

J. Biomed. Eng. Res.
Vol. 22, No. 6, 487-495, 2001

전기자극과 VOG(Videooculograph)를 이용한 정상인의 전정 안반사 측정

김수찬^{1,5} · 정운교² · 남기창^{1,5} · 이원상³ · 김영하⁴ · 김덕원⁵

¹연세대학교 대학원 생체공학협동과정, ²연세이비인후과, ³연세대학교 의과대학 이비인후과학교실

⁴한국과학기술연구원, ⁵연세대학교 의과대학 의학공학교실

(2001년 9월 5일 접수, 2001년 12월 12일 채택)

Measurement of Vestibular Ocular Reflex in Normal Subjects Using Galvanic Stimulator and Videooculograph

Soo Chan Kim^{1,5}, Woon Kyo Chung², Ki Chang Nam^{1,5}, Won Sang Lee³, Young Ha Kim⁴, and Deok Won Kim⁵

¹Graduate Program in Biomedical Engineering, Yonsei University, ²Chung's E.N.T. Clinic

³Department of Otorhinolaryngology, Yonsei University College of Medicine

⁴Korea Institute of Science and Technology

⁵Department of Medical Engineering, Yonsei University College of Medicine

(Received September 5, 2001. Accepted December 12, 2001)

요약: 본 연구에서는 PIC(마이크로 컨트롤러)를 이용하여 전정계 기능 검사를 할 수 있도록 양극(bipolar) 자극이 가능한 정전류 자극기를 제작하였다. 정전류원이 구동할 수 있는 최대 부하와 최대 전류는 각각 3k Ω , 5mA로 하였다. 그리고 자극 패턴은 직류, 정현파, 혹은 펄스파가 가능하도록 제작하였다. 정상인 20명을 대상으로 전기 자극 방법에 따른 안구 운동을 영상 안구운동 검사기(videooculograph: VOG)를 이용하여 분석하였다. 자극 패턴은 직류, 자극 시간은 30초로 하여, 전류의 세기에 대한 안진 반응을 살펴보기 위해 각 피검자마다 자극 전류가 0.75, 1, 2, 3mA인 경우에 대하여 실험하였다. 자극 전류의 세기가 2mA 이상일 때는 검사 대상자 모두에게서 안진이 발생하였다. 전류의 세기를 0.75에서 3mA로 증가시켰을 때, 느린 성분의 안구운동 속도의 평균은 1.1에서 4.8 deg/sec로 증가하였고, 안진의 평균 횟수 또한 17회에서 48회로 증가하였다. 전기 자극으로 인한 빠른 성분의 안구운동은 일관되게 음 자극을 가하는 전극이 있는 방향으로 나타났으며 좌우 반응의 차이를 나타내는 비대칭도는 전류가 증가할수록 감소하였다. 본 연구는 전기 자극을 이용한 전정 기능 평가와 전정 안반사의 생리기전 연구의 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

Abstract: In this study, a galvanic stimulator providing bipolar mode controlled by a PIC(peripheral interface controller) was constructed to evaluate vestibular function. The maximum load and maximum current intensity of the constant current source were 3k Ω and 5mA, respectively, and it could produce DC, sine waves, or pulse waves. Eye movements of 20 normal subjects by galvanic stimulation were analyzed using a commercial videooculograph. During stimulating with DC for 30 sec, we recorded the response of eye movement with current intensity of 0.75, 1, 2, and 3mA. Nystagmus occurred to all the subjects when the galvanic stimulus intensity was larger than 2mA. Average SPV(slow phase eye movement velocity) and the number of nystagmus increased from 1.1 to 4.8 deg/sec and from 17 to 48, respectively, when the stimulus current increased from 0.75 to 3mA. All the fast eye movement of the nystagmus were the direction of the negative electrode. The asymmetry which means the difference between right- and left-eye movements decreased when the stimulus intensity increased. It is expected that this study would be useful in evaluating vestibular function and in studying basic physiology mechanism of vestibular ocular reflex by galvanic stimulus.

Key words: 영상 안구운동 검사기(Videooculograph), 전정 안반사(Vestibular ocular reflex), 전기 전정 자극(Galvanic vestibular stimulation)

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(2000-2-31400-007-3)의 지원으로 수행되었음.

통신저자: 김덕원, (120-752) 서울시 서대문구 신촌동 134 연세대학교 의과대학 의학공학교실

Tel. 02-361-5402, Fax. 02-363-9923, E-mail. kdw@yumc.yonsei.ac.kr

서 론

내이의 전정계(vestibular system)와 시각계, 뇌의 뇌간은 가속의 변화나 중력에 의한 상대적인 위치의 변화를 감지하는 기관으로 인체나 물체가 움직일 때 자동적으로 자세의 움직임과 안구 운동을 유발하여 공간에서 위치감과 몸의 평형 및 자세를 유지시켜 주는 중요한 역할을 한다[1]. 이러한 전정계의 이상 유무를 진단하기 위해 인위적으로 전정 기관을 자극시켜 전정계의 반응을 측정한다. 자극 방법으로는 회전 의자를 사용하여 물리적으로 피검자에게 회전 자극을 가하는 방법과 온도 변화의 자극을 가하는 방법(caloric method), 그리고 전기 자극을 가하는 방법(galvanic stimulation method) 등이 있다[2]. 이 중 회전 의자를 이용한 방법은 공간을 많이 차지하며 온도 자극과 마찬가지로 미세한 자극 강도 및 시간 조절이 어렵다는 단점이 있다. 자연적으로 몸을 회전시키거나 가속을 시켜 전정기관에 자극을 가하는 방법도 있으나 이러한 방법은 전정 기관 외의 움직임으로 인하여 다른 기관에도 함께 자극이 가해지므로 적절한 방법이라 할 수 없다[2,3]. 전정계에 전기 자극을 가하게 되면 전정 안반사(vestibular ocular reflex)와 전정 척수반사(vestibulospinal reflex)가 유발되어 각각 안진(nystagmus) 및 자세의 흔들림(body sway or postural sway)이 발생한다. 전정 안반사는 안진과 같은 안구 운동으로 나타나며, 안구 운동을 측정하여 전정 기능을 평가한다.

