0.473 | <0.001 |
| | RC | -0.441 | 0.001 |
| Perception duration-nystagmus duration | LC | -0.564 | <0.001 |
| | RW | 0.423 | 0.004 |
| | RC | 0.560 | <0.001 |
| Nystagmus latency-slow phase peak velocity | LC | 0.482 | 0.002 |
| | RW | -0.446 | 0.001 |
| | LW | -0.478 | <0.001 |
| | RC | -0.492 | <0.001 |
| | LC | -0.302 | 0.030 |

LC, left cool stimuli; LW, left warm stimuli; RC, right cool stimuli; RW, right warm stimuli.

$p=0.013$ vs. 냉수: $r=0.585$, $p<0.001$)과 좌측 냉수 반응($r=0.324$, $p=0.030$)에서 유의한 양의 상관 관계를 보였다. 전정지각 잠복기와 전정지각은 음의 상관관계를 보였고, 안진 잠복기와 안진 지속시간도 음의 상관관계를 보였다. 또한, 안진의 서상속도는 안진 잠복기와 음의 상관관계를 보였으나, 지각 잠복기와 유의한 상관관계가 없었다(Table 6).

고 찰

본 연구의 목적은 양온교대안진검사 중 유발된 전정지각과 안진으로 정의된 전정안반사 역치의 시간적 선후 관계를 파악하는 데 있다. 연구 결과, 물 주입 후 회전 및 선형 어지럼증 등 전정지각이 나타나기 전 안진이 선행하는 빈도가 더 높았다. 즉, 전정지각 역치가 전정안반사 역치보다 더 높았으며, 이는 과거 회전자극과 갈바닉전정자극을 이용한 전정지각과 전정안반사 역치에 관한 연구 결과와 일치한다[5-7]. 그러나, 본 연구에서는 이와 반대로 지각이 안진에 비해 선행하는 경우도 정상군과 환자군 모두에서 관찰되었다. 이들의 특이한 임상적, 신경이과적 소견을 찾기는 어려웠으나 비회전성 감각을 느끼는 군에서 지각이 선행하는 비율이 의미 있게 높았다. 본 연구에서 전정 자극을 위해 이용한 양온교대안진검사는 외이도를 통해서 생리적인 범위(0.5-7 Hz)를 벗어난 극히 낮은

주파수(0.002-0.004 Hz)의 비생리적인 자극을 내이에 가하는 것으로, 이러한 다양한 지각 양상은 회전, 갈바닉전정 자극 등 자극의 종류나 말초전정신경 유입부터 전정피질까지의 신경회로 상이성 등에 기인할 수 있다. 즉, 지각 역치에 관한 연구는 자극 종류 등 실험 조건, 피험자, 자극 기간 등의 영향을 받으므로 이를 고려하는 것이 중요하다[8,9]. 그러나 본 연구에서 지각이 선행하는 경우는 정상군과 환자군 모두에서 관찰되었고, 이는 양온교대온도안진검사 시 영향을 주는 내이 기관이 수평반고리관에 국한되지 않음을 보여준다고 하겠다.

일반적으로 양온교대온도안진검사 동안 수평반고리관이 주된 자극기관이라고 알려져 있지만, 이외에도 중력 및 두위의 영향을 받는 이석 기관도 자극된다고 보고하며, 우리 환자에서 관찰된 다양한 선형 움직임 양상의 지각도 이를 뒷받침하는 소견이라고 할 수 있다. 전통적으로 내이 자극 시 발생하는 전정 감각은 개체나 주변이 도는 양상으로 알려져 있으나, 과거 연구에 의하면 붓 뜬 느낌, 낙상 느낌, 모호한 공간 지각, 무감각 등이 다양하게 나타났다[1,2,4,10]. 또한, 칼로리 자극 시 주로 수평반고리관이 자극이 되나, 자세에 따른 안진의 속도 변화는 수평반고리관 자극에 의한 각가속도뿐 아니라 이석기관 자극으로 인한 선가속도의 결합 결과를 보여주며, 이는 환자가 회전감 이외에 다른 어지럼증 호소를 반영하는 것의 증거로 볼 수 있다[5]. 또한, 양온교대온도안진 검사 중 현훈이나 어지럼증을 전혀 느끼지 못하는 경우는 검사 중 유발되는 안진이 약하고($<15^\circ/\text{sec}$), 연령이 증가할수록 호발하며, 자세 불안정이 높은 것으로 나타났다[1-4]. 본 연구에서 환자군의 연령이 정상군에 비해 유의하게 높으며, 정상인인 대상군의 수가 적어 추후 연령과 연구대상자 수를 고려한 정상군과의 비교가 필요할 것으로 생각한다.

