



The Factors Influencing the Accuracy of Head Position During Canalith Reposition Procedure Using 9 Axis Inertial Sensor

Hyung Sun Hong¹, Ki Nam Kim¹, Chang Bin Yun¹, Jin Gu Kang², Hyun Ji Kim¹, Sangmin Lee² , and Kyu-Sung Kim¹

¹Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, Inha University College of Medicine, Incheon; and

²Department of Electronic Engineering, College of Engineering, Inha University, Incheon, Korea

9축 관성센서를 이용하여 측정한 이석정복술의 정확도와 그에 영향을 주는 요소들

홍형선¹ · 김기남¹ · 윤창빈¹ · 강진구² · 김현지¹ · 이상민² · 김규성¹

인하대학교 의과대학 이비인후-두경부외과학교실, ¹ 인하대학교 공과대학 전자공학과²

Received July 15, 2019

Revised August 7, 2019

Accepted August 26, 2019

Address for correspondence

Kyu-Sung Kim, MD, PhD

Department of Otorhinolaryngology-

Head and Neck Surgery,

Inha University College of Medicine,

27 Inhang-ro, Jung-gu,

Incheon 14913, Korea

Tel +82-32-890-3570

Fax +82-32-890-3580

E-mail stedman@inha.ac.kr

Sangmin Lee, PhD

Department of Electronic Engineering,

College of Engineering, Inha University,

100 Inha-ro, Michuhol-gu,

Incheon 22212, Korea

Tel +82-070-8256-1549

Fax +82-32-868-3654

E-mail sanglee@inha.ac.kr

Background and Objectives The canalith reposition procedure (CRP) is used for the treatment of benign paroxysmal positional vertigo (BPPV) where the accuracy of position may affect the therapeutic efficacy. We investigate the accuracy of head position in CRP and its influencing factors during the procedure by measuring the position using inertial sensors and three dimensional remodeling.

Subjects and Method We included 28 patients who were diagnosed as BPPV. To evaluate the accuracy of the CRP, we used the inertial sensor on the patient's goggle used for videonystagmography. We evaluated the accuracy of the treatment compared to the textual treatment used during CRP. We also evaluated patient factors that affected the accuracy of head position as well as analyzing the correlation between the error rate and the successful treatment rate.

Results While the average error rate was $12.6 \pm 5.8\%$ for the PSCC group, it was $10.2 \pm 5.2\%$ for the lateral semicircular canal (LSCC) group. For the posterior semicircular canal (PSCC) the group with body mass index (BMI), less than 25 patients had the lower error rate than the group with BMI greater than 25. There was no significant differences regarding the error rate according to BMI or age in the PSCC group. There is no significant differences regarding the error rate between those treated within 1 week and those over 1 week. For the LSCC delayed treatment group, there was no significant differences of error rate between the 1st and 2nd maneuver at each position.

Conclusion For the Epley maneuver, the error rate of patients with high BMI is higher than those with low BMI. When the repeated barbeque maneuver was conducted, patients could have a more accurate position due to the learning effect. Care should be taken to ensure accurate CRP by considering various factors. Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg 2020;63(4):154-62

Key Words Benign paroxysmal positional vertigo · Inertial Sensor · Vertigo.

서론

양성 돌발 두위현훈(benign paroxysmal positional ver-

tigo, BPPV)은 어지럼으로 내원한 환자의 가장 흔한 질환이며, 모든 어지럼 환자의 17~42%가 양성 돌발성 두위현훈으로 진단되는 것으로 알려져 있다.^{1,2)} BPPV는 1달 이내에

20%, 3달 이내에 50%의 환자에서 자발적으로 호전되지만,^{3,4)} BPPV에 대한 치료로 가장 권고되는 것은 이석정복술(particle repositioning maneuver)이다.⁵⁾ 이석정복술의 치료 성공률은 뒤반고리관 이석증의 경우 57~100%, 가쪽 반고리관 이석증의 경우 60~98%로 알려져 있다.^{6,7)} 비록 이석정복술의 치료율은 높지만 BPPV 환자는 어지럼증으로 인한 낙상이나 일상생활 수행에 문제가 생길 위험이 높기 때문에 진단되지 않은 BPPV와 치료되지 않은 BPPV의 임상적 및 삶의 질에 대한 영향은 굉장히 크다.⁸⁾ 또한 BPPV는 재발이 흔한 질환으로 이전의 연구에 따르면 증상의 재발로 이석정복술을 반복한 환자가 3명 중 1명까지 보고되고 있다.⁹⁻¹¹⁾

BPPV와 관련된 이전의 연구들은 임상적으로 이석정복술의 치료 결과에 연관된 환자의 인자들에 대한 연구들이 주를 이루었으며,^{12,13)} 측두골 전산화단층촬영을 자료를 이용하여 3차원 그래픽으로 전정미로의 해부학적 구조에 대해 분석한 연구도 있었다.¹⁴⁾ 관성센서를 이용한 연구는 주로 스포츠 의학이나 재활 의학 분야에서 이루어지는 경우가 많았으며, 이러한 연구들로 관성센서를 이용하여 정확한 자세나 위치 등의 정보를 얻는 기술이 많은 발전을 이루었다. 한편 이석정복술의 원리는 이환된 반고리관의 방향에 맞춰 부유 이석이 빠져나가도록 중력의 방향에 따라 머리의 위치를 움직이는 것으로, 반고리관의 해부학적 특성뿐 아니라, 이석정복술 시 적절한 두위를 위치시키고 유지하는 것이 치료 효과에 영향을 줄 수 있으나 이에 대한 연구가 미비하다.

이에 본 연구에서 9축 관성 센서를 이용하여 이석정복술의 시행 시 각 두위의 정확도 및 이에 영향을 주는 환자의 요소, 오차율과 이석정복술 치료 결과에 대해 분석하여, BPPV 치료에 유용한 정보를 제공하고자 하였다.