안구운동을 관찰하는 방법으로는 안전도(electrooculogram; EOG), 각막 반사법(cornea reflection method), 콘택트 렌즈법 등이 있으며 이 중 대표적인 안구운동 측정법은 전기적 신호를 증폭하는 안전도이다[4]. 그러나, 안전도는 전기 자극으로 안진을 유발시킬 경우에 안진 신호가 전기 자극 신호의 간섭을 받기 때문에 안구운동을 측정하기가 어렵다. 각막 반사법과 콘택트 렌즈법은 전기 신호의 간섭 현상을 일으키지는 않지만, 시야를 방해하는 단점이 있다. 또한 콘택트 렌즈법은 가장 정확한 방법이지만 불완전한 비관혈적 측정 방법이며 측정 시 거부감을 유발할 수 있고 장시간 측정이 어렵다는 단점이 있다[4]. 이러한 이유로 인하여 1820년 Purkinje에 의하여 처음으로 전기 자극의 개념이 성립되어 Pfalz가 전기 안진 검사를 일반 임상 검사에 사용하였으나 그 당시에는 기술상의 문제로 임상이나 생리 기전 연구에 크게 도움을 주지는 못하였다[5].

그러나 최근 컴퓨터 성능의 향상과 영상 처리 기술의 발전으로 직접 안구의 움직임을 관찰하여 미세한 안구운동까지 관측이 가능한 영상 안구운동 검사기(videoculograph; VOG)가 상용화되어 전기 자극을 이용한 전정 안반사 및 전정 척수반사의 검사가 가능하게 되었다[6-9]. 특히 영상 안구운동 검사 기술은 앞서 언급한 안구운동 관찰법들보다 탁월한 유연성(flexibility)을 제공하며 다루기 쉽고, 비관혈적인 측정이 가능하고 안구의 좌우 및 상하 운동뿐만 아니라 회전 운동도 측정이 가능하다는 장점이 있다. 또한 측정시 기저선 변동(drift)이나 다른 생리 신호에 영향을 받지 않을 뿐만 아니라 피검자의 주변 장비에 의한 전자기적 잡음 환경 하에서도 안정적 측정

이 가능하다[8].

본 연구에서는 전정계 전기 자극으로 전정계를 진단하는 방법으로서의 활용 가능성을 알아보고, 영상 안구운동 검사기를 이용하여 안구운동을 관찰해 전정 기능을 평가하였다. 이를 위해 마이크로 컨트롤러를 사용하여 조작이 간편한 정전류 자극기를 개발하였고, 안진 반응이 가장 잘 유발되는 자극 부위를 조사해 보았다. 마지막으로 정상인을 대상으로 전류 세기의 변화에 따른 안진을 관찰하고 그 결과를 분석하였다.

방 법

1. 시스템 설계

(1) 자극전극 선택 및 접촉저항 측정

정전류 자극기에서 가장 중요한 것은 어떠한 부하 조건에서도 정전류를 제공하는 것이다. 그러므로 자극기를 설계할 때 정전류원으로서의 기능을 수행할 수 있는 최대 부하를 결정해야만 정전류원을 효과적으로 설계할 수 있다. 정전류를 가하고 자하는 유양돌기(mastoid)의 접촉저항을 알아보기 위하여 두 종류의 근전도(electromyogram; EMG) 전극(53 mm×35 mm, 직경: 19 mm, Nicolet Inc., USA)과 흔히 구할 수 있는 직경 10 mm인 Ag-AgCl 심전도(electrocardiogram; ECG) 전극(3M, USA)을 선택하여 시간에 따른 접촉저항을 관찰하였다. 이 결과를 근거로 정전류원의 최대 부하를 결정하고 임상 실험에 사용할 적절한 전극을 선택하였다.

(2) 전류 자극의 패턴 및 자극 방법

전정기관을 자극할 때 필요한 자극의 종류 및 파형, 그리고 자극 시간을 기존 논문과 임상 전문의의 경험을 바탕으로 결정하였다[10-16]. 정전류 출력이 자극 부위로 정확히 전달되는가에 대한 확인은 양쪽 유양돌기 부위에 전극을 부착하고 실제 정전류 값을 전류계로 직접 확인하는 방법과 오실로스코프를 사용하여 전압의 파형을 확인하는 간접적 방법을 이용하여 전류값과 과도 상태 모두를 확인하였다. 그림 1은 본 연구에서 개발한 전기 자극기의 출력 가능한 다섯 종류의 파형을 보여 주고 있으며 표 1은 각 파형의 사양이다.

(3) 회로 구성

결정된 자극 패턴의 구현을 위해 정전류부는 연산증폭기(operational amplifier)의 귀환 전류를 이용한 부동 정전류원(floating current source)을 이용하였다[17]. 정전류의 강도 및 자극 시간은 추후 자극 패턴의 변화 가능성을 고려하여 PIC 컨트롤러(PICBASIC, Comfile Inc., 대한민국)를 사용하여 프로그램만의 수정으로도 자극 파형 및 자극 주기 등의 수정이 용이하도록 하였다. 자극 방법이 다양하므로 매 실험 시 이전 실험 환경을 다시 설정하는 번거로움을 없애고자 최종 실험 환경을 자동으로 EEPROM에 저장하는 기능을 부가하였다. 사용 전원은 9V이며 자극기의 정전류부는 DC-DC converter(PPD6-5-1515, Nemic Lamda, 영국)를 사용하여 ±15V의 분

