

안내 가스 주입술을 시행한 토끼 눈에서 자동차로 고도상승 중의 안압 변화

정세환 · 이동훈 · 최성원 · 윤이나 · 이석준

연세대학교 원주의과대학 원주기독병원 안과학교실

목적 : 안내 가스 주입술을 시행한 토끼 눈에서 자동차 이동 중 고도상승과 안압의 관계에 대하여 알아보았다.

대상과 방법 : 6마리의 토끼 눈에 0.4 cc의 100% C₃F₈ 가스를 유리체강내 주입후, 3일째 영동고속도로에서 고속군과 저속군으로 나누어 승용차로 이동하며 다섯 지점에서 안압을 측정하였다.

결과 : 고속군과 저속군의 안압은 원주(130 m) 11.83±2.14, 13.00±3.69 ($p=0.518$), 횡성(560 m) 20.00±2.28, 21.17±2.14 ($p=0.382$), 평창(580 m) 28.00±2.60, 24.83±1.94 ($p=0.038$), 대관령(805 m) 30.83±3.60, 26.67±1.63 ($p=0.027$) 그리고 강릉(70 m) 9.83±1.17, 10.83±2.14 ($p=0.338$)이었다. 두군 모두 고도가 상승함에 따라 안압이 높아졌으며, 평창과 대관령에서 고속군의 안압이 저속군에 비해 유의하게 높았다.

결론 : 자동차 이동시 고도상승은 유의하게 안압을 상승시킬 수 있으며, 고도상승률의 차이도 안압상승에 관여한다. 따라서 안내 가스 주입술 후 급격한 고도상승이 있는 자동차 이동은 피하거나 안압이 안정된 상태에서 천천히 이동하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

〈한안지 49(5):825-830, 2008〉

안내 가스 주입술을 받은 환자의 비행기 여행은 안압 상승으로 인해 통증과 시력 저하가 발생할 수 있는 위험성을 가지고 있다.¹⁻⁶ Lincoff et al^{7,8}은 비행기 여행시 고도에 따른 안내 가스의 부피 변화에 대한 실험적 연구를 통해 안압 상승에 대한 안구의 보상 기전에 대해 규명하기도 하였다. 일반적으로 안내 가스 주입술을 받은 환자에게서 자동차나 기차를 통한 육상 여행은 큰 문제가 없는 것으로 알려져 있다. 그러나, 몇몇 보고에서 안내 가스 주입술 후 비행기 여행 뿐만 아니라 기차나 자동차를 이용한 높은 고도로의 육상 여행도 통증과 일과성 흑암시를 유발시켰던 증례들이 있었다.⁹⁻¹¹

저자들도 본원에서 안내 가스 주입술을 시행 받고 자동차로 대관령을 통과하여 귀가 하던 중에 안구 통증과 일과성 흑암시를 일으킨 유사한 증례를 경험하였다. 이에 저자들은 이것이 고도 상승과 관련된 안내 가스 팽창으로 인한 현상으로 사료되어 이를 보고하고 토끼 눈을 이용한 실험적 모델로 고도 상승이 있는 자동차 이동시 안압 변화에 대해서 그 상관 관계를 규명해 보고자 하였다.

증례보고

증례 1

특이 전신적 과거력이 없는 41세 남자 환자가 좌안의 외상성 망막박리로 공막돌출술, 유리체절제술, 안내레이저광응고술, 액체-공기 치환술, 안내 가스 주입술(C₃F₈, 14%)을 시행받았다. 술 후 3일째 퇴원 시 시력은 안전수동감별, 안압은 골드만 안압계로 25 mmHg로 측정되었다. 자동차로 영동 고속도로를 거쳐 약 110 km/h의 속도로 대관령을 넘어가던 중 환자는 극심한 안구 통증과 약 5분간의 시력 상실을 경험하였다. 통증과 시력 상실은 시간이 지나면서 점차 호전되다가 강릉에 도착하면서 사라졌다.

〈접수일 : 2007년 6월 22일, 심사통과일 : 2008년 2월 26일〉

통신저자 : 윤 이 나
강원도 원주시 일산동 162
연세대학교 원주기독병원 안과
Tel: 033-741-0633, Fax: 033-745-2965
E-mail: bswhitey@yonsei.ac.kr

* 본 논문의 요지는 2006년 대한안과학회 제95회 춘계학술대회에서 포스터로 발표되었음.