대상 및 방법

본 연구는 2018년 1월~2019년 3월까지 어지럼증을 주소로 본원에 내원한 환자 중 병력 청취와 체위 안진 검사를 통해 BPPV로 확진받은 환자 28명을 대상으로 하였다. 처음 내원하였을 때 병력과 비디오 안진 검사상 BPPV로 진단받은 환자들 중 1주일 후 재내원 시 전정신경염이나 중추성 병변 등으로 진단이 바뀐 환자들은 제외하였다. 환자들은 비디오 안진 검사를 시행받았으며, 2008년 미국 이비인후과 학회에서 발표한 BPPV 임상 진료 지침에 따라 체위 검사를 시행하였고,⁵⁾ 검사 결과에 따라 환측 및 이환된 반고리관을 확인하여 Epley 수기 혹은 바비큐 회전 수기를 시행받았다. 이석정복술을 시행받은 환자들은 1주일 후 외래에 재방문하여 다시 체위 검사를 시행하였으며, 체위 검사 시 안진 및 증상이 소실

되었을 때 치료된 것으로 판단하였다. 각 자세마다 오차율을 계산하기 위해 Epley 수기는 자세별로 각 단계를 나누어 3개의 자세로 나누어 분석하였으며, 자세 1은 환자의 고개를 병변측으로 45° 돌린 후 뒤로 눕혀 수평보다 20° 정도 낮은 자세이며 자세 2는 자세 1에서 환자의 고개를 건측으로 90° 돌린 자세이고, 자세 3은 같은 방향으로 머리와 몸통을 더 돌려 얼굴이 바닥을 향하고 있는 자세이다. 바비큐 회전 수기는 자세별로 5개의 자세로 나누어 분석하였으며, 그대로 누운 자세에서 병변측으로 90° 고개를 돌린 상태를 자세 1로 하여 건측 방향으로 90°씩 돌릴 때마다 자세 2, 3, 4, 5로 정하였다 (Fig. 1).

9축 관성 센서는 자이로3축, 지자기3축, 가속도3축 센서를

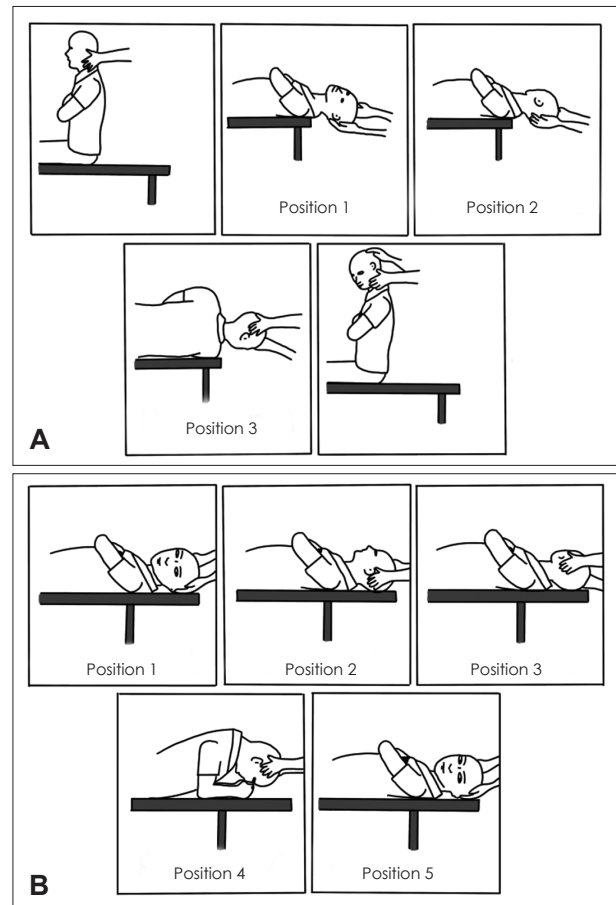


Fig. 1. Canalith repositioning procedures for posterior canal and lateral canal benign paroxysmal positional vertigo. Epley maneuver was divided into 3 stages. In the position 1, the patient's head was turned 45° to the lesion side and then laid back and lowered 20° lower than the horizontal level. Position 2 is the posture that the patient's head is turned 90° to the unaffected side from the position 1, and position 3 is the posture that the face is facing the floor by turning the head and the trunk in the same direction (A). The barbecue maneuver was divided into 5 positions according to the posture. The posture of 90° head turned to the affected side in a lying position was set as posture 1, and the the postures 2, 3, 4, and 5 were set every turn 90° to the unaffected side (B).

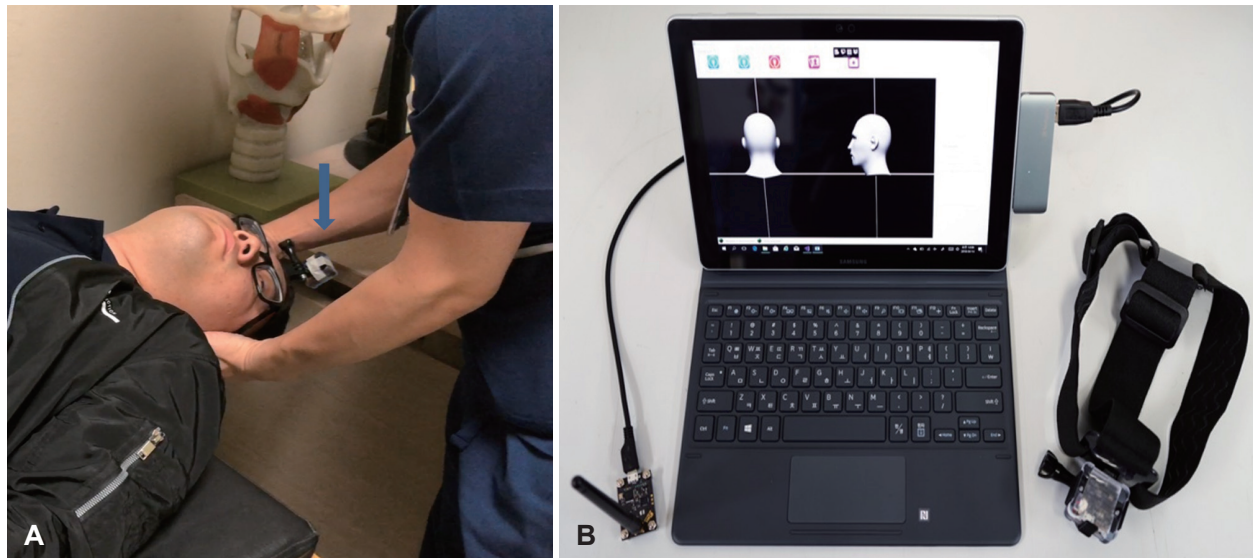


Fig. 2. The 9 axis inertial sensor is used for the collection of head position data while canalith repositioning procedure (A, arrow: the 9 axis inertial sensor attached to the hairband). The device consists of a computer, an inertial sensor, and a receiver used to collect and convert data into a human-shaped 3D model. A human-shaped 3D object can help performers notice how much to change patients position easily (B).