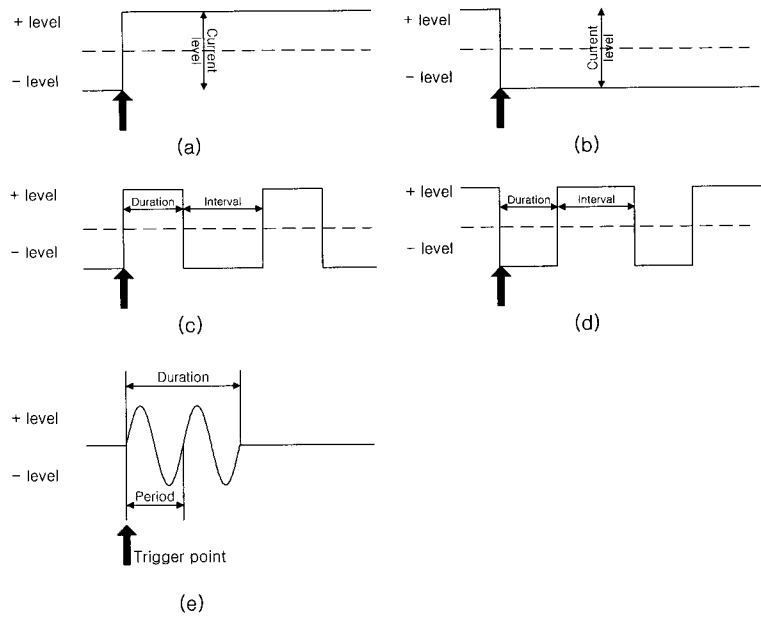


그림 1. 개발된 정전류 자극기에서 발생시킬 수 있는 파형의 종류 및 각 인자에 대한 정의

(a) 양의 직류 자극 파형, (b) 음의 직류 자극 파형, (c) 양의 직류 펄스 파형, (d) 음의 직류 펄스 파형, (e) 정현파

Fig. 1. Five waveforms generated in the constructed constant current stimulator

(a) positive DC waveform, (b) negative DC waveform, (c) positive pulse waveform, (d) negative pulse waveform, (e) sinusoidal waveform

표 1. 자극 패턴의 사양

Table 1. Specification of the stimulus pattern

자극 인자(단위)	범위	비고
Duration*(sec)	10~100	10 sec/단계
Interval*(sec)	10~100	10 sec/단계
Period*(sec)	100, 20, 10, 2, 1, 0.5, 0.3, 0.25, 0.2	
Current(mA)	0.25, 0.50, 0.75, 1, 2, 3, 4, 5	
Mode	Continuous/One-Shot	
Configuration	Bipolar	

* : 자극 인자에 대한 정의는 그림 1 참조.

리 전원(isolated power)을 사용하였다.

그림 2는 정전류 자극기의 일부 회로로서 정전류원의 강도 조절은 U2(4051)의 B0, B1, B2 단자를 이용하였고 On/Off의 입력 단자는 U2와 U3의 INH(inhibit) 단자를 이용하여 구현하였다. 자극 유형(직류 혹은 정현파)의 선택은 S₁로 하도록 설계하였으며 R9(Body)는 인체에 해당되는 부분이다.

2. 임상 실험

(1) 자극 위치

정상인 4명을 대상으로 자극의 최적 위치를 결정하기 위해 그림 3과 같은 다양한 자극 부위를 선택하여 자극 실험을 수행하였다. 그림 3(b)부터 (g)는 우측에도 좌측과 대칭되는 위치에 전극을 부착하였고, 자극 극성을 바꾸어 가며 총 26가지

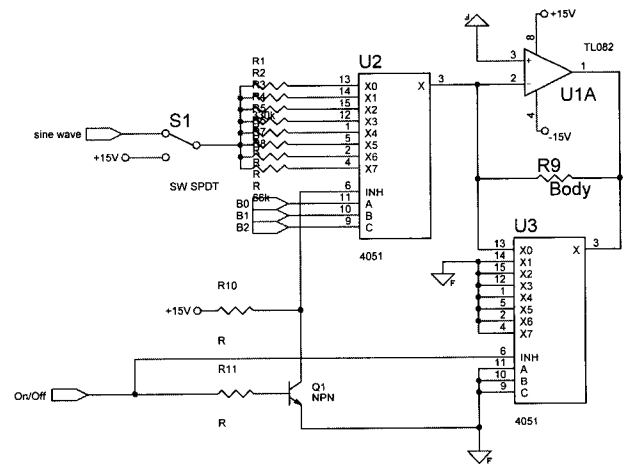


그림 2. 정전류원과 자극 조절부

Fig. 2. Constant current source and stimulus control part

(그림 3(a) 2가지, 그림 3(b)부터 (g) 각 4가지) 방법으로 실험을 하였다. 자극 패턴은 직류, 정현파, 혹은 펄스파로 변경하면서 실험을 할 수도 있었으나 파라미터가 너무 많아지므로 이를 줄이기 위해서 본 연구에서는 에너지가 가장 큰 직류 형태의 자극 패턴으로 한정하여 실험하였다. 전류의 세기는 2 mA, 자극 시간은 10초로 하였고, 전극은 직경 10 mm인 Ag-AgCl을 사용하였다.

안구운동의 측정은 임상에서 사용되고 있는 영상 안구운동

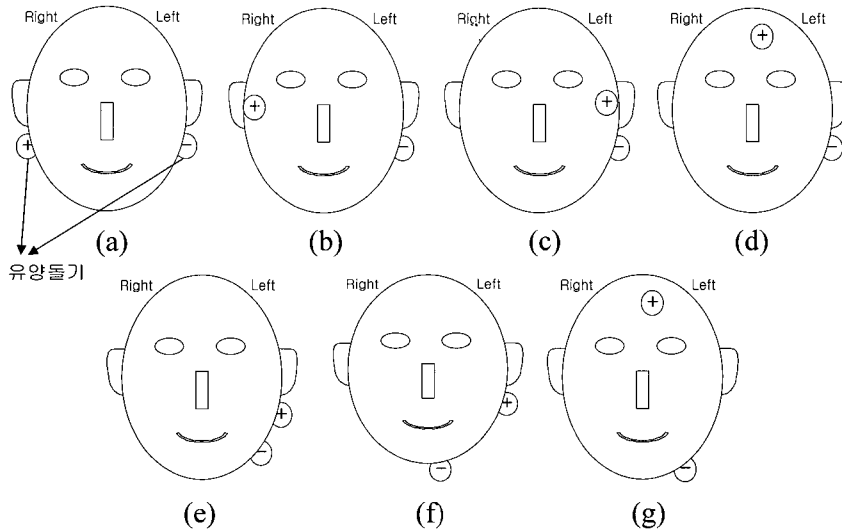


그림 3. 최적의 자극 부위 결정을 위해 실험한 전극 위치

Fig. 3. Various electrode positions evaluated for searching an optimal stimulus electrode position

검사기(2D VOG, SMI, 독일)를 사용하였다. 영상 안구운동 검사기의 기본 기능은 안구의 운동을 CCD(charge coupled device) 카메라로 받아 홍채의 움직임에 대한 정보를 실시간으로 측정하는 것이다[8]. 그림 4와 같이 빛을 차단하는 고글(goggle)을 착용하고 전기 자극으로 발생하는 안구운동인 안진을 측정하였다.



