

고양이 척수전근 감각신경섬유의 흥분전도속도

서울대학교 의과대학 생리학교실 및 충북대학교 의과대학 생리학교실*

김 전 · 황 상 익 · 호 원 경*

(1987년 6월 8일 接受)

= Abstract =

Nerve Conduction Velocity through the Ventral Root Afferent Fibers in the Cat

Jun Kim, Sang Ik Hwang and Won Kyung Ho*

*Department of Physiology, College of Medicine, Seoul National University and Chungbuk National University**

This study was aimed to investigate whether the conduction velocity of nerve impulses through the ventral afferent fibers is constant along their entire courses in dorsal as well as in ventral roots.

Cats were anesthetized with α -chloralose (60 mg/kg, i.p.) and artificially ventilated. Laminectomies were done on L4-S1 spinal vertebrae to expose the lumbosacral spinal cord. Both ventral and dorsal roots of L7 or S1 spinal segments were isolated and cut near the spinal cord. Ventral roots were placed on 6-lead stimulating electrodes and stimulated with supra C-threshold intensity. Divided dorsal root fascicles were placed on bipolar recording electrodes and single fiber units activated by the stimulation of the ventral roots were identified.

Followings are the results obtained:

- 1) A total of 27 VRA units were identified. 10 units of them conducted impulses slower than 2 m/sec. Conduction velocities of the remaining units were in the range of 3.11–20.91 m/sec.
- 2) In 12 units conduction velocities of the VRA units through dorsal(CV_{DR}) and ventral roots(CV_{VR}) were determined respectively. There was a tendency to conduct impulses faster through dorsal roots($CV_{DR} = 8.19 \pm 3.26$ m/sec) than ventral roots($CV_{VR} = 3.46 \pm 1.02$ m/sec).

From the above results we confirmed that there exist nerve fibers in continuity between the spinal ventral and dorsal roots but we could not ascertain whether there is a change in conduction velocity through the entire course of ventral afferent unit.

Key Words: Ventral root afferent, Single unit activity, Conduction velocity

서 론

포유동물의 척수 전근에 상당수의 일차감각신경(primary afferent nerve)이 존재하며 이들의 대부분

은 무수신경(unmyelinated nerve)임이 지난 10여년 동안 전자현미경을 사용한 연구를 통해 알려졌다(Coggeshall et al. 1974; 1975; Applebaum et al. 1976). 이들 척수 전근 감각신경(ventral root afferent, VRA) 들이 전통적인 "Bell-Magendie의 법칙"에 어긋나게 직접 전근을 통해 척수로 들어간다는 보고(Maynard et al. 1977; Light & Metz, 1978;

* 이 논문은 1986년도 문교부 학술연구 조성비에 의하여 이루어졌음.

Hosobuchi, 1980)가 있으나 한편으로는 그 정보가 척수후근 신경절(dorsal root ganglion, DRG)을 거쳐 후근을 통해 척수로 들어간다고 보고하고 있다(Risling & Hildebrand, 1982; Risling et al. 1984).

이들 연구보고들은 주로 형태학적인 것이며 생리학적인 연구로는 고양이의 제 7요수 혹은 제 1천수의 전근을 절단하고 말초단을 자극하여 유발된 척수후각 세포활동의 기록(Chung et al. 1983; 1985), 척수 전각 운동신경 세포에서 긴 잠복기를 갖는 EPSP 기록(Endo et al. 1985), 동일 전근의 중추단에서 기록된 굴근반사(Shin et al. 1985), 및 동맥혈압의 상승(Chung et al. 1986) 등이 보고되었다. 특히 전근 혹은 후근을 자극한 후 동일체절의 후근 혹은 전근에서 단일 신경 섬유활동을 기록(Kim & Chung, 1985) 하였을 때 그 전도속도로 보아 대부분의 척수 전근내 감각섬유가 C-섬유에 속하였다.