과거 양온교대온도안진검사 중 아무 지각을 못하는 경우가 두정측두엽에 병변이 있는 경우 관찰되었는데[10], 이를 “안진-감각 해리(nystagmus-sensation dissociation)” [10] 혹은 “전정 무시(vestibular neglect)” [1]라고 명명하였다. 최근 연구에 의하면 양온교대온도안진검사 반응은 정상이지만 지각이 없는 경우, 지각을 하는 군에 비해 체위 불균형이 더 심하고, 시공간 기억이 감소한 것으로 나타났다. 이들 연구에서 연령이 유의하게 영향을 미치는 인자로 나타나, 노화에 따라 측두-두정엽, 전두-후두엽 등의 중추신경계망 연결이 감소하고 소실되면서 전정신호가 잘 전달

되지 않아 발생하는 것으로 추정하기도 한다[11]. 따라서, 전정지각 기능(vestibular perceptual function)을 평가하는 것은 전정피질 기능에 대한 또 다른 창을 제공하며, 현재 표준 전정기능검사가 임상 증상 정도와 잘 상관되지 않는 한계를 극복하는 데 도움이 될 수 있다.

결 론

양온교대안진검사 중 유발된 회전 및 선형 어지럼증에 비해 안진이 선행하는 경우가 많았다. 이는 전정지각 역치가 전정안반사 역치에 비해 높음을 시사하며, 추후 전정 자극 종류와 조건에 따른 전정지각에 관한 체계적 연구는 어지럼증 환자를 이해하고 공감하는 데에 많은 도움이 될 것으로 본다.

중심 단어: 양온교대안진검사, 지각, 전정안반사

이해관계(CONFLICT OF INTEREST)

저자들은 이 논문과 관련하여 이해관계의 충돌이 없음을 명시합니다.

감사의 글(ACKNOWLEDGMENTS)

이 논문은 2012년도 충남대학교병원 원내공모연구비에 의하여 수행되었음.

REFERENCES

1. Chiarovano E, Vidal PP, Magnani C, Lamas G, Curthoys IS, de Waele C. Absence of rotation perception during warm water caloric irrigation in some seniors with postural instability. *Front Neurol* 2016;7:4.
2. Jacobson GP, Piker EG, Grantham SL, English LN. Age predicts the absence of caloric-induced vertigo. *J Otol* 2018;13:5-9.
3. Mijovic T, Remillard A, Zaia EH, Reid YM, Harrington JK, Westerberg BD, et al. A closer look at subjective caloric sensations: is there more to vertigo than spinning? *J Vestib Res* 2018; 27:271-7.
4. Piker EG, Jacobson GP, Romero D, Wang Y, Smith K. The clinical significance of the failure to perceive vertigo in the postcaloric period despite a robust caloric response. *Am J Audiol* 2020; 29:50-8.
5. Peterka RJ, Gianna-Poulin CC, Zupan LH, Merfeld DM. Origin

- of orientation-dependent asymmetries in vestibulo-ocular reflexes evoked by caloric stimulation. *J Neurophysiol* 2004;92:2333-45.
6. **Seemungal BM, Gunaratne IA, Fleming IO, Gresty MA, Bronstein AM.** Perceptual and nystagmic thresholds of vestibular function in yaw. *J Vestib Res* 2004;14:461-6.
 7. **Cousins S, Kaski D, Cutfield N, Seemungal B, Golding JF, Gresty M, et al.** Vestibular perception following acute unilateral vestibular lesions. *PLoS One* 2013;8:e61862.
 8. **Guedry FE Jr.** Psychophysiological studies of vestibular function. *Contrib Sens Physiol* 1965;14:63-135.
 9. **Rodenburg M, Stassen HP, Maas AJ.** The threshold of perception of angular acceleration as a function of duration. *Biol Cybern* 1981;39:223-6.
 10. **Takeda N, Tanaka-Tsuji M, Sawada T, Koizuka I, Kubo T.** Clinical investigation of the vestibular cortex. *Acta Otolaryngol Suppl* 1995;520 Pt 1:110-2.
 11. **Lopez I, Honrubia V, Baloh RW.** Aging and the human vestibular nucleus. *J Vestib Res* 1997;7:77-85.