* 본 논문의 요지는 2006 Annual meeting of ARVO에서 포스터로 발표되었음.



Figure 1. Young-dong express way with a contour map.

증례 2

특이 과거력이 없는 55세 남자 환자가 우안의 열공성 망막박리로 공막돌출술, 유리체절제술, 액체-공기 치환술, 안내 가스 주입술(C_3F_8 , 12%)를 시행받았다. 술 후 4일째 퇴원 시 시력은 광각유로 안압은 골드만 압압계로 26 mmHg로 측정되었다. 자동차로 영동고속도로의 대관령 구간을 약 100 km/h의 속도로 지나가던 중 약 5분 간의 안구 통증을 경험하였다. 안구 통증은 점차적으로 사라졌으며, 강릉 도착시 더 이상 통증은 나타나지 않았다.

대상과 방법

체중이 2.0~3.0 kg 사이의 정상 백색 토끼 6마리 12안을 이용하였다. 토끼를 ketamine HCl 25 mg/kg (Ketalar®, Yuhan)로 근육 주사하여 마취한 후 6시 방향의 각막 윤부로부터 3.0 mm 떨어진 지점에 26 gauze 주사 바늘을 이용하여 0.4 cc의 100% C_3F_8 (perfluoropropane) 가스를 유리체강 내에 주입하였다. 주사 바늘을 빼고 즉시 면봉으로 약 1분간 눌러서 결막하 공간으로의 가스의 누출이 일어나지 않도록 하였으며, 전방 천자를 하여 과도한 안압 상승이 생기지 않도록 하였다. 안내 가스 주입술을 시행한지 3일 후에 토끼 눈에 적당한 C_3F_8 가스 방울이 생긴 것을 확인한 후 Perkins tonometer (Edinburgh, UK)로 기저 안압을 측정하여 10~21mmHg 사이의 안압을 보이는 경우에만 연구에 포함시켰다.

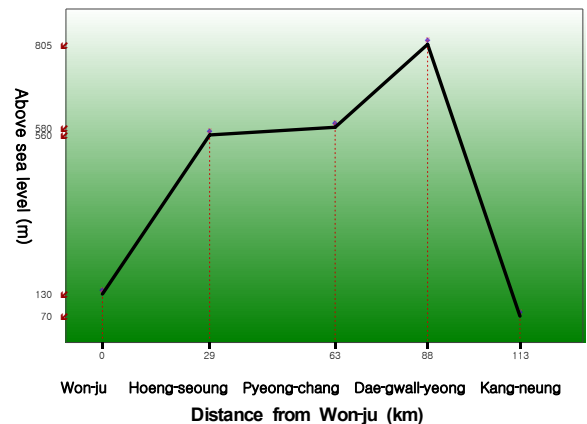


Figure 2. A schematic diagram shows a topographical profile from Won-ju to Kang-neung.

자동차 속도의 차이에 따른 안압 상승의 변화를 알아보기 위해서 대상군을 고속군(Group A)과 저속군(Group B)으로 분류하였다. 자동차 여행시 고도의 변화가 급격하고 빠른 속도를 낼 수 있는 영동 고속도로를 실험 장소로 선택하였으며, 안압의 측정이 가능한 5 지점을 선정하였다(Fig. 1). 각 지점의 고도는 해수면으로부터 각각 원주 130 m, 횡성 휴게소 560m, 평창 휴게소 580 m, 대관령 805 m 그리고 강릉 톨게이트 70 m 였다(Fig. 2). 실험은 원주에서 기저 안압을 측정한 후 고속군은 평균 100 km/h 이상의 속도로, 저속군은 평균 40~50 km/h의 속도로 강릉 톨게이트까지 주행하였으며, 각각의 지점에서 안압을 측정하였다. 안압은 Perkins tonometer로 동일한 검사자에 의해서 3회 반복 측정 후 평균값을 구하였다. 또한 각

구간 간의 이동 시간을 측정하여 평균 고도 상승 및 하강률을 측정하였다. 통계 처리는 SPSS 12.0 프로그램을 사용하였고, 고속군과 저속군 간의 안압 차이와 고도 상승 및 하강률을 independent sample *t*-test로 검증하였다($p < 0.05$).