가지고 있는 모션센서(Wireless AHRS module, EBIMU24GV3, E2Box, Seoul, Korea)를 사용하였으며, 이석정복술을 시행하기 전 환자에게 착용한 머리띠에 센서를 부착 후 각 자세마다 머리의 위치를 분석하였으며, 머리 위치의 정보를 2.4 GHz wireless receiver(EBRCV24GV3, E2Box)를 이용하여 컴퓨터로 전송하여 3차원 그래픽으로 구현하였다. 각 자세에서 목표 위치와 실제 위치 간 오차율을 벡터를 이용한 사원수(quaternion) 방식으로 계산하였다(Fig. 2).

재평가 시점(이석정복술 1주일 후)에 비디오 안진 검사상 안진이 남아 있거나 환자의 주관적 증상을 호소할 경우 치료 지연군으로 분류하였으며, 안진과 증상 모두 호전된 경우를 치료성공군으로 분류하였다.

본 연구에서는 Epley 수기와 바비큐 회전 수기에서의 환자의 요소[나이, body mass index(BMI)]가 치료 성공률에 영향을 주는지 확인하기 위해 환자군을 50세 이하와 초과군으로 나누어 오차율에 차이가 있는지 분석하였고, BMI는 25를 기준으로 25 이하와 초과군으로 나누어 오차율에 차이가 있는지 분석하였다. 또한 가쪽 반고리관 이석증 환자에서 1주일을 기준으로 치료성공군, 치료지연군으로 나누어 첫 번째 이석정복술과 두 번째 이석정복술에서의 각 자세에서의 오차율에 차이가 있는지 분석하였다.

통계적 분석은 SPSS 프로그램(Version 22.0, IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 사용하여 환자의 요소와 오차율 간의 관계, 치료성공군과 치료지연군에서의 오차율의 차이, 가쪽 반고리관 치료지연군에서 첫 번째와 두 번째 이석정복술 시 각 자세에서의 오차율의 차이를 판단하기 위해 Mann-Whitney

Table 1. Patients demographics and variables statistics

	PSCC	LSCC	p-value
Age	52.00±11.99	56.99±10.30	0.302
Gender (M:F)	3:7	3:15	0.774
Affected side (R:L)	6:4	11:7	0.418
BMI	23.10±4.56	23.14±3.23	0.955

Data are presented as mean±standard deviation or number. LSCC: lateral semicircular canal, PSCC: posterior semicircular canal, BMI: body mass index

U 검정을 시행하였으며 p 값이 0.05 미만일 때 통계적으로 유의하다고 판정하였다.

본 연구는 의료기록을 검토하여 후향적 연구로 진행되었으며, 인하대병원 연구윤리심의위원회의 승인을 얻었고 절차를 준수하였다(IRB NO. 2020-01-018).

결 과

총 28명의 환자 중 10명은 뒤반고리관 이석증, 18명은 가쪽 반고리관 이석증으로 진단받았으며, 나이, 성별, 이환된 방향, BMI에서 두 군 간에 통계적으로 유의한 차이를 보이는 사항은 없었다(Table 1).

Epley 수기에 대한 분석

28명 중 10명의 환자가 비디오 안진 검사상 Dix-hallpike 검사에서 양성을 보여 Epley 수기를 시행받았으며, 자세 1의 평균 오차율은 10.2%, 자세 2의 평균 오차율은 9.9%, 자세 3의 평균 오차율은 17.8%로 계산되었다. 전체 평균 오차율은 12.6±

5.8%로 계산되었다. 10명의 환자 중 6명이 치료성공군, 4명은 치료지연군에 포함되어 치료 성공률은 60%였다(Table 2).

환자의 BMI와 오차율의 상관관계에 대한 분석에서는 BMI 25 이상인 군의 오차율이 18.67%로 25 미만인 군의 오차율 10.04%보다 통계적으로 유의하게 높게 나타났다($p=0.030$). 반면 환자의 나이와 오차율의 상관관계에 대한 분석에서는 50세를 기준으로 분류하였을 때, 50세 이상군의 오차율은 13.79%, 50세 미만군의 오차율은 9.93%로 나이와 오차율 간에 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p=0.305$)(Fig. 3). 치료성공군과 치료 지연군 간의 오차율 차

이에 대한 분석에서는 치료성공군에서 9.6%, 치료지연군에서 10.4%로 나타나 두 군 간의 오차율 차이는 통계적으로 유의하지 않았다($p=0.278$)(Table 2).

바비큐 회전 수기에 대한 분석

28명 중 18명의 환자가 비디오 안진 검사상 head roll 검사에서 양성을 보여 바비큐 회전을 시행하였으며, 자세 1의 평균 오차율은 9.5%, 자세 2의 평균 오차율은 9.3%, 자세 3의 평균 오차율은 12.5%, 자세 4의 평균오차율은 9.1%, 자세 5의 평균 오차율은 10.1%로 계산되었다. 전체 평균 오차율은 10.2%±

Table 2. Estimated error rate of Epley maneuver in each position of successful treatment group and delayed treatment group

	Position 1	Position 2	Position 3	Mean error rate
Successful treatment group (n=6), %	8.8±3.3	9.2±3.7	14.6±9.0	10.9±5.0
Delayed treatment group (n=4), %	12.0±7.3	10.8±3.4	22.5±6.9	15.1±5.7
p-value	1	0.286	0.201	0.286