그림 4. 고글을 착용하고 실험을 하는 모습

Fig. 4. Photograph of making an experiment with the goggle

(2) 전정계 자극 실험

실험은 20대에서 30대까지의 정상 성인 20명(남자 9명, 여자 11명)을 대상으로 하였다. 직경 10 mm인 Ag-AgCl 전극을 실험을 통하여 찾은 최적 자극 위치인 양쪽 귀 아래의 유양돌기에 부착하고, 좌측 자극과 우측 자극 모두를 수행하여 총 40개의 데이터를 얻었다. 안구 운동은 정상인의 경우 좌측과 우측 안구 모두 동일하게 나타나므로, 우측 안구 운동만을 전류

자극 없이 10초간 자극 전의 안구 운동을 관찰한 다음 30초간 전류 자극을 가하면서 전기 자극에 대한 안구 운동을 관찰하였다. 그리고 마지막으로 자극을 중지하고 10초간 자극 이후의 안구 운동을 관찰하였다. 자극 전류의 형태는 직류로 하였고, 전류 세기에 대한 안구 운동의 영향을 관찰하기 위해 0.75, 1, 2, 3 mA의 네 가지 전류 세기에 대하여 각각 측정하였다. 전류 세기가 증가될수록 전극 부착 부위의 통증이 느껴지기 때문에 실험 1시간 전에 국소 마취제(Lidocaine 5%, EMLA, 스웨덴)를 전극 부착 위치에 발라 주었다.

안진은 서로 상반되는 2개의 방향을 가지고 있으며 한쪽으로는 급속히 움직이고 다른 한쪽으로는 서서히 움직이는 운동이 있는데 이를 각각 느린 성분의 안구 운동과 빠른 성분의 안구운동이라 하고 임상에서 안진의 방향을 말할 때는 빠른 성분의 방향으로 그 방향을 표시한다[18]. 본 실험에서 전정안반사의 분석에 사용한 인자로는 느린 성분의 안구운동 속도(slow phase eye movement velocity; SPV, 그림 8(a) 참조)의 평균과 안진의 횟수, 자극 후에 발현되는 안진의 유무, 그리고 수평과 수직 안진의 발현 여부 등이었다. 또한 좌우 자극에 대한 발생 횟수의 차이를 보고자 식(1)의 방법으로 비대칭도(asymmetry)를 계산하였다.

비대칭도 =

$$\left| \frac{\text{좌측 자극 시 안진의 횟수} - \text{우측 자극 시 안진의 횟수}}{\text{좌측 자극 시 안진의 횟수} + \text{우측 자극 시 안진의 횟수}} \right| \times 100[\%]$$

결과 및 고찰

1. 자극 시스템

(1) 최적의 전극과 최대 접촉저항

유양돌기에 각질을 제거하지 않고 젤만 사용하였을 경우, 그

림 5와 같이 접촉저항이 EMG 전극의 경우 최저 18 kΩ으로 나타났으며 이때까지의 시간은 약 50분이 소요되었다. 이럴 경우 임상에서 사용하기 곤란하므로 접촉저항을 줄이기 위해 모래가 함유된 각질 제거 용액(Omni cream, 미국)을 사용하여 표피를 제거하고 다시 접촉저항을 측정해 보았다. 그 결과 전극의 종류와 시간에 관계없이 모두 2 kΩ이하의 낮은 저항을 보였다. 따라서, 모든 정전류 자극 실험에서는 정전류원을 보장하기 위해 각질 제거 용액을 이용하여 표피를 제거하였으며, 표면에 마취액을 바른 후 직경 10 mm Ag-AgCl 전극을 사용하여 실험을 수행하였다. 전류 자극에 의한 통증 완화를 위해 사용한 마취액은 신경 전달 및 접촉저항에는 영향을 주지 않았다.

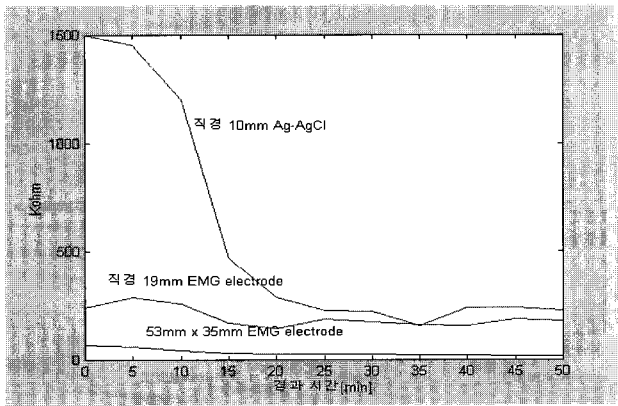


그림 5. 각질을 제거하지 않은 상태에서 시간에 따른 각 전극의 접촉 저항 변화

Fig. 5. Skin-electrode interface resistance changes of the three electrodes by time without removing epidermis

(2) 정전류 자극기의 출력

출력 전류의 세기가 5mA일 때 최대 부하가 3kΩ 이하에서 이상적인 정전류원의 출력을 얻을 수 있었다. 이는 각질 제거 크림을 사용할 경우 접촉저항을 2kΩ 이하로 낮출 수 있으므로 본 실험에 적합하였다. 그림 6은 5초 간 1mA의 자극을 가했을 때 부착 전극에서 측정한 출력 전압을 보여주고 있으며 이때의 접촉저항은 1.2kΩ이었다. 펄스 및 정현파 모두 파형의 왜곡 없이 정확하게 출력됨을 확인하였다.

(3) 개발된 자극기의 사양 및 특징

개발된 전류 자극기는 표 1에서 설계된 모든 조건을 만족하였으며, 입력 전원은 직류 9V, 300mA의 어댑터를 사용하였다. 그림 7과 같이 액정디스플레이(liquid crystal display; LCD), 전류계, 트리거스위치(trigger switch) 및 전원 스위치 등으로 구성되어 있다. 액정디스플레이 패널은 현재 자극 파형에 대한 정보, 발광 다이오드(light emitting diode, LED)는 자극 상태(자극 중인지, 아닌지), 그리고 전류계는 실제 자극 부위에 가해지고 있는 정전류 출력 상태를 보여 준다. 그리고 각종 스위치는 여러 자극 모드를 조절하는데 사용된다. 그 중 자극 전류의 방향을 바꾸고자 할 때 케이블을 바꾸는 불편을