결 과

토끼 6마리 12안 모두가 연구에 포함되었다. 출발 전 측정된 평균 기저 안압은 고속군(group A, 6안)은 11.83 ± 2.14 , 저속군(group B, 6안)은 13.00 ± 3.69 mmHg로 유의한 차이가 없었다($p = 0.518$). 각각의 지정된 지점에서 측정된 안압은 고속군과 저속군 각각 횡성 휴게소 20.00 ± 2.28 , 21.17 ± 2.14 mmHg, 평창 휴게소 28.00 ± 2.60 , 24.83 ± 1.94 mmHg, 대관령 30.83 ± 3.60 , 26.67 ± 1.63 mmHg 그리고 강릉 톨게이트 9.83 ± 1.17 , 10.83 ± 2.14 mmHg 이었다(Table 1).

고속군과 저속군 모두 고도가 상승함에 따라 평균 안압이 높아졌으며, 최고 안압은 대관령에서 고속군 30.83 ± 3.60 , 저속군 26.67 ± 1.63 mmHg로 측정되었다. 반면 강릉 톨게이트에서는 고속군 9.83 ± 1.17 , 저속군 10.83 ± 2.14 mmHg로 평균 안압이 낮아져 대관령에서 강릉 까지의 고도 하강 구간에서는 안압도 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 또한 강릉 톨게이트에서 측정된 평균 안압은 고속군과 저속군 모두 원주에서 측

정한 기저 안압인 11.83 ± 2.14 , 13.00 ± 3.69 mmHg와 비교하여 의미있게 낮은 것으로 나타났다($p < 0.05$). 각 지점에서의 고속군과 저속군 간의 평균 안압의 차이는 횡성 휴게소와 강릉 톨게이트에서는 차이가 없었으나($p = 0.382$, 0.338), 평창 휴게소와 대관령에서는 의미있는 차이를 보였다($p = 0.038$, 0.027). 특히 최고점인 대관령에서는 고속군 30.83 ± 3.60 , 저속군 26.67 ± 1.63 mmHg ($p = 0.027$)로 가장 큰 안압 차이를 보였다(Table 1).

각 구간 간의 거리와 이동 시간에 따른 구간별 평균 고도 상승률은 원주~횡성 고속군 33.1 , 저속군 11.5 m/min, 횡성~평창 고속군 1.5 , 저속군 0.5 m/min, 평창~대관령 고속군 20.0 , 저속군 10.0 m/min 이었으며, 대관령~강릉 간의 평균 고도 하강률은 고속군 66.9 , 저속군 33.4 m/min 이었다(Table 2). 이 중 횡성~평창 구간의 고도 상승은 고속군과 저속군 간에 의미가 없는 것으로 나타났으나($p > 0.05$), 나머지 구간은 두 군 간의 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$).

고 찰

유리체-망막 수술에서 가스(gas)는 유리체절제술 후 충전(tamponade) 효과를 위해서 혹은 망막 박리의 일차적 치료 방법으로 널리 쓰이고 있다.⁸ 그러나 비행기 여행시 가스 팽창으로 인한 안압 상승으로 통증과

Table 1. Summary of intraocular pressure changes between group A and group B

Check point/Above sea level (m)	Group	IOP (mmHg)	Difference between group A & B (<i>p</i> -value)
Won-ju / 130 m	A	11.83 ± 2.14	0.518
	B	13.00 ± 3.69	
Hoeng-seong / 560 m	A	20.00 ± 2.28	0.382
	B	21.17 ± 2.14	
Pyeong-chang / 580 m	A	28.00 ± 2.60	0.038
	B	24.83 ± 1.94	
Dae-gwall-yeong / 805 m	A	30.83 ± 3.60	0.027
	B	26.67 ± 1.63	
Kang-neung / 70 m	A	9.83 ± 1.17	0.338
	B	10.83 ± 2.14	

Table 2. Mean ascent & descent rates between checking points in group A and B

Two check points / Difference of altitude (m)	Group	Mean Ascent & Descent rate (m/min)
Won-ju ~ Hoeng-seong / 430 m	A	33.1
	B	11.5
Hoeng-seong ~ Pyeong-chang / 20 m	A	1.3
	B	0.5
Pyeong-chang ~ Dae-gwall-yeong / 220 m	A	20.0
	B	10.0
Dae-gwall-yeong ~ Kang-neung / 735 m	A	66.9
	B	33.4