Data are presented as mean±standard deviation

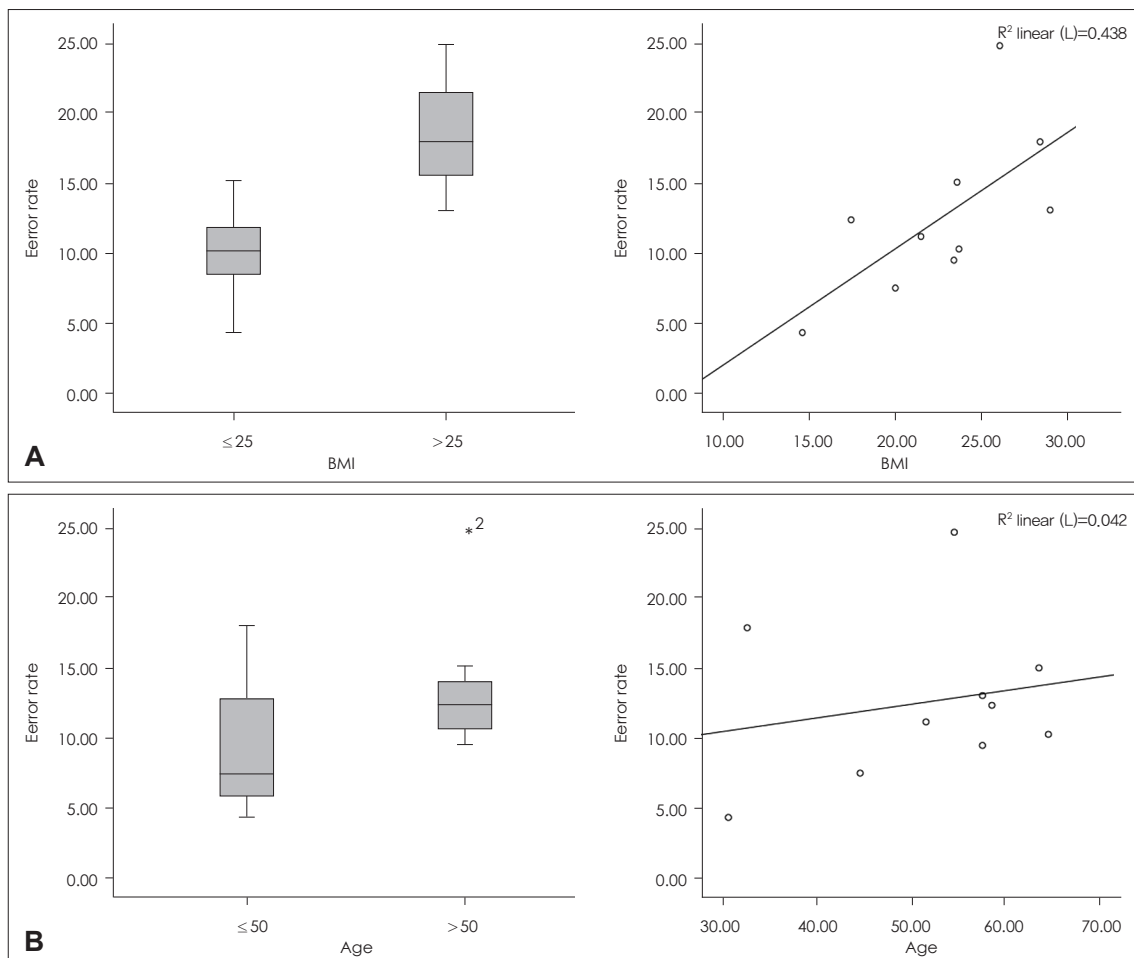


Fig. 3. The relationship between patient factors [BMI (A) and age (B)] and error rates in the lateral semicircular canal benign paroxysmal positional vertigo group. In the analysis of the relationship between BMI and error rate, the group with a BMI of 25 or more showed a higher error rate than the group with a BMI of lesser than 25 (A). In the analysis of age and error rate, there was no statistically significant difference between the groups that were less than 50 years old and those who were over 50 years old (B). BMI: body mass index.

5.2%로 계산되었다. 18명의 환자 중 5명은 치료성공군, 13명은 치료지연군에 포함되어 치료 성공률은 28%였다(Table 3).

환자의 BMI와 오차율의 상관관계에 대한 분석에서는 BMI 25 이상인 군의 오차율이 6.13%로 25 미만인 군의 오차율 11.03%보다 통계적 유의성을 보이지 않았다($p=0.110$). 반면 환자의 나이와 오차율의 상관관계에 대한 분석에서는 50세를 기준으로 분류하였을 때, 50세 이상군의 오차율은 11.28%, 50세 미만군의 오차율은 6.5%로 나이와 오차율 간에 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p=0.080$) (Fig. 4). 치료성공군과 치료지연군 간의 오차율 차이에 대한

분석에서는 치료성공군에서 9.6%, 치료지연군에서 10.4%로 나타나 두 군 간의 오차율 차이는 통계적으로 유의하지 않았다($p=0.958$)(Table 3).

가쪽 반고리관(Lateral semicircular canal)

BPPV 환자 중 치료지연군에 대한 분석

가쪽 반고리관 BPPV로 바비큐 회전 수가를 시행받은 환자 중 재평가 시점인 1주일 후에도 증상 및 안진이 남아 있는 환자를 대상으로 시행한 분석은 첫 번째 이석정복술 시의 오차율과 두 번째 이석정복술을 시행했을 때의 오차율을 계산하여

Table 3. Estimated error rate of barbecue maneuver in each position of successful treatment group and delayed treatment group

	Position 1	Position 2	Position 3	Position 4	Position 5	Mean error rate
Successful treatment group (n=5), %	10.7±4.2	8.9±5.7	10.1±5.1	8.7±3.0	9.8±4.6	9.6±4.2
Delayed treatment group (n=13), %	8.9±4.8	9.4±5.2	13.3±8.8	9.2±5.3	10.2±4.3	10.4±5.2
p-value	0.595	0.832	0.633	0.671	0.243	0.958