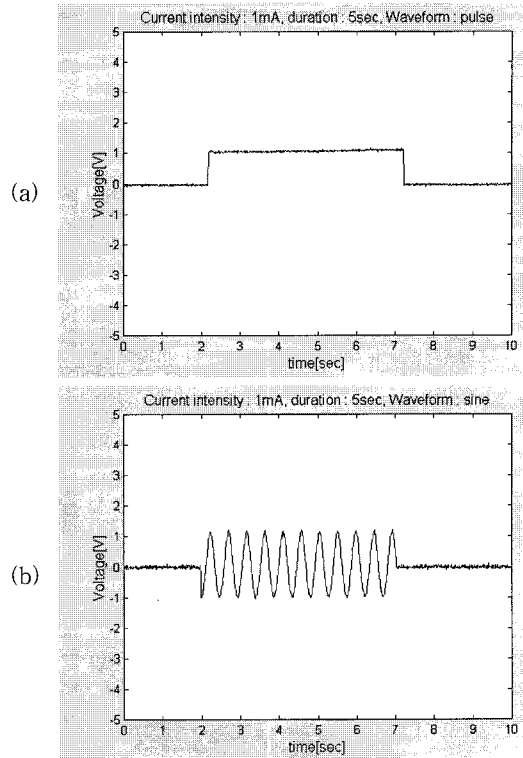


그림 6. 자극 전극 양단에서 측정한 출력 파형: (a) 직류, (b) 정현파
Fig. 6. Output waveforms measured between the stimulus electrodes: (a) DC, (b) sine wave

없애고자 극성 전환 스위치를 부착하여 손쉽게 자극 전류 방향을 바꿀 수 있도록 하였다. 트리거스위치는 자극을 가하고자 하는 시점에 자극을 시작시키는 역할을 한다. 최종 실험환경을 자동으로 저장하는 기능이 있어 자극기를 껐다가 다시 켜더라도 이전의 실험 환경이 그대로 저장되어 있어 손쉽게 실험을 반복할 수 있도록 하였다.

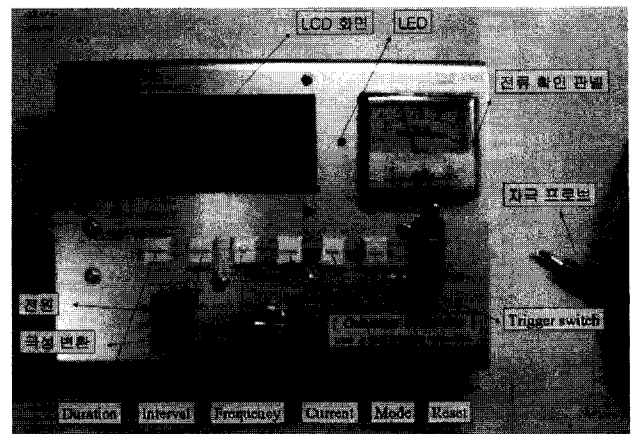


그림 7. 개발된 정전류 전기 자극기의 외형
Fig. 7. Photograph of the constructed constant current stimulator

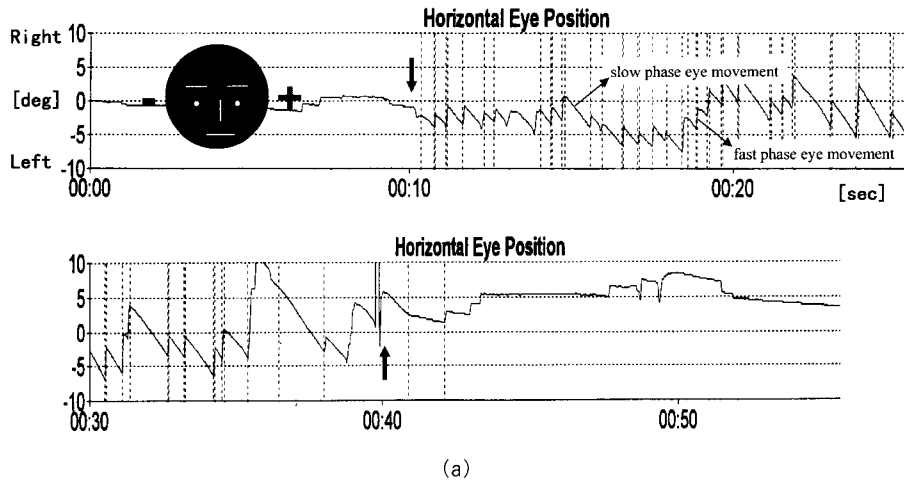
(4) 자극 위치 결정

자극의 위치를 결정하기 위해 정상인 4명을 대상으로 자극 실험을 실시한 결과 양쪽 유양돌기에 직류 자극을 가하는 것이 낮은 전류에서도 반응이 쉽게 잘 나타남을 확인 할 수 있었다. 그림 3(c) 및 (e)와 같이 전정계로 전류가 쉽게 흘러가지 않을 경우, 4명의 피검자 모두에게서 반응은 나타나지 않았으나 그 외의 자극 위치에서는 반응이 일부 나타났다. 최적 자극 위치는 그림 3(a)와 같은 양쪽 유양돌기로서 이는 Fitzpatrick 와 Watson 등의 결과와 일치하였다[13,15]. 전류 자극시 통증을 호소하는 경우가 있는데 이러한 통증을 줄이는 것이 전기 자극을 앞서 전정 안반사 검사에 널리 이용되기 위해서 해결되어야할 문제 중의 하나이다. 이 문제를 해결하고자 본 연구에서는 국부 마취제를 사용하여 통증을 완화시켰으나 이 마취제를 바른 후 적정시간(30분~1시간)이 경과되어야만 효과가 나타나는 단점이 있다. 통증의 주요 시점이 직류 전류 자극이 처음 가해질 때와 자극을 차단할 때 발생하는 것으로 본 연구