시력 저하를 유발할 수 있어, 가스가 유리체강 내에 남아있는 경우에 높은 고도의 비행기 여행은 금기로 받아 들여 지고 있다.^{1,12} 그 동안의 보고를 살펴보면 Dieckert et al¹²은 Rhesus monkey의 안구에서 유리체강 내 0.25 cc 가스가 8,100 피트(feet) 상공에서 평균 42 mmHg의 안압 상승을, Michael et al¹³은 7429 피트 상공에서 84~109%의 안압 상승을 일으켰음을 보고한 바 있다. 그러나 Gregg et al¹⁴의 연구에서는 비행기 여행 중 3000피트 상공에서 49 mmHg까지 안압이 상승하여, 높은 고도의 비행기 여행이 아니더라도 안압 상승이 일어날 수 있음을 증명하였다. 이는 유리체강 내 가스로 인한 안압 상승에 고도뿐만 아니라 여러 가지 요인이 복합되어 있음을 시사한다.

실제로 기차나 자동차 같은 낮은 고도에서 이루어지는 여행에서도 유리체강 내의 가스가 안압 상승을 일으킨 것으로 생각되는 증례가 보고된 바 있다. Gandorfer and Kampik¹⁰은 유리체강 내 15% C₂F₆ 주입술을 시행받은 58세 여자 환자가 자동차로 귀가하던 중 해발 1,375 m (4,511 feet)에서 3분 간의 통증과 시력 저하를 일으킨 증례를 보고하였으며, Shiramizu et al¹¹은 14% C₃F₈ 주입술을 시행받은 15세 남자 환자가 고속 열차인 신칸센(shinkansen)으로 귀가하던 중 동경-나가노 구간의 고도 1,025 m 지점에서 5~6분 간의 통증과 시력 저하를 경험한 증례를 보고하였다. 저자들의 경우도 대관령(최고점 해발 832 m, 2,732 feet)을 지나 자동차로 귀가하던 중 약 5분 간의 통증과 시력 저하를 일으킨 증례를 경험하였다.

Lincoff et al^{7,8}은 토끼를 이용한 실험적 모델에서 감압에 따른 유리체강 내의 가스와 안압과의 상관 관계를 연구하였다. 그의 연구에 따르면 절대 안압(AIOP : Absolute intraocular pressure)은 대기압(AP : Atmospheric pressure)과 안압(IOP : Intraocular pressure)의 합으로 표시되며, 해수면에서의 절대 안압은 760+IOP mmHg이 된다고 하였다. 고도가 상승함에 따라 대기압이 감소하면 절대 안압이 감소하게 되며 동시에 보일의 법칙(Boyle's law, $P_1V_1=P_2V_2$)에 따라 가스가 팽창한다. 이때 안구에서는 안압 상승을 보상하기 위한 기전이 발생하며 맥락막 보상(choroidal compensation), 공막 확장(scleral expansion) 그리고 방수 유출(aqueous outflow)이 그것이다. 그러나 갑작스런 감압으로 가스의 팽창을 안구가 적절히 보상하지 못할 경우에는 지연(lag) 현상이 발생하여 절대 안압이 높아지게 되며, 대기압과의 차이만큼 안압이 상승하게 된다. 하지만 단계적인 감압을 시도하면 이러한 지연 현상이 작아져 큰 안압 상승이 일어나지 않게 된다. 결국 안압 상승에는 실제 고도

도 중요하나 얼마나 짧은 시간 내에 고도 상승이 일어났는지도 안압 상승을 유발하는데 중요한 인자임을 시사하는 것이다.