Data are presented as mean±standard deviation

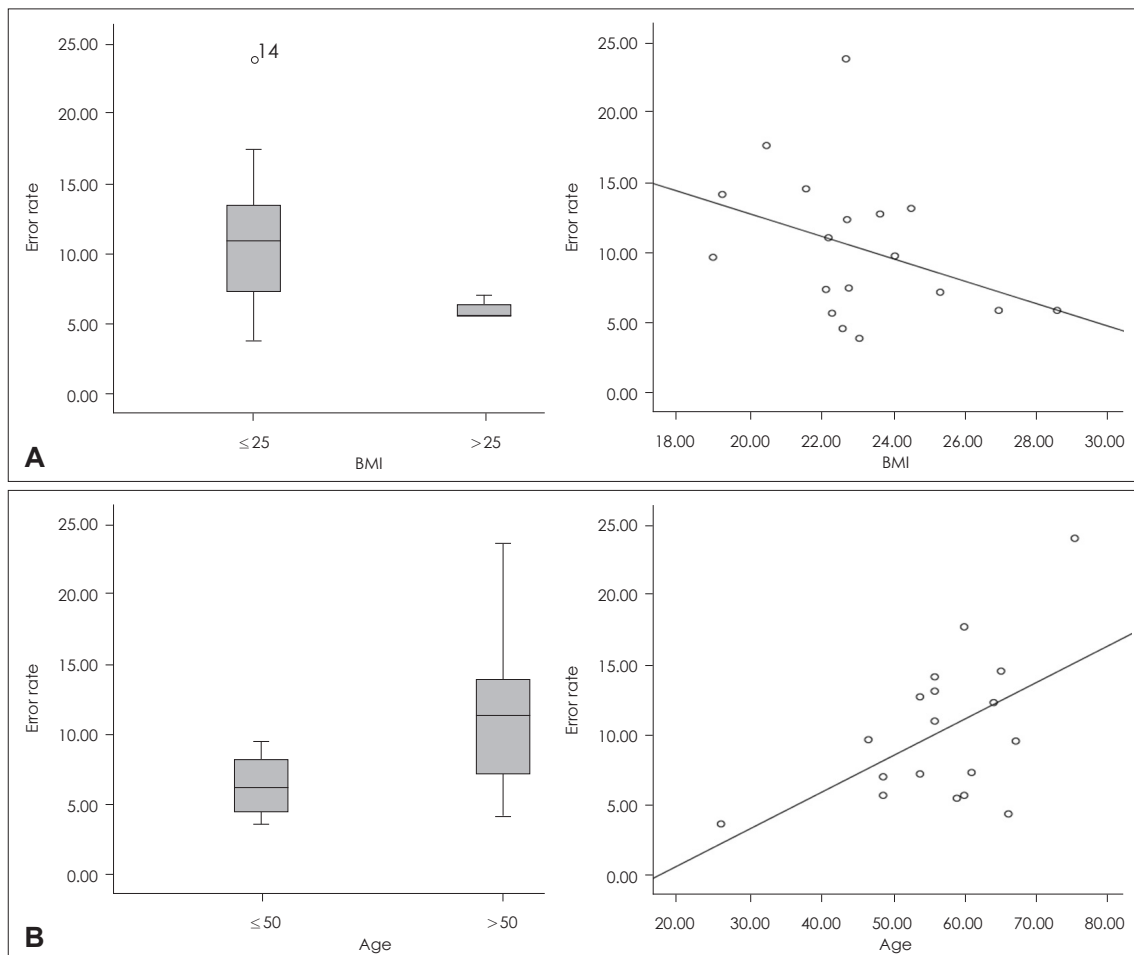


Fig. 4. The relationship between patient factors [BMI (A) and age (B)] and error rates in the lateral semicircular canal benign paroxysmal positional vertigo group. In the analysis of the relationship between BMI and error rate, there was no statistically significant difference between the group with a BMI of 25 or more and the group with a BMI of lesser than 25 (A). In the analysis of age and error rate, there was no statistically significant difference between the groups that were less than 50 years old and those who were over 50 years old (B). BMI: body mass index.

비교하였다. 전체 이석정복술의 오차율은 첫 번째 이석정복술 시 $13.0 \pm 3.63\%$, 두 번째 이석정복술 시 $10.83 \pm 3.76\%$ 로 측정되어 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p=0.290$). 각 자세별로 나누어 오차율을 분석한 결과는 자세 1의 경우 첫 번째 이석정복술 시 10.5%, 두 번째 이석정복술 시 11.6%로 측정되었으며($p=0.195$), 자세 2는 첫 번째 이석정복술 시 11.8%,

두 번째 이석정복술 시 9.1%로 측정되었고($p=0.807$) 자세 3은 첫 번째 이석정복술 시 12.6%, 두 번째 이석정복술 시 13%로 측정되었다($p=0.871$). 자세 4의 경우 첫 번째 이석정복술 시 17.33%, 두 번째 이석정복술 시 8.16%로 측정되었으며($p=0.688$), 자세 5는 첫 번째 이석정복술 시 13.1%, 두 번째 이석정복술 시 12.5%로 측정되었다($p=0.054$)(Fig. 5, Table 4).

