

마이크로 컴퓨터를 이용한 신경근 차단 감시장치의 개발에 관한 연구

전계록 · *조진호 · ** · 장용훈*** · 변건식**** · 김명기****

= Abstract =

A Study on the Microcomputer-Based Neuromuscular Blockade Monitoring System

Kye Rok Jun,* Jin Ho Cho,** Yong Hun Jang,***
Gun Sik Beun,**** Myung Ki Kim****

A system has been developed for monitoring the effect of neuromuscular blocking drugs and the neuromuscular function during anesthesia and surgery.

This system is composed of software and hardware, the latter are nerve stimulator, force transducer, interface board (preamplifier, filter, peripheral input/output) and personal computer (apple II), the former are programmed in ASSEMBLY and BASIC language.

The nerve stimulator which is controlled by personal computer is capable of delivering single shocks at 0.1Hz, train of four at 2Hz and tetanic stimulation at 30, 100, 200Hz.

The response, adduction of the thumb, is sensed by the force transducer. The output of the force transducer is amplified, filtered, converted digital signal and then processed by the personal computer.

The personal computer quantitates twitch and train of four response and calculates the T4 ratio (T4/T1) between the first and fourth response of train of four. This ratio is used to estimate the level of the neuromuscular block.

This system has reaserch potential for determining the effect of newer neuromuscular blocking drugs for comparision with presently used drugs of alternatively, for determininig the effects of blocking drugs in altered physiological states.

〈접수 : 1990년 11월 27일〉

* 부산의대 방사선학교실, 부산대병원 의공학교실

* Dept. of Radiology, Colleague Medicin Pusnnat., Univ., &
Dept., Biomed., Eng., Pusan National University Hospital.

** 경북대 전자공학과, 경북대병원 의공학교실

** Dept. of Electronic, Kyungbuk Nat., Univ., & Dept. of

Biomed., Eng., Kyungbuk Nat., Univ., Hospital.

*** 동아대병원 의공학교실

*** Dept. of Biomed., Dong A Univ., Hospital.

**** 동아대학교 전자공학과

**** Dept. of Electronic Dong A University.

1. 서 론

신경근 차단제 (neuromuscular blocking drugs) 또는 근이완제 (muscle relaxant)는 외과적 근이완 (surgical muscle relaxation)이 필요할 때, 또는 기관내 삽관술 (endotracheal intubation) 전에 널리 사용된다. 근이완제는 전신 마취 유도전에 기관내 삽관 목적으로 또는 개복 수술때 복압을 낮추거나 개흉 수술때 호흡을 조절하여 시술에 지장을 주지 않게 하기 위하여, 또한 반사성 기침동작, 탈국질, 국소마취제의 부작용으로 일어난 전신경련, 장기간 인공호흡기 사용당시 호흡조절등의 목적으로 사용되며, 기타 골절이나 탈골 및 탈장 교정을 돕기 위한 치료 목적으로 또는 근무력증 같은 신경근 질환의 진단 목적 등에 사용된다^{1,2,3,8,9)}.

근육이완제를 사용하였을 때 신경근 차단 상태를 확인하기 위해 감시장치를 사용하는 목적은, 수술 중 근이완이 충분히 되었는지, 마취 후 근육이완으로부터 회복되었는지, 또는 어떠한 형태로 근육이완이 되어 있는지, 그리고 기타 근이완이 미치는 요소에 의하여 근육이완이 어떻게 진행되고 있는지 등을 알아보기 위함이다. 과거에는 근육이완 상태를 눈짐작 또는 경험으로 판정하였다.

즉 개복 수술시 복벽의 긴장정도나 호흡상태등을 관찰하여 근육이완의 정도를 짐작하거나, 마취로부터 회복될 때 환자로 하여금 주먹을 쥐게하거나, 기침을 시키든지, 5초동안 머리를 들고 있게 하거나, 눈을 크게 뜨게 하든가, 또는 혀를 내밀게 하여서 근강도를 간접적으로 확인한다. 그리고 호흡상태로는, 폐활량 (vital capacity)이 15내지 20ml/kg 이상이거나, 흡기음압 (negative inspiratory pressure)이 적어도 -20내지 -25cmH₂O가 되어 폐쇄기도를 감당할 수 있게 된다면 다른 도움없이 충분히 호흡할 만큼 근이완이 회복되었다고 판단한다. 이러한 임상적 기준에만 의존하여 근이완의 회복 정도를 평가한다면 모든 환자에게 최적의 근이완의 회복을 보장할 수 없게 된다. 그러나, 말초 신경자극기를 사용하여 신경근 차단도의 크기를 측정하고, 그 차단에 따라 필요한 근이완제의 양과 길항제의 양을 비교적 정확히 판정하면 근이완의 회복을 확실히 시킬 수 있다^{3,6,7,8)}.

임상에서 신경근 차단도의 측정은, 손목 또는 팔꿈치 (elbow)의 척골신경 (ulnar nerve)을 자극하여 엄지내전 (adduction of the thumb)의 수축력을 평가하는 방법이 널리 이용된다. 자극주파수를 변화시켜 거기에 대한 유발 근육응답 (evoked muscle response) 정도로 신경근 차단도를 정량분석 한다^{4,8,12,13)}.

자극으로서는 싱글펄스 (주파수 1.0Hz), train of four (2Hz에서의 연속적인 4개의 펄스)와 주기가 5초인 강축 (tetanus ; 30, 100, 또는 200Hz)을 사용한다.

싱글펄스에서 최대 구형파 (supramaximal square wave) 자극에 대한 근연축 (muscle twitch)은, 근이완제를 투여하기 전에 대조응답 (control response)를 구하고 근이완제 투여 후 구해지는 대조응답을 비교하여 대조연축응답 (control twitch response)의 기능저하를 백분율 (%)로 나타낸다. 탈분극성 근이완제 (depolarizing muscle relaxant)와 비탈분극성 근이완제 (nondepolarizing muscle relaxant)들은 연축응답의 크기를 감소시킨다. 그러나 이러한 단일연축 (single twitch)의 주된 단점은 대조응답을 미리 구하지 않으면 안된다는 것이다^{1,3,8)}.