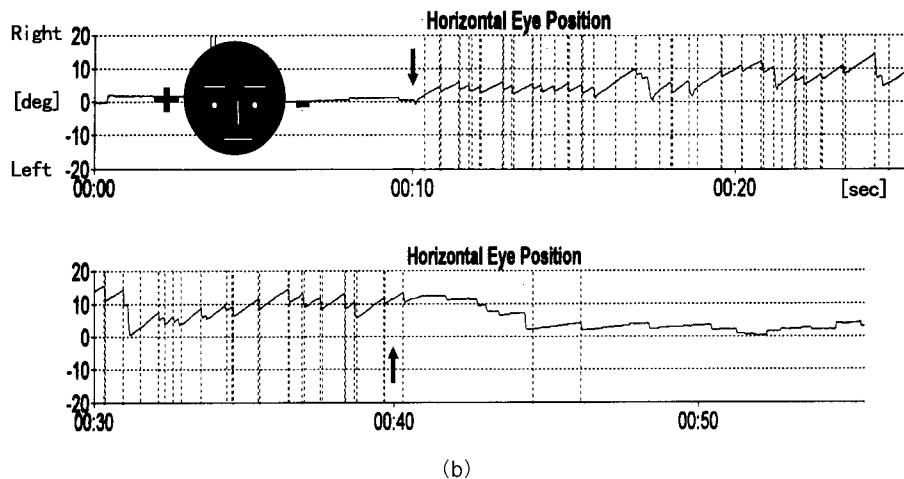
에서 확인되었으므로, 해결 방법으로는 자극 전류를 펄스 형태로 가하는 것이 아니라 서서히 증가시켜주고, 서서히 감소시켜 줌으로써 피검자가 느끼는 통증을 줄일 수 있을 것으로 사료 된다.

2. 전정계 자극 실험

위의 결과로부터 양쪽 유양돌기에 각질을 제거한 후 마취액을 바르고 1시간이 지난 후 전극을 부착하였다. 또한 전극 부착 5분 후에 접촉저항이 2kΩ 이하인 것을 확인하고 실험을 시작하였다. 그림 8은 정상인의 양쪽 유양돌기에 2mA를 가했을 때와 멈추었을 때의 안진을 나타낸 것으로, 세로 축은 안구 움직임인 각도로서 값이 증가하면 안구가 오른쪽으로 움직인 것을 의미하고 값이 감소하면 안구가 왼쪽으로 움직인 것을 의미한다. 정상인의 경우 전기 자극기의 음 자극을 우측 유양돌기에, 양 자극을 좌측 유양돌기에 가하였을 때(그림 8(a))는 안진이 음 자극을 가하는 전극이 있는 방향으로 빠른 성



(a)



(b)

↓ : 자극 시작, ↑ : 자극 마침

그림 8. 정상인에게 2 mA의 전기 자극을 가했을 때의 전형적인 안진 : (a) 우측에 음자극, (b) 좌측에 음자극
Fig. 8. A typical galvanic nystagmus resulting from 2 mA stimulus in a normal subject : (a) negative stimulation to right mastoid, (b) negative stimulation to left mastoid

표 2. 정상인 20명의 전류 세기에 따른 안진 반응 양성도, 평균 SPV, 안진의 횟수 (N=40)

Table 2. Number of positive nystagmus, average SPV, and number of nystagmus in 20 normal subjects (N=40)

전류 세기 (mA)	안진 반응 양성도 N (%)	평균 SPV (average±SD) (deg/sec)	안진의 횟수 (average±SD)
0.75	34(85)	1.1 ± 0.7	17 ± 11
1	35(88)	1.3 ± 0.9	21 ± 14
2	40(100)	2.8 ± 1.4	35 ± 15
3	40(100)	4.8 ± 2.0	48 ± 15

본의 안구운동(fast phase eye movement)이 발생하였고, 자극 방향을 바꾸었을 때(그림 8(b))는 음 자극을 가하는 전극이 있는 방향인 좌측으로 빠른 성분의 안구운동이 발생함을 볼 수 있었다. 그림 8에서 세로 점선은 영상 안구운동 검사기 장비에서 자동으로 검출해 낸 안진을 표시한 것이다. 현재 자동 안진 분석은 완벽하다고 볼 수 없어 임상에서는 이 결과를 사용하기보다는 전문의의 판단에 의존하고 있다. 본 연구에서도 안진의 횟수 분석은 전문의에 의해서 이루어졌다. 정상인의 경우 전기 안진은 좌, 우측에 관계없이 음 자극을 가하는 전극이 있는 방향으로 빠른 성분의 안구운동이 나타났다. 이 결과는 전정신경의 감각 신경상피(sensory neuroepithelium) 바로 밑에 있는 트리거 영역(trigger zone)을 자극하게 되고 전기자극의 전위가 음(-)인 경우는 전정신경의 휴지전위(resting potential)를 활성화시키며, 양(+)의 자극은 억제(inhibition) 시킨다고 발표한 Goldberg의 주장과 일치하는 결과이다[19].

전류 자극 세기에 따른 안진은 표 2에서와 같이 0.75 mA에서 20명의 좌우측 40개의 경우 중 34 경우에서 측정되었으며 2 mA 이상에서는 모두 안진이 측정되었다. 그러나 1970년 초에 Nashner는 전정 안반사 측정보다 발바닥에 가해지는 하중의 중심이동을 측정하는 포스플랫폼(force platform)이나 근전도계를 이용하여 근육에서 발생하는 힘의 변화를 측정하여 얻는 자세의 흔들림(body sway) 반응을 평가하는 전정 척수 검사에 더 좋은 방법이라고 발표하였다[10,12]. 왜냐하면 1 mA 이하의 작은 전류에서도 전정 척수반사는 유발할 수 있지만 안진을 유발하기 위해서는 보다 큰 전류가 필요하며 전정 안반사 검사 시에 전기자극에 의한 통증과 매우 작은 움직임의 안진을 측정하는데 그 당시 기술상의 어려움이 있었기 때문이다. 그러나, 본 연구에서는 2 mA의 상대적으로 낮은 전류 자극에서도 100%의 전정 안반사를 확인하였다. 낮은 전류에서 안진의 측정이 가능한 것은 영상 안구운동 검사기와 같은 안구운동 측정 기술과 자극 방법이 발달하였기 때문이다.

자극 전류가 0.75 및 3 mA일 때, 평균 SPV(slow phase eye movement velocity)는 각각 1.1±0.7 및 4.8±2.0 도/초, 30초간의 평균 안진의 횟수는 각각 17±11 및 48±15 회였다. 이 결과를 바탕으로 자극 전류의 세기에 따른 평균 SPV와 안진의 횟수는 자극의 크기가 증가할수록 증가함을 알 수 있었으며 이 결과는 다른 연구들의 결과와 일치하였다[5,10,12].