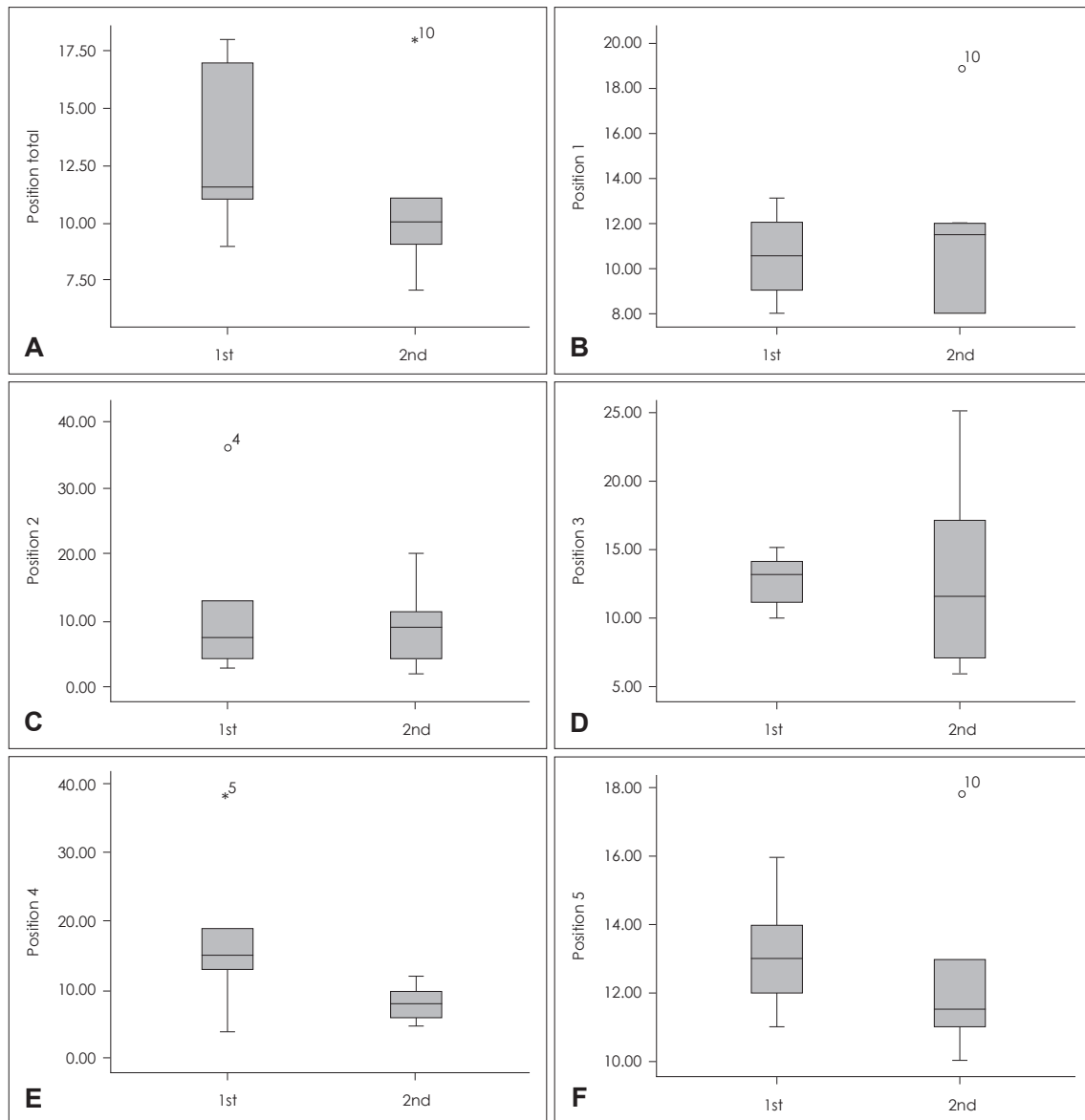


Fig. 5. Comparison of the error rate between 1st and 2nd maneuvers of delayed treatment group. There was statistically significant difference in the mean error rate (A) and the error rate of each position (B-F) between the first and second maneuvers in the treatment delay group of the barbecue maneuver patients.

Table 4. Estimated error rate of 1st and 2nd barbecue maneuver in each position in delayed treatment group (n=6)

	Position 1	Position 2	Position 3	Position 4	Position 5	Mean error rate
1st maneuver, %	10.5 ± 1.8	11.8 ± 12.5	12.6 ± 1.8	17.3 ± 11.3	13.2 ± 1.7	13.0 ± 3.6
2nd maneuver, %	11.6 ± 4.0	9.2 ± 6.4	13.0 ± 7.0	8.2 ± 2.5	12.5 ± 2.8	10.8 ± 3.7
p-value	0.195	0.807	0.871	0.688	0.054	0.290

Data are presented as mean \pm standard deviation

고 찰

최근 초소형 미세공정 시스템(microelectromechanical systems)이 발전하면서 관성센서를 통한 연구가 급속도로 발전하였으며, 의학 분야에서도 이를 이용한 연구들이 활발히 이루어지고 있다. 관성센서는 가속도계(accelerometer)와 자이로스코프(gyroscopes)으로 이루어져 보통 관성측정장비(inertial measurement units)와 결합되어 사용된다. 최근 가격이 저렴해졌으며, 가볍고, 작고, 좋은 휴대성 등의 이점이 있어 간접적 또는 직접적으로 모션을 다루는 모든 활동에서 널리 사용되고 있다. 또한, 복잡한 모션을 분석하기 위해 관성센서에 의해 수집된 데이터를 처리하는 방법도 여러 분야에서 개발되어 발전되고 있다. 특히 어지럼 환자에서 걸음걸이를 분석하는 데 이용되거나 스포츠의학, 재활 의학 분야 등에서 사용되고 있다.¹⁵⁻¹⁷⁾

BPPV는 가장 흔한 전정 질환이며, 증상이 갑자기 생기고 저절로 호전되는 경우가 많기 때문에 실제로는 발생률이 더 높을 것으로 생각되는 질환이다.¹⁸⁾ 또한 BPPV는 중한 질환으로 여겨지지 않지만, BPPV의 증상이 환자의 삶의 질을 현저히 낮출 수 있으며, 환자의 직장이나 학교에서의 업무 효율성에 큰 영향을 주고 일상생활에서의 문제들을 일으키기도 한다.^{19,20)} 또한 외래와 응급실에서의 잦은 내원과 전문과 협진 등으로 의료 시스템상에서도 많은 부담이 되는 질환이다. BPPV의 치료로 이석정복술이 효과적으로 증상을 완화시키지만 재발이 굉장히 흔한 질환으로, 증상이 생길 때마다 병원을 방문하는 것은 시간적, 경제적으로 환자에게 부담을 주게 된다.

최근 BPPV의 치료 정확도를 높이기 위한 도구들이 개발되었는데, 대표적으로 DizzyFIX(Clearwater Clinical Limited, alberta, Canada)가 있으며, 환자가 쓰는 모자에 투명한 관으로 구성된 구조물이 있고 안은 액체와 입자들이 있어, 환자가 이석정복술을 시행하며 머리의 위치를 바꾸면 관 안의 입자들이 움직이며 정확한 위치와 시간을 보조해주는 장치이다.²¹⁾ Virtual reality epley maneuver system(VREMS)은 가상현실을 이용하여 시각과 청각으로 이석정복술의 각 단계를 도와주는 도구로, 집에서 환자 스스로 이석정복술을 시행할 때 VREMS를 이용하는 것이 더 정확하다는 결과를 발표하였다.²²⁾

이전의 연구들에서 제시한 BPPV 환자의 치료에 영향을 주는 요소로는 바이러스성 내이 질환, 두부 외상, 메니에르병의 동반, 증상이 지속 기간, 이환된 반고리관의 개수, 양측성 BPPV 등이 있으나,^{13,23,24)} 표준화된 치료 방식이 정립되지 않았고, 연구마다 다른 결과를 보여 아직 논쟁 중에 있다. 이전

의 연구들이 대부분 환자가 가지고 있는 요소나 동반 질환 등에 중심을 둔 연구였다면, 본 연구는 이석정복술 자체의 정확도와 오차율에 대한 분석과 오차율에 영향을 줄 수 있는 환자의 요소들에 대한 첫 번째 연구이다.