상기보고에서 얻은 신경흥분 전도속도는 척수전근내 감각신경이 그 경로중 전근내에 있을 때나 후근내에 있을 때나 같으리라는 가정하에서 측정된 것이다. 위의 가정은 일찍부터 보편적으로 인정되어 온 것이지만(Dale, 1900; Gasser, 1955; Ha, 1970; Rindos et al. 1984)이 문제에 관해 최근들어 DRG 세포의 중추가지 및 말초가지의 굵기, 흥분전도속도가 다를 수 있다는 주장들이 많아지고 있다(Loeb, 1976a; Suh et al. 1984; Lee et al. 1986). 이렇게 보면 척수 전근내 감각신경의 흥분 전도속도도 전 경로를 통하여 일정하지 않을 가능성이 있다.

본 연구는 척수 전근내 감각신경이 그 경로중 전근내에 있을 때와 후근내에 있을 때의 흥분 전도속도를 각각 결정하여 척수 전근내 감각신경을 통한 흥분 전도속도가 그 경로중 일정한가의 여부를 관찰한 것이다.

실 험 방 법

1. 실험동물의 준비

체중 2.0-3.0 kg의 고양이를 암수 구분없이 실험동물로 사용하였다. 고양이에 α -chloralose(60 mg/kg, i.p.)를 주사하여 충분한 마취상태에 도달하면 경부 정중선을 따라 피부를 절개한 후 경정맥에 카테터를

삽입하고 정맥주입로를 확보하였다. 기도에는 기도 카테터를 삽입하고 인공호흡기(Narco Respirator, V5 KG)에 연결하였다. Pancuronium bromide (Mioblock, Organon 제품) 0.4 mg을 단일 정맥주사하여 전신 근육을 이완시켰다. 한두 시간 간격으로 같은 양의 근육이완제를 실험이 끝날 때까지 보충 투여하였다. 경동맥에 카테터를 삽입하고 압력변환기(Statham Pressure Transducer)를 통하여 생리적 기록장치(MX6 Recorder, Device 제)에 동맥혈압을 기록하여 전 실험기간에 걸쳐 감시하였다.

제 3요추부터 제 1천추까지의 척추에 추궁제거술(laminectomy)을 시행하여 요천수(lumbosacral spinal cord)를 노출시켰다. 척수의 경막을 열고 수술현미경 밑에서 제 7요수 및 제 1천수의 후근과 전근을 확인한 후 경막내에서 척수가까이까지 박리하였다.

수술이 끝나면 실험동물을 척수고정장치를 사용하여 고정하였다. 이때 제 3요추의 극돌기(spinous process)와 양측 장골(ilic bone) 및 제 5요추 혹은 제 6요추를 양쪽에서 고정하였다. 절개된 피부를 이용하여 mineral oil pool을 만들고 온수순환 heating coil로 pool내 온도를 37 °C로 일정하게 유지하였다.

2. 자극 및 기록

실험동물의 수술, 고정이 끝나면 한 시간이상 안정시키고 난 후 박리한 전근 및 후근들을 척수 가까이에서 절단하였다. 절단된 전근을 6개의 lead를 갖는 백금전극 위에 올려 놓았다(그림 1A). 이중 척수후근신경절(DRG)에 가장 가까운 lead는 접지(ground)하고 나머지 5개의 lead 중 이웃하는 두 개씩을 자극전극으로 사용하였다. 이때 DRG에 가까운 쪽을 (-)극으로 하였다. 자극은 자극기(Ceptu stimulator)로 발생시킨 자극을 자극유리장치(stimulus isolator, WPI 제)를 통하여 가하였으며 자극의 강도는 0.5-1 ms, 5 mA으로 하였다. 이 강도는 저자의 기발표 논문을 근거로 한 것이다(Kim & Chung, 1985; Chung et al. 1986). 자극을 받는 척수 전근과 동일한 척수절의 절단된 후근을 수술현미경 밑에서 가느다란 가닥들로 분리한 후 각 가닥을 기록전극 위에 올려놓고 전근 자극으로 활성화된 VRA 섬유들의 단일신경 활동을 관찰하였다. 전기적 활동