T.O.F. (train of four)에서는, 0.5초에 한번씩 4번의 최대자극 (supramaximal stimulation ; 2Hz)이 인가되는 동안 첫번째 연축응답의 크기 (T₁)에 대한 네번째 연축응답의 크기 (T₄)를 %로 표시하여 근이완의 정도를 나타내며 이것을 T.O.F비 (T₄ ratio)라 한다. 또한 T.O.F수 (T₄ count)라고 하며 갯수가 적을 수록 근이완의 정도가 잘 이루어진 것을 말하며 많을 수록 근이완이 덜 이루어졌거나 길항된 상태로 평가된다^{4,5)}.

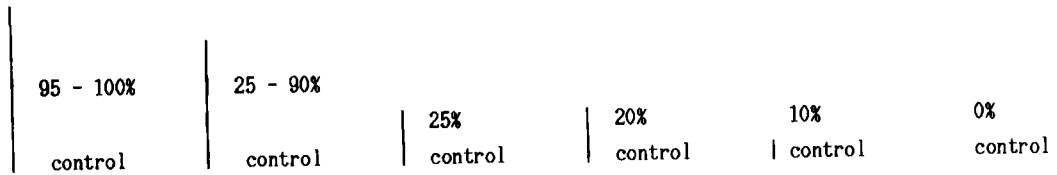
위의 싱글펄스 자극과 T.O.F. 자극에 대한 연속응답의 비교와 대응되는 외과적 근이완 상태 및 자발적 호흡 (spontaneous ventilation)에 대한 연관관계는 그림1과 같다.

강축자극 (tetanic stimulation)은 아주 민감하므로 임상적으로 신경근 기능검사에 이용된다. 주기가 5초인 30Hz, 100Hz, 200Hz의 최대자극에 대한 응답에서 지속적인 수축의 크기와 기간으로 근기능을 평가한다. 즉 주차수를 30Hz에서 200Hz로 증가시킴에 의해 지속적인 수축을 할 수 있는 근

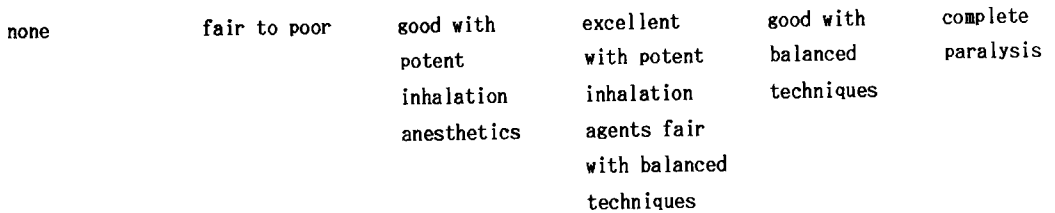
TRAIN OF FOUR RESPONSES



TWITCH RESPONSES



SURGICAL RELAXATION



SPONTANEOUS VENTILATION

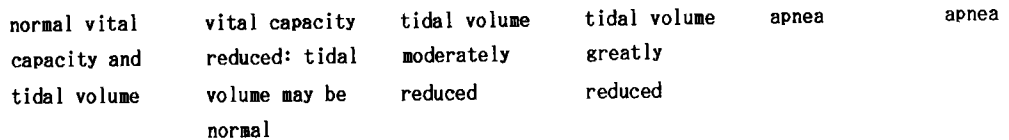


그림 1 싱글펄스 자극과 T.O.F.자극에 대한 응답의 비교와 이 응답들의 외과적 이완 및 자발적 호흡에 대한 상관관계

Fig. 1 Comparison of responses obtained following train-of-four and single pulse stimulation, and correlation of these responses with the adequacy of surgical relaxation and spontaneous ventilation

의 능력이 변화하므로 차단 크기도 변화한다. 강축자극의 주 단점은 신경근 기능을 변화시켜야 하는 것이므로 연약한 환자에게 고통을 줄수 있는 것이다^{8,9)}.

현재 임상에서 실시하고 있는 방법은, 싱글펄스 또는 T.O.F.자극에 대한 근육답을 주관적인 시각으로 평가하나 정밀하지 못하고 이상적인 방법이 되지 못한다. 또한 신경근 기능을 정량분석하여 평가

하기 위해 실시되고 있는 현재의 방법들은 너무 고가이고 임상 여건에 실용적이지 못하기 때문에 아주 정밀하고 실용적이며 유용한 방법들이 추구되어야 한다.

본 연구에서는 싱글펄스 자극과 T.O.F. 자극에 대한 신경근 응답을 정량분석하여 평가하는 방법과, 비용이 저렴하고 효율적인 시스템을 구성하고자 한다.

2. 재료와 방법

근이완의 정도를 평가하기 위하여 말초신경을 자극하는 방법은 단일연축자극, 강축자극, T.O.F. 자극 등이 있으며 이러한 자극 방법들은 근이완의 정도에 따라 복합적으로 이용된다. 즉 심한 근이완 상태인 경우 PTC (post tetanic count)를 조사하고, 중 정도의 근이완 상태에서는 T.O.F.수를 조사하고, 근이완의 회복시에는 T.O.F.비를 측정하는 방법 등이 이용될 수 있다.

본 연구에서는 퍼스널컴퓨터 제어 하에 T.O.F. 자극을 인가하여 T.O.F.수와 T.O.F.비를 측정하는 방법을 채택하였다. 왜냐하면 전신마비 (total paralysis)에서 정상적인 호흡으로 되돌아 올때까지 차단 상태를 평가할 수 있고, 대조응답이 요구되지 않으며, phase II 차단을 알 수 있으며 그리고 근이완제의 잔류 효과를 발견하는데 있어 장점이 있기 때문이다.

구성된 시스템은 크게 하드웨어와 소프트웨어로 분류된다. 하드웨어는 퍼스널컴퓨터 (apple II), 제작한 인터페이스보드, 신경자극기 및 힘변환기 등으로 구성된다. 소프트웨어에 있어서는, 시스템 초기화 및 T.O.F. 자극부분은 기계언어 (assembly language)로 프로그램하였고 메뉴, T.O.F.비, 데이터 저장, T.O.F.비 그래픽 디스플레이 및 T.O.F.비 프린팅과 환자 인덱스 관리부분은 BASIC언어로 프로그램하였다.