BPPV 환자의 치료는 이석정복술이 가장 효과적으로 사용되고 있으며,⁵⁾ 이석정복술의 1회 치료로 실패한 경우는 12~56%로 보고되고 있다.^{12,25)} 본 연구에서는 가쪽 반고리관 BPPV의 경우 1회의 치료로 회복된 경우가 18명의 환자 중 5명(27.8%)으로 나타났으며, 뒤반고리관 BPPV의 경우 1회의 치료로 회복된 경우가 10명 중 6명(60%)으로 나타났으며, 이는 가쪽 반고리관 BPPV의 경우 Kim 등²⁶⁾이 2015 발표한 가쪽반고리관 BPPV 환자의 1회 치료 시의 성공률 74.1%보다 낮은 성공률을 보였고, 뒤반고리관의 경우도 2018년 Kim²⁷⁾이 발표한 뒤반고리관 BPPV 환자의 1회 치료 시의 성공률 57.6%보다 낮은 성공률을 보였다.

뒤반고리관 BPPV 환자군의 경우 환자의 요소와 오차율의 상관관계를 분석하면, 환자의 BMI가 높을수록 오차율이 높아지는 결과를 보였으며, 이는 Epley 수기의 자세가 목을 뒤쪽으로 넘기는 자세(Fig. 1)를 포함하고 있어 연관성이 있을 것으로 생각된다. 가쪽 반고리관 BPPV 환자군의 경우 BMI와 나이 모두 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 본 연구에서 이전의 보고에 비해 가쪽 반고리관 BPPV의 치료 성공률이 낮게 나타나, 이에 대한 분석을 위해 가쪽 반고리관 BPPV의 치료지연군에서의 첫 번째와 두 번째 이석정복술의 오차율을 계산한 결과, 평균 오차율은 13%에서 10.8%로 감소하였으며, 특히 자세 4(Fig. 1)에서의 오차율이 첫 번째 이석정복술과 두 번째 이석정복술 사이에 통계적으로 유의하진 않지만, 큰 차이를 보였다. 임상에서 실제로 Epley 수기를 시행할 시 환자가 자세 4를 정확하게 하는 것이 가장 어려우며, 환자가 1주일 후 재내원하여 이석정복술을 시행받을 때 이전에 치료를 받았던 적이 있으므로 학습효과로 인해 두 번째 이석정복술 시행 시 오차율을 줄일 수 있었다고 생각할 수 있다.

본 연구에서 관성센서를 이용한 오차율의 측정은 모든 과정에서 검사상의 오류를 줄이기 위해 노력하였다. 오일러각(Euler angles)를 이용하여 머리의 위치를 계산하였을 때는 짐벌락(gimbal lock)이 발생하는 문제가 있었으며, 3차원적으로 각 축마다 원점을 설정하는 것에는 항상 처음 머리 위치 설정에 오류가 발생하였다. 사원수 방식으로 이용하여 사람마다 시작 시의 머리의 위치를 원점으로 설정하여 벡터값을 이용하여 목표 위치와 실제 위치 간의 오차율을 계산하여 정확도를 높이려 하였다.

소프트웨어 프로그램도 단순히 숫자로 오차율을 계산하

는 것을 넘어 3차원 그래픽 구현을 시도하여 실제로 이석정복술을 시행하며 눈으로 보며 검사의 정확도를 판단하고 조정하여 오차를 줄일 수 있도록 개발하여 실제 임상에서 유용하게 사용할 수 있도록 하였다. 관성센서를 이용한 이러한 방식이 VREMS 등과 결합한다면 단순히 환자에게 이석정복술의 순서를 가이드 해주는 것뿐만 아니라 현재 환자의 두위를 파악하여 정확한 목표 머리의 위치를 가이드 해줄 수 있어, 추후 병원에 내원하지 않고 스스로 이석증을 진단하고 치료하는 방법도 개발될 수 있을 것으로 생각된다. 또한 추후 이석정복술 각 단계의 시간이나 속도 등의 다른 인자들도 치료에 영향을 주는지에 대한 연구도 시행할 수 있을 것이다.

본 연구의 한계점으로는 많은 수의 환자를 대상으로 시행하지 못했다는 점이 있다. 더 많은 수의 환자를 대상으로 전향적 연구를 시행한다면 더 정확한 데이터를 얻어 신뢰할 만한 결과를 낼 수 있을 것으로 사료된다.

Epley 수기에서 BMI가 높은 환자군의 오차율이 BMI가 낮은 환자군의 오차율보다 더 큰 것으로 나타났다. 치료 지연군에서 반복적인 바비큐 회전 수기를 시행할 때 학습효과로 더 정확한 자세를 취할 수 있었을 것으로 생각된다. 이석정복술 시행 시에는 환자의 BMI나 나이 같은, 환자 요소를 고려하여 시행하면 성공률을 높이는 데 도움이 될 것으로 사료되며, 관성센서를 이용한 연구들이 앞으로 더 이루어진다면, 이석증 환자에서 이석정복술 시행 시에 정확도를 높이는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgments

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (No. 2018R1A6A1A03025523).

Author Contribution

Conceptualization: Kyu-Sung Kim, Sangmin Lee, Hyung Sun Hong. Data curation: Hyung Sun Hong, Ki Nam Kim, Chang Bin Yun. Formal analysis: Hyung Sun Hong, Jin Gu Kang. Funding acquisition: Sangmin Lee, Kyu-Sung Kim. Investigation: Hyung Sun Hong, Ki Nam Kim. Methodology: Hyun Ji Kim. Project administration: Hyun Ji Kim, Jin Gu Kang, Hyung Sun Hong. Resources: Kyu-Sung Kim, Hyun Ji Kim. Software: Jin Gu Kang, Sangmin Lee. Supervision: Sangmin Lee, Kyu-Sung Kim. Validation: Kyu-Sung Kim, Jin Gu Kang, Hyung Sun Hong. Visualization: Ki Nam Kim, Chang Bin Yun, Jin Gu Kang. Writing—original draft: Hyung Sun Hong, Hyun Ji Kim, Kyu-Sung Kim. Writing—review & editing: Kyu-Sung Kim, Hyung Sun Hong.