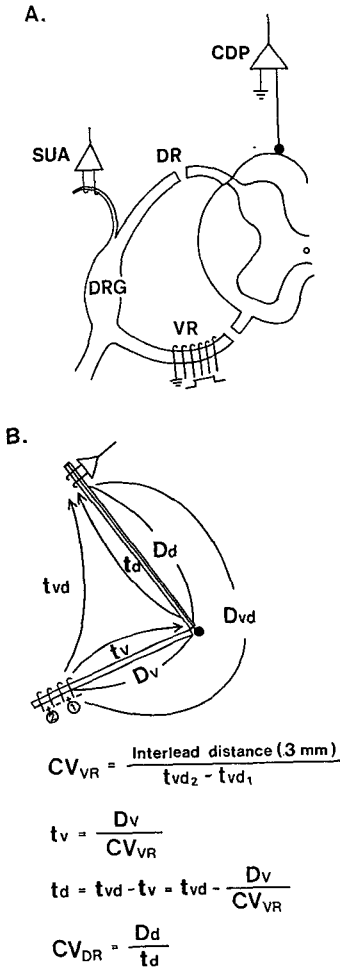


Fig. 1. Diagrams of experimental set up and calculation method. In A, the dorsal root was divided under a dissecting microscope until single unit activity could be recorded. The activity was elicited by stimulating the ventral root of the same segment with an 6-lead electrode (interlead distance, 3mm). In B, ventral root conduction velocity (CV_{VR}) was calculated by dividing the latency difference with interlead distance and dorsal root conduction velocity (CV_{DR}) was calculated from the equations shown. CDP, cord dorsum potential; DR, dorsal root; DRG, dorsal root ganglion; SUA, single unit activity VR, ventral root; CV, conduction velocity; D, conduction distance; t, conduction time.

은 교류증폭기(Ceptu AC Amplifier)를 거친 후 oscilloscope를 통해 관찰하거나 signal averager를 통해 필요한 횟수 만큼 평균한 후 oscilloscope로 관찰하였다. 척수 전근을 자극하는 전류가 인접부위로 전도되어 DRG 세포를 흥분시키면 후근에서 전기적 활동이 기록될 수 있으므로 이를 배제하기 위해 척수 배면전압(cord dorsum potential)을 연속 감시하였다. 이를 위해 백금으로 된 구형전극(ball electrode, 직경 1mm 내외)을 요천수팽대부의 등쪽 표면에 설치하고 교류증폭기를 통해 oscilloscope로 관찰하였다.

3. 계산 및 통계처리

a) 전도 거리 : 자극전극의 (-)극과 DRG의 중심부까지의 거리를 측정하여 척수 전근에서의 전도거리 (D_v)로 하였고 DRG 중심부에서 기록전극의 활동전극까지의 거리를 후근에서의 전도거리(D_d)로 하였다(그림 1B).

b) 전근내 전도속도(CV_{VR}) : 자극전극의 6개의 각 전극간의 거리는 3mm이었다. 이웃하는 한 쌍의 자극전극을 통해 척수 전근을 자극한 후 후근에 나타나는 단일섬유 활동의 잠복기(t_{vd_1})를 관찰한 후 또 다른 한 쌍의 전극을 사용하여 잠복기(t_{vd_2})를 구할 때 이들 잠복기의 차이($t_{vd_2}-t_{vd_1}$)를 두 쌍의 전극간의 거리를 흥분이 전도되는데 걸린 시간으로 보고 전근내 전도속도 (CV_{VR})를 구하였다.

c) 후근내 전도속도(CV_{DR}) : 위의 방법으로 전근내 전도속도를 구한 후 그 속도로 전근내 전도거리를 가는데 걸리는 시간(t_v)을 계산하고 그 값을 잠복기(t_{vd})에서 뺀 후(t_d) 후근 전도거리(D_d)로부터 후근내 전도속도(CV_{DR})를 구하였다.

d) 통계처리 및 실험동물처리 : 모든 성적은 paired t-test를 시행하여 통계적 유의성을 검정하였으며, 모든 동물은 적절한 마취술식으로 통증반응이 나타나지 않도록 하였고 실험이 끝난 후에는 마취제를 다량 투여하여 안락사시켰다.