표 3은 좌우 평균 SPV 및 안진 횟수의 비대칭도의 평균값으로서 비대칭도가 낮다는 것은 좌우측 자극 극성에 관계없이

표 3. 평균 SPV 및 안진 횟수의 비대칭도

Table 3. Asymmetry of average SPV and the number of nystagmus

전류 세기 (mA)	평균 SPV의 비대칭도 (mean ± SD(%))	안진 횟수의 비대칭도 (mean ± SD(%))
0.75	30.3 ± 37.1	34.8 ± 35.3
1	29.7 ± 31.7	21.7 ± 29.5
2	24.6 ± 22.4	17.0 ± 22.5
3	14.8 ± 12.2	7.8 ± 5.7

유사한 반응을 보이는 것을 의미한다. 이것은 좌우측 전정계의 이상 유무를 진단하거나 비정상인의 측정 결과와 비교하는데 하나의 인자로 활용할 수 있을 것으로 사료된다. 평균 SPV 및 안진 횟수의 좌우 비대칭도는 0.75 mA에서 각각 30.3%, 34.8%로 가장 높았고, 3 mA에서 각각 14.8%, 7.8%로 가장 낮았다. 안진의 횟수에 대한 비대칭도 역시 평균 SPV의 비대칭도와 동일하게 전류의 크기가 증가할수록 비대칭도의 평균 및 편차값이 줄었다. 수직 성분의 안진은 일부 정상인에서 전압의 크기에 따라 불규칙하게 발현되었으나 임상적 유의성은 찾을 수 없었다.

정상인에 대한 전정 안반사 자료를 기반으로 임상에서 환자의 진단에 활용 가능성을 알아보고자 우측 미로절제술(labyrinthectomy)을 받은 환자 1명(남자, 45세)에 대하여 정상인과 동일한 실험을 수행해 보았다. 그림 9는 우측에 음의 자극을 가할 때에는(그림 9(a)), 안진이 매우 약하게 발현되다가 자극이 중지되었을 때 빠른 성분의 안구운동이 크게 나타나는 정상인과 다른 특이한 후기 안진(postgalvanic nystagmus) 현상을 보여준다. 정상적인 기능을 갖는 좌측에 음전극을 부착하여 자극을 가했을 경우에는(그림 9(b)) 정상인의 경우와 마찬가지로 안진이 좌측으로 강하게 빠른 성분의 안구운동이 일어났다. 전정계에서 신경과 전달 경로 등의 구체적인 연구는 임상에서 치료 방향을 결정하는데 있어 중요한 관심 분야이다. 그러므로 비정상인과 정상인 간의 반응 차이에 관한 통계적 유의성을 찾는 연구가 진행되어야 될 것으로 사료되며 현재 본 연구자들 또한 비정상인과 정상인의 전정 안반사를 비교하는 연구를 수행 중에 있다.

결 론

전정 기관 자극 실험을 위해 전류의 세기, 자극 시간, 자극

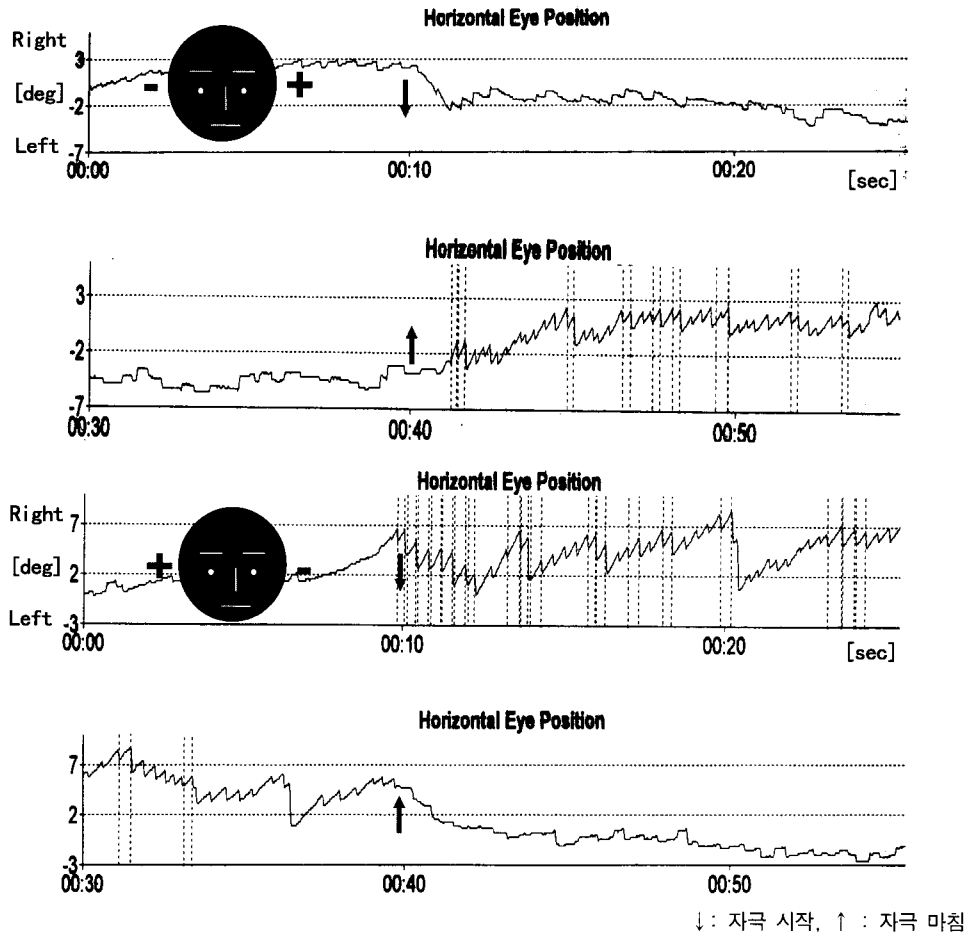


그림 9. 우측 미로절제술을 받은 환자에게 2 mA의 전기 자극을 가했을 때의 안진 : (a) 우측에 음자극, (b) 좌측에 음자극
 Fig. 9. A galvanic nystagmus resulting from 2 mA stimulus in a patient with right labyrinthectomy : (a) negative stimulation to right mastoid, (b) negative stimulation to left mastoid

패턴의 변형이 가능한 정전류 자극기를 제작하였다. 정전류 자극을 가하기 위해 사용한 전극은 10 mm의 일회용 Ag-AgCl 전극을 사용하였으며 각질 제거 크림을 사용하여 접촉 임피던스를 1 kΩ 이하로 줄여 부하에 영향없이 일정한 전류를 가할 수 있었다. 자극의 강도가 1 mA 이상 높게 되면 피검자가 통증을 느끼게 되어 자극 전 국소 마취제를 자극 부위에 발라 통증을 완화시켰다. 전기 자극을 이용한 전정 기관 검사는 자극 방법이 유연하고 비침습적이고, 시스템이 간단할 뿐만 아니라 자연적인 전정기관 자극법(예, 환자를 회전시키거나 가속시키는 방법)이나 회전 의자를 이용한 자극법과 비교해서 다른 부위에는 아무런 간섭 없이 전정기관에만 자극을 가할 수 있는 방법으로 인정받고 있다[3]. 그러나 자극 시 통증이 유발되는 단점을 가지고 있어 이것에 대한 해결도 요구된다.