3. 시스템 구성

3.1 근이완 감시장치의 하드웨어 구성

(1) 시스템 블록다이아그램

근이완 감시장치의 하드웨어는 신경자극기, 힘변환기, 신호증폭기, 여과기, A/D변환기, P.I.O. (peripheral input/output)와 퍼스널컴퓨터등으로 구성되며 T.O.F.응답들을 비교하고 정량분석하기 위해 사용된다. 이에 대한 시스템 블록다이아그램은 그림 2와 같으며 실험에 사용한 전반적인 시스템 모형은 그림 3과 같다. 그리고 본 실험을 위해 설계된 회로는 그림 4와 같다.

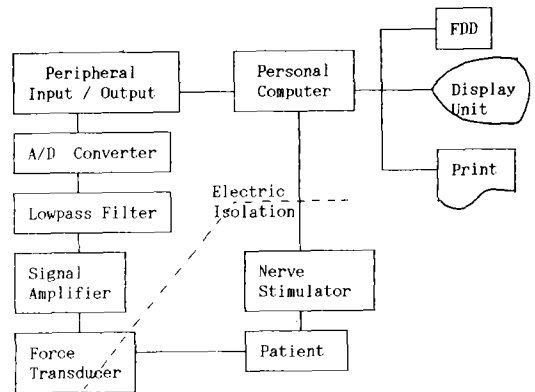


그림 2 시스템 블록다이아그램
Fig. 2 System block diagram

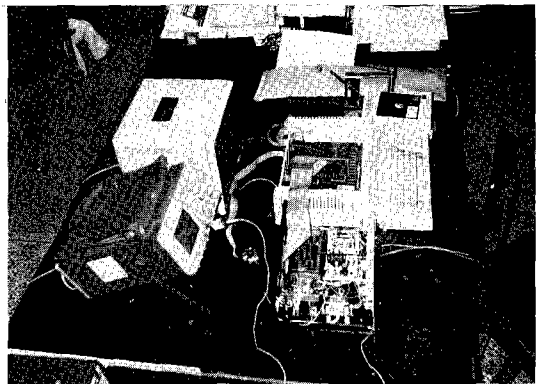


그림 3 구성된 시스템 사진
Fig. 3 System picture

(2) 직류전원 공급단

직류전원 공급단 (4-1)은 퍼스널컴퓨터 이외의 회로에 안정된 전압 ($\pm 15V$, $\pm 6.8V$)을 공급하기

- 전제록 외 : 마이크로 컴퓨터를 이용한 신경근 차단 감시장치의 개발에 관한 연구 -

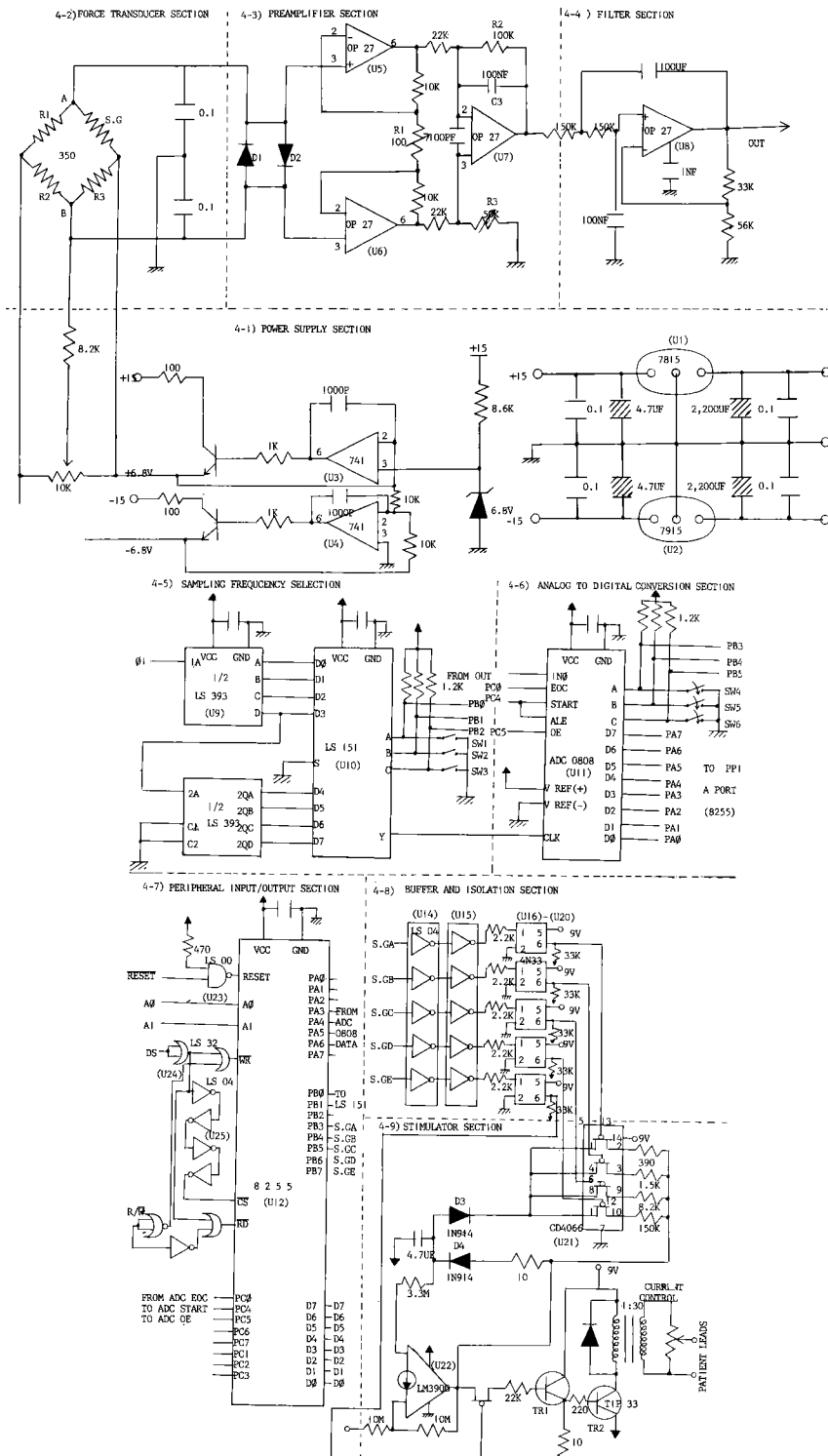


그림 4 설계된 회로
Fig. 4 Circuit design

위해서 구성되었다. 정전압 I.C.(U1, U2)는 $\pm 15V$ 를 공급하며 이 전압은 연산증폭기(U3~U8)의 전원으로 사용된다.