실 험 성 적

그림 2에 제 7척수 전근을 자극하고 후근에서 기록한 단일 신경섬유 활동의 예를 보이고 있다. A의

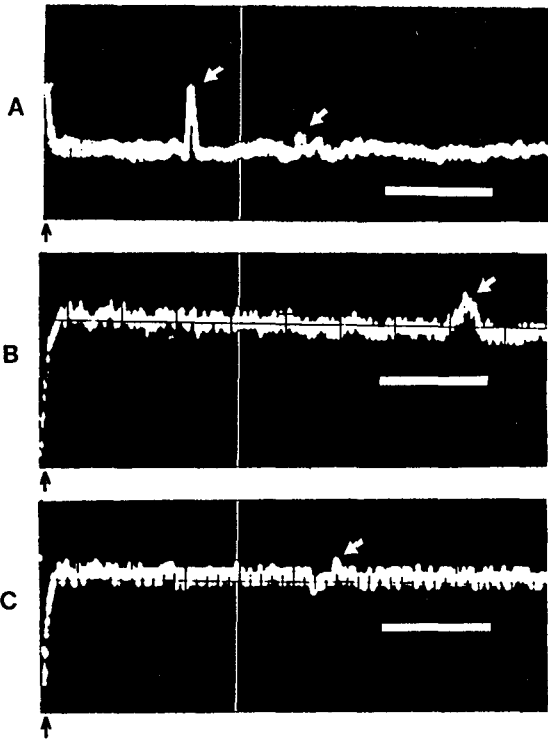


Fig. 2. Examples of single unit activity recorded from fascicles of dorsal roots while ventral roots were being stimulated. The trace in the panel A was obtained by averaging the signals 64 times and those in the panel B and C were 32 time averaged ones. Arrows indicate single unit activities. Horizontal bars are time scales of 10 msec.

경우 3개의 단일 신경섬유 활동을 볼 수 있고 B, C의 경우 각각 하나씩의 단일 신경섬유 활동을 보이고 있다. 그림 3에는 이들 기록된 전기활동들이 단일 신경섬유라는 증거를 나타내었다. 즉 0.75 mA, 0.5 ms의 자극으로는 흥분하지 않던 신경섬유가 그보다 조금 높은 0.9 mA, 0.5 ms의 자극으로는 활동전압이 유발되어 실무물이 적용됨을 관찰하였으며 훨씬 높은 강도의 자극에서도 그 전기적 활동의 크기가 커지지 않는 점으로 보아 단일 신경섬유로 판단하였다.

이렇게 해서 확인된 27개의 척수 전근내 감각섬유들의 흥분전도 속도를 그림 4에 표시하였다. 전체의 1/3(10/31)에 해당하는 수의 신경섬유들은 전도속도가 2 m/sec이하로 C-섬유에, 나머지는 3.11-20.91

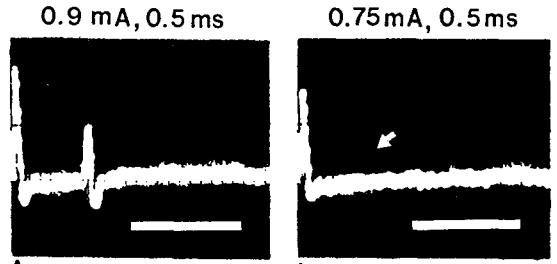


Fig. 3. Identification of single unit activity. An all or none response to graded stimulation near threshold intensity verified the recorded activity was a single unit activity. The white arrow indicates the point where the spike was missed. Black arrows indicate the time of stimulation.

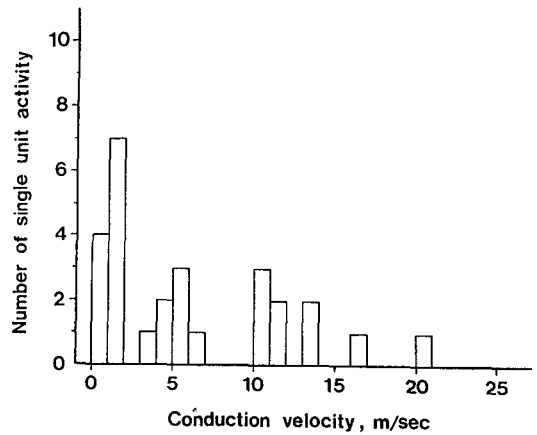


Fig. 4. A histogram of conduction velocity of ventral root afferent fibers identified. Conduction velocity was calculated by dividing the latency with the distance between the (-) lead of stimulation electrode and the active lead of recording electrode. About one third of a total of 27 single units belonged to C-fiber group and the remaining two-thirds were A δ -fibers.

m/sec로 A δ -섬유에 속하였다. 이들 전체섬유의 평균 흥분전도 속도는 6.22 ± 1.09 m/sec(mean \pm S.E., n=27)이었다.