저자들은 본 실험적 모델을 통해 805 m 정도의 낮은 고도에서도 안압 상승이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 평창 휴게소와 대관령에서 측정한 안압은 고속군과 저속군 간에 유의한 차이가 있어 고도 상승률이 클 경우 안압 상승도 더 큰 것을 확인하였다. 그러나 평균 고도 상승률과 안압 상승이 정확히 일치하지는 않았는데 이것은 영동 고속도로의 지형학적 특성상 지속적인 고도 상승만 있는 것이 아니라 고도 상승과 하강이 자주 반복되어 안압 상승을 보상하기 위한 시간적 여유가 있었기 때문으로 사료된다. 실제로 원주~횡성 구간의 평균 고도 상승률은 고속군 33.1, 저속군 11.5 m/min 으로 큰 차이가 있었으나($p<0.05$), 실제 횡성 휴게소에서 측정한 안압은 20.00 ± 2.28 , 21.17 ± 2.14 mmHg 으로 유의한 차이가 없었다($p=0.382$).

급격한 고도 하강이 있는 후 측정한 강릉 톨게이트에서의 안압은 원주에서 측정한 기저 안압 보다 유의하게 낮은 것으로 나타났다($p<0.05$). 이러한 현상은 다른 연구들에서도^{8,14} 나타났던 현상으로 높은 고도에서 안압 상승 시 유출되었던 방수의 손실로 원래 고도로 돌아온 후 상대적인 저안압이 나타나는 것으로 생각된다. 하지만 원주와 강릉 사이의 60 m의 고도 차이가 존재하므로 이에 따른 안압 하강도 결과에 영향을 끼쳤을 것으로 사료된다.

저자들은 안내가스주입술을 시행한 영동 지역 환자에서 귀가 중 통증과 시력 저하를 일으킨 증례들을 최근에서야 경험하였다. 과거와 비교하여 수술 방법이나 사용하는 가스의 종류에는 변화가 없었음에도 이러한 현상이 발생한 것에 의문을 갖고 그 이유를 찾아보았다. 과거 영동 고속도로는 2001년 11월 신도로나가 개통되기 전까지는 길이 좁고 구불거리는 구도로를 이용하였고, 실제 원주-강릉 간 이동 시간은 약 2시간 내외가 소요되었다. 하지만 왕복 4차선의 신도로나가 개통되면서 이동 시간이 약 1시간 20분 내외로 줄어들었고 이러한 이동 시간의 단축으로 인해 고도 상승률에도 변화가 있었을 것으로 생각되었다. 실제로 본 연구에서 구간에 따라 차이는 있었으나 평균 고도 상승률이 최고 33.1 m/min 까지 측정되었다. 이는 Shiramizu et al¹¹의 동경-나가노 구간의 평균 고도 상승률인 12 m/min 보다도 훨씬 더 큰 것이다.

본 연구에서는 유리체절제술을 시행하지 않은 토끼 눈에 0.4 cc의 100% C₃F₈ 가스를 사용하여, 유리체절제술 후 회석된 가스를 주입한 실제 환자들은 근본적인 차이가 있다. 그러나 저자들은 안내 가스를 주입한

상태에서는 낮은 고도의 자동차 이동이라도 고도 상승률이 클 경우 안압이 높아질 수 있음을 확인하고자 하였으므로 연구의 목적에는 부합하리라 사료된다. 하지만 추후 실제 환자와 마찬가지로 유리체절제술 후 희석된 안내 가스를 이용한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