또한 $\pm 6.8V$ 직류 전압은 브릿지 형태로 구성된 힘 변환기의 전원전압으로 사용된다.

(3) 힘 변환기단

힘 변환기(4-2의 S.G.)는 브릿지 형태로 구성되며, 0.1% 350 Ω 저항(R1~R3)에 strain guage를 연결하며 임지의 휨 정도에 따라 strain guage의 저항이 변화할때 브릿지 평형조건이 어긋나므로 이때의 차등전압(differential voltage)이 뒷단의 연산증폭기에 인가되게 하였다.

제작된 힘 변환기의 모형은 그림 5와 같으며 임지 내전의 휨 정도에 비례하는 전압이 측정할 수 있게 하였다.

임지의 고정은 여러 형태의 손 크기에 맞출 수 있게 하기 위해 구부리기 쉬운 금속으로 만들었으

며, 탄성이 거의 없는 선으로 strain guage가 부착된 지지대에 연결하였다.

지지대는 휨 특성이 좋은 1.2mm 금속이며, 휨 정도에 따라 strain guage의 저항이 가장 크게 영향을 받을 수 있는 위치에 strain guage를 부착시켰다.

힘 변환기 뒷단의 C1과 C2는 단탈 캐피시터(tantal capacitor)로서 전기수술기(electrosurgical unit)로부터 방출되는 고주파 간섭(radio frequency interference)를 차단시키기 위함이다.

(4) 전치 증폭단

신호증폭단(4-3의 U5, U6)은, 적은 크기의 변환기 출력신호를 A/D 변환을 위한 충분한 레벨로 증폭시키는 역할을 하며 증폭 이득은 R1을 조정함으로써 100 에서 200까지 변화시킬 수 있다.

저역통과필터단(U7)은 저항 R2와 캐피시터 C3를 결합시킴에 의해 증폭기가 16Hz 이상의 주파수를 차단시키는 역할을 한다. 또한 저항 R3을 조정함에 의해 T.O.F.자극을 인가시키기 이전에 영점조정을 할 수 있겠끔 하였다.

(5) 필터단

필터단(4-4의 U8)은 2차 Butterworth 저역통과 필터로서 차단주파수가 10Hz이며 A/D 변환기에서의 aliasing 현상을 방지하기 위함이며 50Hz의 샘플링비는 Nyquist sampling criteria를 만족시킨다.

(6) 샘플링 주파수 선택단

퍼스널컴퓨터에서, 인가되는 클럭주파수($\phi 1$; 1MHz)를 카운터(4-5의 U9)에서 분주시키며 분주된 주파수들이 멀티플렉스에 입력된다. 이때 U10의 제어단(A,B,C)에 연결되어 있는 스위치 및 PB0~PB2는 분주된 주파수를 선택하기 위함이다. 스위치는 인위적으로 필요한 주파수를 선택하기 위함이며 PB0~PB2는 퍼스널컴퓨터의 제어하에 프로그램으로 필요한 주파수를 선택하기 위함이다.

즉 PB0~PB2가 모두 0일 경우 U10의 D0에 인가된 주파수(500 KHz)가, 그리고 PB0~PB2가 모두 1일 경우 U10의 D7에 인가된 주파수(4KHz)가 U10의 Y를 통해서 출력된다. 스위치 SW1~SW3

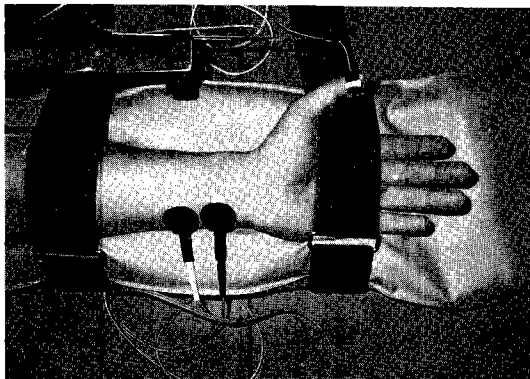
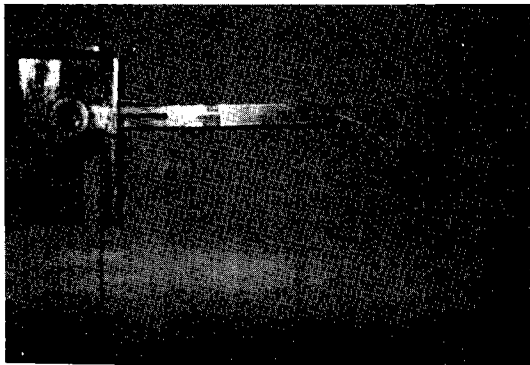


그림 5 힘 변환기와 스트레인 게이지의 모형
Fig. 5 Outline of force transducer and strain guage

도 마찬가지이다.

(7) 아날로그 / 디지털 변환단

아날로그신호를 디지털신호로 변환시키는 A.D.C.(4-6의 U11)는 입력범위가 0~5V인 8bit 변환기이며 분해능(resolution)은 19.5mV이고 변환시간(conversion time)은 100 μ s이다.

A.D.C.의 동작은 기계어 프로그램으로 제어되며 다음과 같다.

우선 신경자극기(nerve stimulator)를 작동시킨 후 P.I.O.(peripheral input/output ; U12)를 통해 변환시작(start of conversion)신호와 ALE(address latch enable)신호를 인가한다. 이때 A.D.C.는 입력된 아날로그신호를 디지털로 변환시킨 후, P.I.O.에 변환종료(end of conversion)신호를 보내며 C.P.U.(central processing unit ; 6502)는 이 신호를 P.I.O.를 통해 읽어들이고 후 출력가능(output enable)신호를 P.I.O.를 통해 A.D.C. 보내고 A.D.C.는 이 신호를 입력 받은 후 변환된 디지털신호를 데이터 버스(D0~D7)를 통해 P.I.O.로 출력시킨다.