전정 안반사를 유발시키기는 최적의 위치는 양쪽 유상 돌기였으며 이 부위를 대상으로 자극 반응 실험한 결과, 안진의 방향은 음 자극을 가하는 전극이 있는 방향으로 일정한 전정 안반사를 보였다. 평균 SPV는 전류의 세기가 0.75 mA에서 3

mA까지 변화할 때, 1.1 deg/sec부터 4.8 deg/sec, 안진의 수는 17부터 48, 그리고 비대칭도 또한 34% 7.8%로 전류의 세기가 증가함에 따라 안반사 반응이 증가하였다. 정상인의 경우 전류 자극의 세기가 2 mA 이상일 때, 검사 대상자 모두에게서 안진이 발생하였다.

전기 자극시 자세의 흔들림을 관찰하여 전정계의 구체적인 기능에 대한 연구는 많이 진행되어 왔고, 현재에도 진행 중에 있다[7,14,16]. 그러나 전정 안반사에 관한 연구는 전기자극 시 안구 운동 측정의 어려움으로 인하여 별 진전이 없었으나, 몇 년 전부터 영상 안구운동 검사기의 상용화로 활발히 진행되기 시작된 것으로 본 연구 결과는 전정 안반사의 생리기전 연구의 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

실험에 도움을 주신 연세의대 이비인후과학교실 최재영, 김시찬 선생님과 평형기능검사실의 배미란 선생님께 감사 드립니다.

참고 문헌

1. R.J. Leigh, and D.S. Zee, *The Neurology of Eye Movements* 2nd ed, Philadelphia, F.A. Davis, pp. 1-9, 1991
2. F.O. Black, and R. Kitch, "A review of vestibular test results in Meniere's disease", *Otolaryngol Clin North Am*, Vol. 13, No. 4, pp. 631-642, 1980
3. B.L. Day, "Galvanic vestibular stimulation: new uses for an old tool. [letter; comment]", *J Physiol*, Vol. 517, No. 3, pp. 631, 1999
4. 남문현, 박상희, "안구운동측정법의 비교고찰", *대한이과학회지*, 제14권, 제4호, pp. 315-325, 1973
5. C.R.P. Pfaltz, The diagnostic importance of nystagmography in the galvanic test, In : *Stahle J(ed) Vestibular function on earth and in space*, Oxford, Pergamon Press, pp. 187-199, 1970
6. S.T. Moore, I.S. Curthoys, and T. Haslwanter, "Potential clinical applications of video-based eye position measurement", 17th Annual IEEE EMBS Conference, Vol. 2, pp. 1627-1628, 1995
7. A.S. Cauquil, M.F.T. Gervet, and M. Ouaknine, "Body response to binaural monopolar galvanic vestibular stimulation in humans", *Neurosci Lett*, Vol. 245, No. 1, pp. 37-40, 1998
8. SMI SensoMotoric Instruments, *2D VOG - Manual and Reference Guide*, 1998
9. H. Scherer, W. Teiwes, and A.H. Clarke, "Measuring three dimensions of eye movement in dynamic situations by means of videoculography", *Acta Otolaryngol*, Vol. 111, No. 2, pp. 182-187, 1991
10. L.M. Nashner, *Sensory feed back in human posture control (thesis)*, Cambridge, Mass, MIT, 1970
11. 김수찬, 남기창, 안주현, 김덕원, 정운교, 이원상, "전정 기관 자극을 위한 정전류 자극기의 개발", *대한의용생체공학회 추계학술대회*, Vol. 21, No. 2, pp. 31-32, 1999
12. L.M. Nashner and P. Wolfson, "Influence of head position and proprioceptive cues on short latency postural reflexes evoked by galvanic stimulation of the human labyrinth", *Brain Res*. Vol. 67, No. 2, pp. 255-268, 1974
13. R.C. Fitzpatrick, D.L. Wardman, and J.L. Taylor, "Effects of galvanic vestibular stimulation during human walking", *J Physiol*, Vol. 517, No. 3, pp. 931-939, 1999
14. C.A. Severac, P. Martinez, M. Ouaknine, and M.F. Tardy-Gervet, "Orientation of the body response to galvanic stimulation as a function of the inter-vestibular imbalance", *Exp Brain Res*, Vol. 133, No. 4, pp. 501-505, 2000
15. S.R.D. Watson, A.E. Brizuela, I.S. Curthoys, J.G. Colebatch, H.G. MacDougall, and G.M. Halmagyi, "Maintained ocular torsion produced by bilateral and unilateral galvanic (DC) vestibular stimulation in humans", *Exp Brain Res*, Vol. 122, No. 4, pp. 453-458, 1998
16. B.L. Day, A. Severac Cauquil, L. Bartolomei, M.A. Pastor, and I.N. Lyon, "Human body-segment tilts induced by galvanic stimulation: a vestibularly driven balance protection mechanism", *J Physiol*, Vol. 500, No. 3, pp. 661-672, 1997
17. R.G. Irvine, *Operational amplifier*, New York, Prentice-Hall, pp. 148-151, 1981
18. 대한이과연구회, *평형장애 진단과 치료*, 중앙문화사, pp. 68-69, 1998
19. J.M. Goldberg, C.E. Smith, and C. Fernandez, "Relation between discharge regularity and responses to externally applied galvanic currents in vestibular nerve afferents of the squirrel monkey", *J Neurophysiol*, Vol. 51, No. 6, pp. 1236-1256, 1984