본 연구는 저자들이 경험한 증례들의 통증과 시력 저하의 원인이 안압 상승으로 인해 발생하였을 가능성을 뒷받침 할 수 있다고 사료된다. 또한 본 연구를 통해 실제 고도도 중요하지만 얼마나 짧은 시간 내에 고도 상승이 일어났는지도 안압 상승을 유발하는데 중요한 요인임을 확인할 수 있었다. 그러므로 안내 가스 주입술을 시행한 영동지역 환자들의 경우 안압이 안정된 것을 확인한 후에 퇴원 시키거나 이동 속도를 느리게 하여 보상 작용이 일어날 시간을 벌어주면서 이동토록 교육시키는 것이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) Brinkley JR. Flying after vitreous injection. Am J Ophthalmol 1980;90:580.
- 2) Fuller D. Flying and intraocular gas bubble. Am J Ophthalmol 1981;91:276-7.
- 3) Stinson TW III, Donlon JV Jr. Interaction of intraocular air and sulfur hexafluoride with nitrous oxide: a computer simulation. Anesthesiology 1982;56:385-8.
- 4) Norton EW, Fuller DG. advances in Vitreous Surgery, 1st ed. Springfield, III: Charles C Thomas 1976;312-25.
- 5) Sabates WI, Abrams GW, Swanson DE, Norton EW. The use of intraocular gases; the results of sulfur hexafluoride gas in retinal detachment surgery. Ophthalmology 1981;88:447-54.
- 6) Crittenden JJ, de Juan E Jr, Tiedeman J. Expansion of long-acting gas bubbles for intraocular use: principles and practice. Arch Ophthalmol 1985;103:831-4.
- 7) Lincoff H, Weinberger D, Reppucci V, Lincoff A. Air travel with intraocular gas: I. The mechanisms for compensation. Arch Ophthalmol 1989;107:902-6.
- 8) Lincoff H, Weinberger D, Stergiu P. Air travel with intraocular gas: II. Clinical considerations. Arch Ophthalmol 1989;107:907-10.
- 9) Hanscom TA, Diddie KR. Mountain travel and intraocular gas bubbles. Am J Ophthalmol 1987;104:546.
- 10) Gandorfer A, Kampik A. Expansion of intraocular gas due to reduced atmospheric pressure. Case report and review of the literature. Ophthalmologie 2000;97:367-70.
- 11) Shiramizu KM, Okada AA, Hirakata A. Transient amaurosis associated with intraocular gas during ascending high speed train travel. Retina 2001;21:528-9.
- 12) Dieckert JP, O'Connor PS, Schacklett DE, et al. Air travel and intraocular gas. Ophthalmology 1986;93:642-5.
- 13) Michael DM, Rober GD, Wai-Ching L, et al. An assessment of intraocular pressure rise in patients with gas filled eyes during simulated air flight. Ophthalmology 2001;108:40-4.
- 14) Gregg TK, Malcolm RI. Intraocular gas and low altitude air flight. Retina 1994;14:356-8.

=ABSTRACT=

Intraocular Pressure Change in Rabbits with Intraocular Gas During Ascending Car Travel

**Se-Hwan Jung, M.D., Dong-Hoon Lee, M.D., Sung-Won Choi, M.D.,
Ie-na Yoon, M.D., Suk-Jun Lee, M.D.**

Department of Ophthalmology, Wonju Christian Hospital, Yonsei University, Wonju College of Medicine, Wonju, Korea

Purpose: The authors studied the change according to altitude in the intraocular pressure (IOP) of rabbit models after intravitreal gas injection.

Methods: We injected C₃F₈ gas (pure gas, 0.4 cc) into the vitreous cavity in six pairs of rabbits. The six rabbits were divided into the Fast group and the Slow group. After 3 days, we measured the rabbits' IOPs at five different check points along the Young-Dong Expressway while traveling in a car.

Results: The IOPs of the Fast and the Slow groups at each check point, respectively, were 11.83 ± 2.14 , 13.00 ± 3.69 ($p=0.518$) in Won-ju (130 m), 20.00 ± 2.28 , 21.17 ± 2.14 ($p=0.382$) in Hoeng-seong (560 m), 28.00 ± 2.60 , 24.83 ± 1.94 ($p=0.038$) in Pyeong-chang (580 m), 30.83 ± 3.60 , 26.67 ± 1.63 ($p=0.027$) in Dae-gwall-yeong (805 m) and 9.83 ± 1.17 , 10.83 ± 2.14 ($p=0.338$) in Kang-neung (70 m). We found that IOP increased with increased altitude in both groups. The IOP of the Fast group was significantly higher than that of the Slow group at the Pyeong-chang and Dae-gwall-yeong check points.

Conclusions: We observed that IOP increased during car travel as altitude increased. In addition, we found that the rate of ascent was a risk factor for increased IOP. Therefore, it is important to inform patients with intraocular gas to avoid fast ascents during car travel and to ascend slowly after IOP has stabilized.

J Korean Ophthalmol Soc 49(5):825-830, 2008

Key Words: Car travel, Intraocular gas, Intraocular pressure

Address reprint requests to **Ie-na Yoon, M.D.**

Department of Ophthalmology, Wonju Christian Hospital, Yonsei University, Wonju College of Medicine
#162 Ilsan-dong, Wonju 220-701, Korea

Tel: 82-33-741-0633, Fax: 82-33-745-2965, E-mail: bswhitey@yonsei.ac.kr