(8) P.I.O 단

P.I.O.(U12)는 C.P.U.와 주변장치를 연결시켜주는 소자로서 세계의 8bit 입출력 포트(PA0~PA7, PB0~PB7, PC0~PC7)를 가진다. 퍼스널컴퓨터(apple II)의 2번 슬롯(slot)에 연결시키므로 어드레스 \$COA0는 A포트, \$COA1은 B포트, \$COA2는 C포트, \$COA3는 제어포트로, 지정되며 \$COA3번지에 \$91를 입력시킴에 의해, C포트의 상위비트(PC4~PC7)는 출력포트로 설정된다.

즉 A포트(PA0~PA7)는 A.D.C.에서 변환된 디지털 신호를 받는 입력포트로 설정하였으며 B포트(PB0~PB7)중 PB0~PB2는 샘플링 주파수 선택(SW1~SW3)용으로, PB3~PB7은 신경자극기의 자극 방법 및 주파수를 변환시키는 제어비트로 설정하였으며, C포트(PC0~PC7)는 A.D.C.를 제어시키는 입, 출력포트로 설정하였다.

(9) 신경자극기

신경자극기(4-8, 4-9)는 싱글펄스, T.O.F.,강축(30Hz, 100Hz, 200Hz)자극을 발생시킨다.

신경자극기는 세부분, 즉 버퍼(buffer ; 7404)와 절연(isolation ; 4N33)을 내포하는 인터페이스단(4-8), 펄스발생기단과 고압출력단으로 구성된다.

버퍼와 절연단은 퍼스널컴퓨터, 인터페이스 및 신경자극기 사이에 위치하며 전기적 쇼크로부터 환자를 보호한다.

P.I.O.의 B포트(PB3~PB7)로 부터 출력되는 제어신호(S.GA~S.GE)는 버퍼 및 절연단을 통해 아날로그 스위치(CD4066 ; U21)를 구동시키며 이들 스위치계이트 저항들에 의해 펄스발생기의 주파수가 변화한다.

즉 SGA가 on이고 SGB~SGE가 off이면 싱글펄스(0,1Hz), SGB만 on일 경우는 T.O.F.(2Hz), SGC만 on인 경우 30Hz, SGD만 on일 경우 200Hz로 변환한다.

전류 차동증폭기 출력단에 위치한 아날로그 스위치는 SGE가 on일 경우 도통되어 발생된 파수를 고압출력단에 인가시키며 SGE가 off일 경우는 비도통되어 발생된 주파수를 고압출력단에 인가시키지 못한다. 이러한 방법에 의해 각 자극 방법에 의한 주파수를 제어시킬 수 있다.

고압발생부는 전류 증폭단과 승압 변압기로 구성되며 펄스발생기로 부터 출력되는 9V펄스를 거의 270V_{pp}까지 증폭시킨다. 왜냐하면 표면전극하의 높은 피부저항을 통해 신경자극기의 전류가 충분히 구동되기 위해서는 높은 전압이 요구되기 때문이다.

T.O.F.자극시 환자리드를 통해 인가되는 펄스의 on기간은 약 2msec이며 off기간은 약 500msec정도이고 이러한 펄스가 4개 인가 후 10초 동안 펄스를 인가시키지 않으며 10초 후에 다시 일련의 과정이 반복되게 한다.

표면전극들은 척골신경(ulnar nerve)이 위치한 부분의 피부에 부착시키며 피부를 통하여 자극을 가하게 한다. 이들 전극들은 표면면적이 매우 크기 때문에 안전한 자극을 제공한다. 이때 대부분의 전류가 넓은 표면적에 분포되어 있기 때문에 전극들을 근이 아닌 직접 자극을 받는 척골신경 위의 피부에 조심스럽게 부착되지 않으면 안된다.