모두 12개의 섬유에서는 자극전극쌍간의 거리와 이때 유발된 활동전압의 잠복기의 차이로 전근내 전

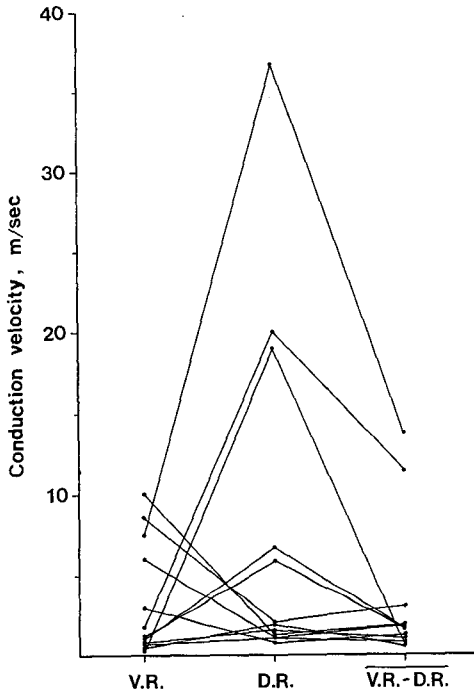


Fig. 5. Comparison of conduction velocities of ventral root afferent fibers along their courses in ventral and dorsal roots. VR-DR represents conduction velocities determined by the same method as those in Fig. 4.

도속도를 구한 후 이로부터 후근에서의 전도속도를 구하였다. 그림 5에 각 섬유에서 전근내 전도속도, 후근내 전도속도 및 자극전극에서 기록전극까지의 평균 전도속도(VR-DR)를 개별적으로 나타내었다. 이들 12섬유의 VR-DR은 3.56 ± 1.25 m/sec ($n=12$) 이었고 전근내에서의 전도속도는 3.46 ± 1.02 m/sec, 후근내에서의 전도속도는 8.19 ± 3.26 m/sec로 후근내에서의 전도속도가 빠른 경향은 있으나 통계적으로 유의한 차이는 아니었다 ($0.1 < P < 0.2$).

고 찰

고양이를 포함하여 포유동물의 척수 전근안에 일차감각신경이 들어 있으나 (Coggeshall (1980) 종설

참조) 이들 감각신경들이 어디에서 시작하여 어디로 가는지, 또는 그 생리학적 특성 및 역할 등에 대해서는 아직도 명확하지 않은 상태이다.

일부 해부학적 (Maynard et al. 1977; Yamamoto et al. 1977; Light & Metz, 1978), 생리학적 (Longhurst et al. 1980; Voorhoeve & Zwaagstra, 1984), 또는 임상적 (Hosobuchi, 1980) 연구들은 이들 전근내 감각신경이 그 전근을 통하여 직접 척수로 들어간다고 보고하고 있으나 다른 해부학적 (Risling et al. 1984), 임상적 (Frykholm, 1953) 및 특히 저자 등이 행한 일련의 생리학적 연구 결과들 (Chung et al. 1983; 1985; 1986; Shin et al. 1985; 1986; Kim et al. 1986)은 이들 전근내 감각섬유들이 동일 척수절의 후근을 통하여 들어감을 시사하고 있다. 전근안에서 활성화된 감각정보가 후근을 통해 척수로 들어간다는 사실은 전근과 후근 사이에는 서로 연결된 신경섬유가 존재함을 나타내며 이러한 연결의 증거로 척수 전근을 자극하고 후근에서 단일 신경섬유활동을 기록하여 확인한 바 있다 (Kim & Chung, 1985).