ORCIDs

Kyu-Sung Kim <https://orcid.org/0000-0002-5650-3526>
Sangmin Lee <https://orcid.org/0000-0001-6648-6099>

REFERENCES

- 1) Katsarkas A. Benign paroxysmal positional vertigo (BPPV):

- Idiopathic versus post-traumatic. *Acta Otolaryngol* 1999;119(7): 745-9.
- 2) Hanley K, O'Dowd T, Considine N. A systematic review of vertigo in primary care. *Br J Gen Pract* 2001;51(469):666-71.
- 3) Lynn S, Pool A, Rose D, Brey R, Suman V. Randomized trial of the canalith repositioning procedure. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1995;113(6):712-20.
- 4) Burton MJ, Eby TL, Rosenfeld RM. Extracts from the Cochrane Library: Modifications of the Epley (canalith repositioning) maneuver for posterior canal benign paroxysmal positional vertigo. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2012;147(3):407-11.
- 5) Bhattacharyya N, Baugh RF, Orvidas L, Barrs D, Bronston LJ, Cass S, et al. Clinical practice guideline: Benign paroxysmal positional vertigo. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2008;139(5 Suppl 4): S47-81.
- 6) Epley JM. The canalith repositioning procedure: For treatment of benign paroxysmal positional vertigo. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1992;107(3):399-404.
- 7) Kim JS, Oh SY, Lee SH, Kang JH, Kim DU, Jeong SH, et al. Randomized clinical trial for geotropic horizontal canal benign paroxysmal positional vertigo. *Neurology* 2012;79(7):700-7.
- 8) Lopez-Escamez JA, Gamiz MJ, Fernandez-Perez A, Gomez-Fiñana M. Long-term outcome and health-related quality of life in benign paroxysmal positional vertigo. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2005;262(6):507-11.
- 9) Sakaida M, Takeuchi K, Ishinaga H, Adachi M, Majima Y. Long-term outcome of benign paroxysmal positional vertigo. *Neurology* 2003;60(9):1532-4.
- 10) Rashad UM. Long-term follow up after Epley's manoeuvre in patients with benign paroxysmal positional vertigo. *J Laryngol Otol* 2009;123(1):69-74.
- 11) Kansu L, Avci S, Yilmaz I, Ozluoglu LN. Long-term follow-up of patients with posterior canal benign paroxysmal positional vertigo. *Acta Otolaryngol* 2010;130(9):1009-12.
- 12) Macias JD, Lambert KM, Massingale S, Ellensohn A, Fritz JA. Variables affecting treatment in benign paroxysmal positional vertigo. *Laryngoscope* 2000;110(11):1921-4.
- 13) Del Rio M, Arriaga MA. Benign positional vertigo: Prognostic factors. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2004;130(4):426-9.
- 14) Teixido M, Woods O, Kung B, Seyyedi M. A 3D benign paroxysmal positional vertigo model for study of otolith disease. *World J Otorhinolaryngol Head Neck Surg* 2016;2(1):1-6.
- 15) Fong DT, Chan YY. The use of wearable inertial motion sensors in human lower limb biomechanics studies: A systematic review. *Sensors (Basel)* 2010;10(12):11556-65.
- 16) Muro-de-la-Herran A, Garcia-Zapirain B, Mendez-Zorrilla A. Gait analysis methods: An overview of wearable and non-wearable systems, highlighting clinical applications. *Sensors (Basel)* 2014;14(2):3362-94.
- 17) Vienne A, Barrois RP, Buffat S, Ricard D, Vidal PP. Inertial sensors to assess gait quality in patients with neurological disorders: A systematic review of technical and analytical challenges. *Front Psychol* 2017;8:817.
- 18) Yardley L, Putman J. Quantitative analysis of factors contributing to handicap and distress in vertiginous patients: A questionnaire study. *Clin Otolaryngol Allied Sci* 1992;17(3):231-6.
- 19) Gopinath B, McMahon CM, Rochtchina E, Mitchell P. Dizziness and vertigo in an older population: The Blue Mountains prospective cross-sectional study. *Clin Otolaryngol* 2009;34(6):552-6.
- 20) Neuhauser HK, Radtke A, von Brevern M, Lezius F, Feldmann M, Lempert T. Burden of dizziness and vertigo in the community. *Arch Intern Med* 2008;168(19):2118-24.
- 21) Bromwich M, Hughes B, Raymond M, Sukerman S, Parnes L. Efficacy of a new home treatment device for benign paroxysmal

- positional vertigo. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 2010;136(7): 682-5.
- 22) Tabanfar R, Chan HHL, Lin V, Le T, Irish JC. Development and face validation of a Virtual Reality Epley Maneuver System (VREMS) for home Epley treatment of benign paroxysmal positional vertigo: A randomized, controlled trial. Am J Otolaryngol 2018;39(2):184-91.
- 23) Karlberg M, Halmagyi GM, Büttner U, Yavor RA. Sudden unilateral hearing loss with simultaneous ipsilateral posterior semicircular canal benign paroxysmal positional vertigo: A variant of vestibulo-cochlear neurolabyrinthitis? Arch Otolaryngol Head Neck Surg 2000;126(8):1024-9.
- 24) Tanimoto H, Doi K, Nishikawa T, Nibu K. Risk factors for recurrence of benign paroxysmal positional vertigo. J Otolaryngol Head Neck Surg 2008;37(6):832-5.
- 25) Furman JM, Cass SP. Benign paroxysmal positional vertigo. N Engl J Med 1999;341(21):1590-6.
- 26) Kim C-S, Choi H-Y, Kwon P-S, Lee E-P, Seo C-W. Factors analysis affecting lateral canal benign paroxysmal positional vertigo. Korean J Clin Lab Sci 2015;47(1):35-8.
- 27) Kim C-S. Analysis of the factors affecting canalith repositioning maneuver treatment of in posterior canal benign paroxysmal positional vertigo of a dizziness patient. Korean J Clin Lab Sci 2018;50(3):267-74.