환자의 안전은 퍼스널컴퓨터에 출력되는 제어신호들을 버퍼 및 광절연(optoisolation)시키며 배대

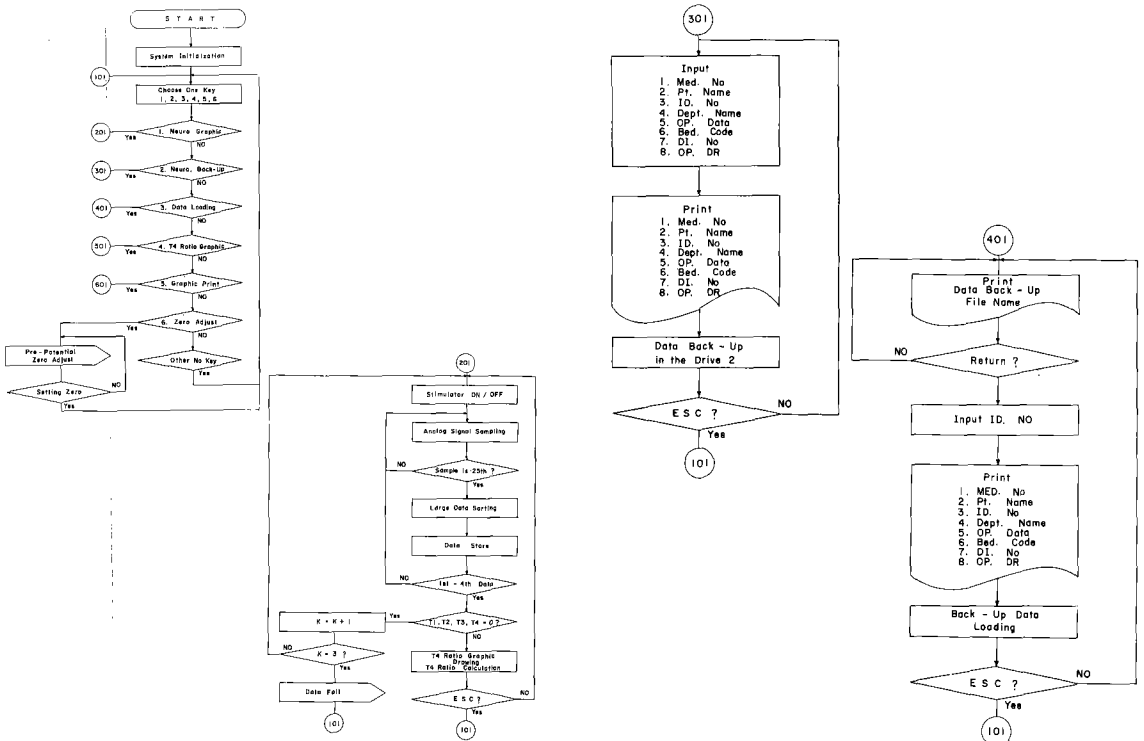


그림 6 소프트웨어 플로우차트
Fig. 6 Software flowchart

리 전원농 신경자극기를 사용함으로써 보증된다.

표류용량 (stray capacitance)은 누설전류를 낮게 유지하기 위해서 최소로 되어야 한다. 제작된 시스

템의 케이스를 통한 누설전류는 약 $30\mu A$ 정도이며 환자를 통해 접지로 흐르는 누설전류는 $5\mu A$ 정도이다. 만약 $150V_{rms}$ 가 환자리드를 통해 인가된다면 단지 $8\mu A$ 의 누설전류가 접지로 흐른다. 이러한 값들은 계측기와 환자를 전기적으로 연결시킬 때 허용되는 범위 내에 있다.

3.2 근이완 감시장치의 소프트웨어 구성

사용한 소프트웨어는 T.O.F.감시용으로 설계하였다. 신경자극기는 퍼스널컴퓨터의 프로그램 제어하에 T.O.F.자극을 출력한다. T.O.F.응답은 획득되어 계수화되고 시스템의 메모리 (RAM)에 저장된다. 소프트웨어 알고리즘은 T.O.F.비와 T.O.F.응답 최대치로 신경근 차단 정도의 정도를 계산한다. 그후 추출된 신경근 차단도를 모니터에 그래픽으로 나타내고 이 데이터들을 보조기억장치인 FDD에 백업 (back-up)시킨다.

그후 백업된 데이터들을 읽어 프린터에 인쇄시킨다. 이상의 과정을 간략하게 표시한 소프트웨어 플로우차트는 그림 6과 같다.

그림 6의 플로우차트를 효율적으로 시행시키기 위해 메뉴화면을 디스플레이시켜 각 항목을 선택하게끔 하였으며 메뉴화면은 그림 7과 같다.

먼저 1번을 선택하여 시스템의 모든 포트 및 메모리를 초기화시키며 ADC의 샘플링비를 확실하게 한다. 그 후 환자에게 신경 자극을 가하기 전에 변환기의 출력을 읽어 영점조정을 하기 위해 7번을 선택하면 그림 8과 같은 화면이 디스플레이 된다.

조작자는 제작된 시스템의 앞면 손잡이(front panel knob ; 그림 4의 R3)를 조정하여 변환기의 출력을 영으로 할 수 있다. 이 절차는 변환기가 부착된 지지대에 달리 고리를 환자에게 연결하고 변환기 상에 나타날 수 있는 어떠한 형태의 선부하(preload)를 무시시킬 수 있게 하기 위함이다.

또한 변환기의 부착된 지지대를 최대로 회계 하였을 때 변환기의 출력전압이 5V를 넘지 않도록 그림 4의 저항 R1을 조정하여 이들 제어(gaien control)를 조절시켜야 한다. 이상의 과정이 제작된 시스템의 초기화 및 교정절차에 해당된다.

시스템 교정(calibration)절차가 완료된 후 조작자가 메뉴화면의 2번을 선택하면 T.O.F.자극을 공급하는 신경자극기가 작동되며 변환기의 신호는

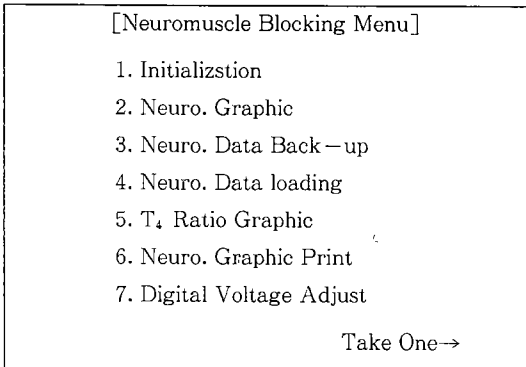


그림 7 메인 메뉴
Fig. 7 Main menu

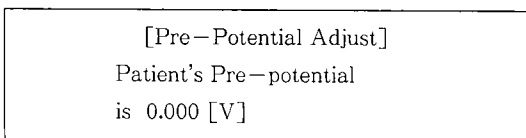


그림 8 영점 조정
Fig. 8 Zero adjust

초당 50샘플로 샘플링된다. 즉 신경자극기 한 주기 동안 25샘플치가 획득되게끔 프로그램 하였다. C.P.U.는 이 데이터를 P.I.O.를 통해 입력받아 메모리 내에 저장하고 이 값들의 크기를 구분(sorting)시켜 제일 큰 값을 첫번째 최대치로 판정하여 메모리 내에 저장시킨다. 이때 최대치 판정방법에 사용된 알고리즘은 첫번째 최대치가 미리 지정한 문턱전압(threshold voltage ; 5V의 8%인 0.4V)보다 큰지 그리고 이 최대치가 자극의 시작으로 부터 첫 500ms내에 발생하는지를 비교하여 이 조건이 만족되면 첫번째 최대치로 판정한다. 만약 첫번째 최대치를 구하는데 실패하였을 경우 10초 이후에 자극을 재인가시킨다. 또한 세번 연속 첫번째 최대치를 구하는데 실패한 경우에는 완전 신경근 차단 상태라고 판정한다. 유효한 첫번째 최대치를 획득하고 난 후의 프로그램은 이것의 크기와 위치를 저장시키고 두번째 최대치판정을 시작하며, 두번째 최대치가 최대치 판정 알고리즘에 적합하면 유효한 최대치라고 판정하고 적합하지 않으면 두번째 최대치가 아니라고 판정한다.