본 실험에서는 모두 27개의 단일신경섬유 활동을 전근을 자극하면서 후근에서 기록하여 전근과 후근 사이에 연결되어 있는 섬유가 있음을 확인하였다. 그러나 Kim & Chung (1985)의 보고에서는 기록된 섬유의 2/3 이상이 흥분전도 속도가 2 m/sec 이하로 무수섬유에 속한 반면 본 실험에서는 단지 1/3만이 무수섬유로 판정되었다. 이와 같은 차이점은 본 실험에 사용한 signal averager가 서울대학교 의과대학의 공학과 실험실에서 자체 제작된 것으로 이 averager가 평균할 수 있는 한 sweep의 시간이 50 ms로 제한되어 있는데 기인한 것으로 판단된다. 즉 전근에서 흥분하여 후근에서 기록될 때까지의 전체 흥분전도 거리가 40-50 mm로 위의 averager로는 0.8-1 m/sec 이하의 속도를 갖는 섬유의 활동은 측정하기가 힘들고 averager를 안쓸 때에는 이들 섬유의 전기적 활동의 크기가 매우 작기 때문에 oscilloscope 상에서 관찰하기가 쉽지 않기 때문이다. 이 문제는 앞으로 보다 정밀한 장비를 사용한다면 해결되리라 생각된다.

전근과 후근 사이에 연결되어 있는 신경섬유가 있다는 사실은 이 섬유들이 어디에서 시작하고 어떤 경로를 따라 어디로 가는지에 대한 의문을 제기한다.

이에 관한 몇 가지 가능성을 생각하면 1. 척수 복측 부나 그 주변조직을 지배하는 감각신경이 편위상 전극을 통해 DRG에 도달할 가능성(Clark, 1931; Dalsgaard et al. 1982; Risling et al. 1984), 2. 말초에서부터 올라오는 감각신경이 일단 척수 전극으로 들어왔다가 되돌아나가(loop-back) 후극을 통해 척수로 들어갈 가능성(Bostock, 1981; Risling & Hildebrand, 1982; Risling et al. 1984) 및 3. 어떤 DRG 세포가 일반적으로 볼 수 있는 중추가치와 말초가치의 두 가지 외에 제 3의 가치를 전극으로 보낼 가능성(Loeb, 1976b) 등을 들 수 있으며 이외에도 척수 전각의 운동신경이 척수전극으로 나온 후 후극을 통해 척수 후각으로 들어간 후 감각을 1차 시냅스 수준에서 조절할 가능성을 아직까지 완전히 배제할 수는 없다. 이러한 점들을 해결하기 위해서는 한 VRA 섬유유 의 말초 수용야(receptive field)를 척수부근에서 찾아내고, 전극, 후극 및 말초 척수신경 모두의 흥분을 받는 DRG세포를 확인하고 또 loop를 만들 가능성 등에 대한 보다 정밀한 생리학적 및 형태학적 연구가 요청된다.

흔히 하나의 척수후극 신경절에서 나온 신경섬유의 굵기와 흥분전도 속도는 중추가지나 말초가치의 말단부(Aoki, 1977; Trojaborg, 1984)를 제외하고는 동일하다고 교과서적으로 인정되어 왔다(Dale, 1900; Gasser, 1955; Ha, 1970; Rindos et al. 1984). 최근들어 이와는 달리 유수신경 또는 무수신경에서 중추가지가 말초가지 보다 가늘고 흥분전도 속도도 느리다는 보고들이 있는 바(Loeb, 1967a; Suh et al, 1984; Lee et al. 1986) 한 신경세포의 섬유유가 전경로 중 굵기가 일정하고 흥분이 일정한 속도로 전파된다는 가정은 일단 의심해 볼 가치가 있다. 이러한 관점에서 본 실험에서는 척수 전극내 감각신경이 전극 안에 있을 때와 후극 안에 있을 때의 흥분전도 속도를 각각 구하여 비교하였다. 모두 12개의 단일신경 섬유유에서 얻은 결과에 의하면 후극내 전도속도(8.19 ± 3.26 m/sec)가 전극내 전도속도(3.46 ± 1.02 m/sec)보다 두배이상 빠른 경향을 보였으나 개개 섬유유간의 변동이 심하여 통계적인 유의성은 없었다($0.1 < P < 0.2$). 어떤 신경섬유가 가지를 낼 때 가지에서의 전도속도가 느려진다고 볼 때 두 전도속도간에 차이가 있다는 것은 속도가 높은 쪽에서 낮은 쪽의 가지가

갈려나왔을 가능성을 시사하지만 이 점은 앞으로 보다 많은 결과를 가지고 결론을 얻어야 되리라 생각된다.