이러한 과정이 4개의 최대치가 존재 또는 비존재 하는지 판별될 때 까지 계속한다. 프로그램은 여러 최대치의 존재여부에 따라 %차단도를 평가할 수 있도록 하였다. 만약 네개의 최대치가 존재하면 T.O.F.비를 계산하고 이 T.O.F.비와 네개의 최대치를 그림 9와 같이 모니터 상에 디스플레이시킨다.

만약 최대치가 모두 존재하지 않을 경우에는 완전신경근 차단 또는, 100% 연속응답억제를 나타낸다.

첫번째 최대치만 존재하는 경우에는 90% 연속응답 억제, 첫번째와 두번째 최대치만 존재하는 경우에는 80% 연속응답억제, 세번째까지 최대치가 존재하는 경우에는 75%의 연속응답억제를 나타내며, 네번째까지 모두 존재할 경우에는 T.O.F.비로서 차단도를 나타낸다. 즉 T.O.F.비가 75%이하일 경우에는 연속응답의 약 5% 차단을 지시하고 T.O.F.비가 75%이상일 경우에는 신경근 차단으로부터 완전 회복됨을 지시한다.

그림 6의 메인메뉴 3번을 선택하면 그림 10의 화면이 디스플레이되며 각 항목을 입력시킬수 있다.

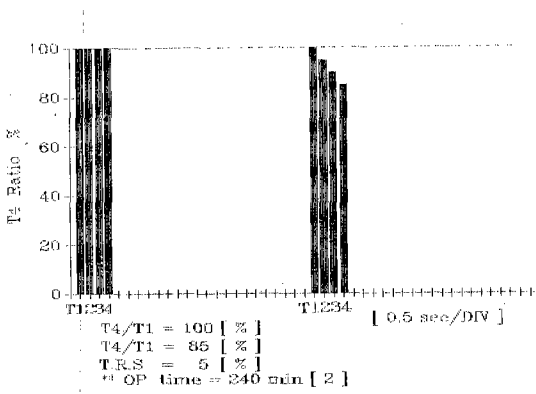


그림 9 측정된 신경근 그래픽
 Fig. 9 Neuromuscular Graphic

** Operating Time ----- min	
1. Med. No.	:
2. Pt. Name	:
3. ID. No.	:
4. Dept. Name	:
5. OP. Date	:
6. Bed Code	:
7. DI. No	:
8. OP. DR.	:

그림 10 신경근 데이터 백-업
 Fig. 10 Neuromuscular data back-up

그림 10은 우선 수술시간을 입력하고 그후 1번은 병원분류번호, 2번은 환자이름, 3번은 환자 주민등록번호, 4번은 진료과명, 5번은 수술일자, 6번은 병상코드, 7번은 질병분류번호이고 8번은 수술의사를 입력함을 나타낸다.

각 항목을 입력한 후는 T.O.F.자극에 대한 응답이 최대치 판별 알고리즘에 의해 판정되고 이 데이터들이 보조기억장치에 저장된다.

메인메뉴 4번을 선택하면 모니터에 환자 주민등록번호를 입력하겠끔 하여 이 ID No.를 입력하면 프린터에 그림 10의 내용을 인쇄하고 보조기억장치에 저장된 데이터를 메모리에 로드(load)시킨다. 이후 메인메뉴 5를 선택하면 그림9와 같은 T.O.F. 응답과 T.O.F.응답에 대한 T.O.F.비를 프린터에 인쇄시킨다. 메인메뉴 6번을 선택하면 전수술시간동

안의 T.O.F.응답에 대한 T.O.F.비를 그림 12와 같이 인쇄시킨다.

그림 6의 메뉴에서 임의의 항목을 선택하여 실행도중 만약 취소하고자 할 경우에는 ESC키(escape key)를 눌러 주면 다시 메인 메뉴 상태로 돌아간다.

이상과 같은 모든 작동은 기계어 언어와 BASIC 언어로서 프로그램되어 있다. 시스템 초기화(그림 6의 1번)는 기계어 언어, 나머지 모든 항목은 BASIC언어로 프로그램하였다.

4. 고 찰

신경근 차단도에 대한 평가는 시술자에 의해 판정된 임상적 관찰과 비교되어야 하므로 고안된 시스템의 객관적인 평가를 내리기는 어렵다.

즉 고안된 시스템에 의한 신경근 차단도의 평가는 차단의 정도를 나타내는 임상적인 증상과 비교되어야 한다.

임상적인 증상이란 신경근 차단으로 부터 회복기동안에 즉 매우 큰 연속응답억제나 차단도가 50% 이상을 초과하지 않을 때에 관찰되며 주로 머리를 들어올릴수 있는 능력이라든가 혀를 돌출시키든가 눈을 크게 뜨게 하든가 그리고 호흡상태로는 적절한 폐활량으로 자발적 호흡이 가능 하든가 흡기음압이 적절한지 등을 가르킨다.

고안된 시스템을 수술환자에 적용시켜 본 결과는 다음과 같다.

환자는 61세의 남자로서 몸무게는 57.6kg이며 신경근 질환이 없는 상태이며 신장기능과 간기능은 양호하였다.

마취 유도는 thiopental sodium 300mg, succinylcholin 60mg을 정주한 후 기관내 삽관술로 시행하였고, 마취지속은 N₂O, O₂, Enflurane(eth-rane)을 사용하여 마취심도가 surgical stage에 도달하였을 때 pancuronium bromide(nondepolarization drug)]3mg을 투여하여 시행하였다.

그림 11은 고안된 시스템을 수술환자에 적용시켜 구해진 신경근 차단도를 백분률(%)로 나타내며 그림 12는 T.O.F.비를 백분률(%)로 나타내었다.

이때 신경근 차단도를 나타내는 연속응답억제의 %는 계속 증가하며(그림 11참조) T.O.F.비는 계속 감소(그림 12참조)함을 알 수 있다. 그리고 12분과 25분에 pancuronium 1mg을 더 투여하였다. 이 때도 연속응답억제의 %는 계속 증가하나 T.O.F.비는 계속 감소하여 16분 경에 4번째 최대치가 없어진다. 따라서 신경근 차단의 개시 즉 근이완의 시작은 pancuronium의 효과가 나타나는 시기와 일치함을 알 수 있다.