결 론

포유동물의 척수 전극내 무수 감각섬유가 존재함은 널리 알려져 있으나 이들 섬유유들의 경로, 전달하는 감각정보의 종류, 생리학적 역할 등은 아직 밝혀지지 않고 있다. 본 연구는 전극내 감각신경이 전극내에 있을 때와 후극내에 있을 때의 흥분전도 속도를 각각 구하여 척수 전극내 감각신경을 통한 흥분의 전도속도가 그 경로중 일정한가의 여부를 규명하였다.

고양이를 α -chloralose(60 mg/kg, i.p.)로 마취한 후 기도 카테터를 연결하여 인공호흡을 시켰다. 제 4요추서부터 제 1천추에 추궁제거술로 척수를 노출시키고 제 7요수 혹은 제 1천수의 전극 및 후극을 박리하여 절단하였다. 전극에서는 6-lead 자극전극을 설치하고 C-강도로 자극하면서 후극을 여러가닥으로 나누는 후 기록전극을 설치하고 전극 자극으로 흥분한 단일신경 섬유유들의 활동을 관찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 모두 27개 척수 전극내 감각섬유들 중 10개의 흥분전도 속도가 2 m/sec 이하로 C-섬유에 속하였고 나머지는 3.11-20.91 m/sec 범위에 있었다.

2) 12개의 섬유유에서 구한 전극내에서의 전도속도는 3.46 ± 1.02 m/sec 이었고 후극내 속도는 8.19 ± 3.26 m/sec로 후극내 전도속도가 빠른 경향을 보였다.

이상의 결과들로 척수 전극과 후극 사이에 연결되어 있는 섬유유가 있음을 재확인하였으나 전극내에서의 흥분전도 속도가 후극내의 흥분전도 속도보다 느리다고 단정을 내릴 수는 없었다.

Acknowledgement

본 연구에 사용한 signal averager를 빌려주신 서울대학교 의과대학 의공학과 박광석 교수께 감사드립니다. 본 실험을 수행하고 그림작도, 타자를 도와 준 서울대학교 의과대학 생리학교실 서상아, 신광섭 선생과 이영옥, 정미순 양께 감사드립니다.

REFERENCES

- Aoki M (1977). Distal slowing of conduction in forelimb and hindlimb myelinated cutaneous afferent fibers in cat. *Exp Neurol* 56, 200-211
- Applebaum ML, Clifton GL, Coggeshall RE, Coulter JD, Vance WH & Willis WD (1976). Unmyelinated fibres in the sacral 3 and caudal 1 ventral roots of the cat. *J Physiol* 256, 557-572
- Bostock H (1981). U-turns in rat ventral roots. *J Physiol* 312, 49P-50P
- Chung JM, Kim J & Shin HK (1986). Blood pressure response evoked by ventral root afferent fibres in the cat. *J Physiol* 370, 255-265
- Chung JM, Lee KH, Endo K & Coggeshall RE (1983). Activation of central neurons by ventral root afferents. *Science* 222, 934-935
- Chung JM, Lee KH, Kim J & Coggeshall RE (1985). Activation of dorsal horn cells by ventral root stimulation in the cat. *J Neurophysiol* 54, 261-272
- Clark SL (1931). Innervation of the pia mater of the spinal cord and medulla. *J Comp Neurol* 53, 129-145
- Coggeshall RE (1980). Law of separation of function of the spinal roots. *Physiol Rev* 60, 716-755
- Coggeshall RE, Applebaum ML, Frazen M, Stubbs TB & Sykes MT (1975). Unmyelinated axons in human ventral roots, a possible explanation for the failure of dorsal rhizotomy to relieve pain. *Brain* 98, 157-166
- Coggeshall RE, Coulter JD & Willis WD (1974). Unmyelinated axons in the ventral roots of the cat lumbosacral enlargement. *J Comp Neurol* 153, 39-58
- Dale HH (1900). The question of centripetal and centrifugal myelinated axon numbers on either side of the ganglion in cat. *J Physiol* 25, 196-206
- Dalsgaard CJ, Risling M & Cuello C (1982). Immunohistochemical localization of substance P in the lumbosacral spinal pia mater and ventral roots of the cat. *Brain Res* 246, 168-171
- Endo K, Kang Y, Kayano F, Kojima H & Hori Y (1985). Synaptic actions of the ventral root afferents on cat hindlimb motor neurons. *Neurosci Letts* 58, 201-205
- Frykholm R, Hyde J, Norlen G & Skoglund CR (1953). On pain sensations produced by stimulation of ventral roots in man. *Acta Physiol Scan Suppl* 106, 455-469
- Gasser HS (1955). Properties of dorsal roots unmyelinated fibers on the two sides of the ganglion. *J Gen Physiol* 38, 709-728
- Ha, H (1970). Axonal bifurcation in the dorsal root ganglion of the cat: a light and electron microscopic study. *J Comp Neurol* 140, 227-240
- Hosobuchi Y (1980). The majority of unmyelinated afferent axons in human ventral roots probably conduct pain. *Pain* 8, 167-180
- Kim J & Chung JM (1985). Electrophysiological evidence for the presence of fibers in continuity between dorsal and ventral roots in the cat. *Brain Res* 338, 355-359
- Kim J, Shin HK, Grant JR & Chung JM (1986). Ascending spinal pathway for arterial pressor response elicited by ventral root afferent inputs in the cat. *Brain Res* 377, 182-185
- Lee KH, Chung K, Chung JM & Coggeshall RE (1986). Correlation of cell body size, axon size and signal conduction velocity for individually labelled dorsal root ganglion cells in the cat. *J Comp Neurol* 243, 335-346
- Light AR & Metz CB (1978). The morphology of spinal cord efferent and afferent neurons contributing to the ventral roots of the cat. *J Comp Neurol* 179, 501-516
- Loeb GE (1976a). Decreased conduction velocity in the proximal projections of myelinated dorsal root ganglion cells in the cat. *Brain Res* 103, 381-385
- Loeb GE (1976b). Ventral projections of myelinated dorsal root ganglion cells in the cat. *Brain Res* 106, 159-165
- Longhurst JC, Mitchell JH & Moore MB (1980). The spinal cord ventral root: an afferent pathway of the hindlimb pressor reflex in cats. *J Physiol* 301, 467-476
- Maynard CW, Leonard RB, Coulter JD & Coggeshall RE (1977). Central connections of ventral root afferents as demonstrated by the HRP method. *J Comp Neurol* 172, 601-608
- Rindos AJ, Loeb GE & Levitan H (1984). Conduction velocity changes along lumbar primary afferent fibers in cats. *Exp Neurol* 86, 208-226

- Risling M, Dalsgaard CJ, Cukierman A & Cuello AC (1984). Electron microscopic and immunohistochemical evidence that unmyelinated ventral root axons make U-turns or enter the spinal pia mater. *J Comp Neurol* 225, 53-63
- Risling M & Hildebrand C (1982). Occurrence of unmyelinated axon profile at distal, middle and proximal levels in the ventral root L7 of cats and kittens. *J Neurol Sci* 56, 219-231
- Shin HK, Kim J & Chung JM (1985). Flexion reflex elicited by ventral root afferents in the cat. *Neurosci Letts* 62, 353-358
- Shin HK, Kim J, Nam SC, Paik KS & Chung JM (1986). Spinal entry route for ventral root afferent fibers in the cat. *Exp Neurol* 94, 714-725
- Suh YS, Chung K & Coggeshall (1984). A study of axonal diameters and areas in lumbosacral roots and nerves in the rat. *J Comp Neurol* 222, 473-481
- Trojaborg W (1964). Motor nerve conduction velocities in normal subjects with particular reference to the conduction in proximal and distal segments of median and ulnar nerve. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 17, 314-321
- Voorhoeve PE & Zwaagstra B (1984). Central effects by ventral root nociceptive afferents. *Exp Brain Res Suppl* 9, 116-125
- Yamamoto T, Takahashi K, Satomi H & Ise H (1977). Origins of primary afferent fibers in the spinal ventral roots in the cat as demonstrated by the horseradish peroxidase method. *Brain Res* 126, 350