약 25분이 경과된 후 신경근 차단도는 90%로 나타나고 60분까지는 T.O.F.비가 영으로 관찰되므로 이 기간 동안은 양호한 외과적 이완(surgical relaxation)상태임을 알 수 있다.

이후 신경근 차단도가 50%될 때 까지 더 이상

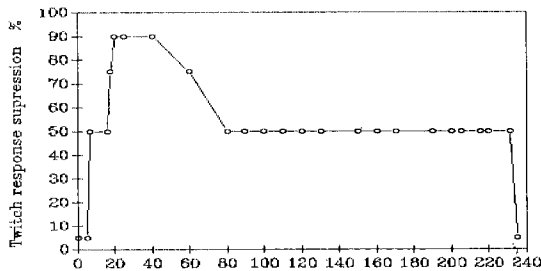


그림 11 고안된 시스템을 수술환자에 적용시켜 구해진 신경근 차단도를 백분율(%)로 나타낸 신경근 차단도 평가도

Fig. 11 Estimation of neuromuscular block made by the personal computer based neuromuscular blockade monitoring during an actual surgical procedure

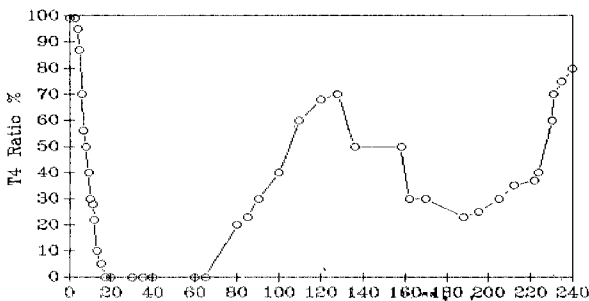


그림 12 고안된 시스템에 의해 구해진 T.O.F.비를 백분율로 나타낸 신경근 차단도 평가표

Fig. 12 T4 ratio calculation made by the personal Computer-based neuromuscular blockade monitor

의 약제는 투여하지 않는다. 이후 신경근 차단도는 50%를 유지하나 T.O.F.비는 계속 증가하여 128분경에 70%까지 증가한다. 따라서 128분과 158분에 pancuronium 1mg을 투여하여 관찰한 결과 신경근 차단도는 50%를 유지하나 T.O.F.비는 계속 감소하였다.

222분에 neostigmine (antagonist to pancuronium) 2mg과 atropine 0.8mg을 투여시킨 결과 235분경에 신경근 차단도는 50%를 유지하나 T.O.F.비가 계속 증가하여 231분경에 70%까지 증가한다. 따라서 231분경에 neostigmine 1mg과 atropine 0.4mg을 투여시킨 결과 235분경에 T.O.F.비가 80%까지 증가하였다. 이것은 완전히 회복 상태를 나타내며 폐활량(vital capacity)과 tidal volume이 거의 정상에 가까운 상태이므로 환자를 회복실로 이송한다.

5. 결 론

고안된 시스템은 마취 중 환자의 신경근 차단도를 평가하기 위해 개발 하였다.

이 시스템은 고안된 인터페이스보드와 퍼스널컴퓨터를 인터페이스 시켜 구성되었기 때문에 향후 임상에서 필요에 따라 프로그램만 첨부시켜 더 많은 기능을 수행할 수 있게 하는 장점이 있다. 그리고 고안된 시스템은 신경근 차단도 및 T.O.F.데이터를 분석할 수 있어 시술 중 및 회복기의 신경근 차단도 평가에 유용하며 현재 사용되고 있는 신경근 차단제의 효과를 판정하는 연구적인 가능성을 줄 것으로 사료된다.

REFERENCES

- 1) Feldman SA: Muscle Relaxants: Philadelphia, PA: Saunder, 1979.
- 2) Miller R: Antagonism of neuromuscular blockade: Anesthesiology, vol. 44, pp. 318-329, Apr, 1976.
- 3) Ali HH and Savarese JJ: Monitoring neuromuscular function: Anesthesiology, vol 45, pp. 216-249, Aug, 1976.
- 4) Ali HH, Wilson RS, Savarese JJ, and Kitz RJ :

- The effect of tubocurarine on indirectly elicited train-of-four muscle response and respiratory measurements in humans: *Brit. J. Anesthesiology*, vol 47, pp 570–573, 1975.
- 5) Lee CM: Train-of-four quantitation of neuromuscular block: *Anesthesia and Anesthesiology...Current Research*, vol 54, pp 649–653, Sept–Oct, 1975.
 - 6) Waud BE and Waud DR: The relation between tetanic fade and receptor occlusion in the presence of competitive neuro-muscular block: *Anesthesiology*, vol 35, pp 456–464, Nov, 1971.
 - 7) Walts LF, Levin N, and Dillon JB: Assessment of recovery from curare: *J. Amer. Med. Ass.*, vol. 213, pp 1894–1896, Sept 14, 1970.
 - 8) Ali HH, Utting JE, and Gray TC: Stimulus frequency in the direction of neuromuscular block in human: *Brit. J. Anesthesiology*, vol 42, pp 967–977, 1970.
 - 9) Ali HH, Utting JE, and Gray TC: Quantitative assesment of residual antidepolarizing block (part 2): *Brit. J. Anesthesiology*, vol 43, pp 478–485, 1971.
 - 10) Doebelin EO, Ed: *Measurement System Application and Design*: New York: McGraw-Hill, 1975.
 - 11) Webster JG, Ed: *Medical Instrumentation Application and Design*: Boston, MA: Houghton Mifflin, 1978.
 - 12) Kopman AF: A safe surface electrode for peripheral nerve stimulation: *Anesthesiology*, vol 44, no. 4, pp 343–345, 1976.
 - 13) Fiore MD, Atlee JL, Webster JG, and Tompkin WJ: A Microcomputer – Based Neuromuscular Blockade Monitor: *IEEE Trans. on Biomed. Eng.*, vol BME–28, no. 11, Nov. 1981.