

## 손상된 흰쥐의 좌골신경에 저출력 레이저 조사후 전기생리학적 변화

배춘식 · 신수범<sup>1</sup> · 김권영<sup>1\*</sup>

전남대학교 수의과대학 및 생물공학연구소, <sup>1</sup>조선대학교 의과대학 재활의학과

Received November 26, 2005 / Accepted December 10, 2005

**Electrophysiological Changes after Low-Power Infrared Laser Irradiation on Injured Rat Sciatic Nerves.** Chun-Sik Bae, Soo-Beom Shin<sup>1</sup> and Kweon-Young Kim<sup>1\*</sup>. *College of Veterinary Medicine, Biotechnology Research Institute, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea, <sup>1</sup>Department of Rehabilitation Medicine, College of Medicine, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea* – The purpose of this study was to determine effects of the Ga-As (Gallium-Arsenide) Dens-Bio laser on mechanically injured sciatic nerves of rats. The improvement of the injured rat sciatic nerve was evaluated by measuring of nerve conduction velocity and amplitude of compound muscle action potential. The sciatic nerves of forty male Sprague-Dawley rats were compressed with hemostatic forceps for 30 seconds. The experimental group was divided into 4 subgroups according to the duration of treatment. Lower power infrared laser irradiation was done transcutaneously to the injured sciatic nerve area, 3 minutes daily to each of four treatment groups for 1, 3, 5, and 7 weeks, respectively. Compound muscle action potential and nerve conduction velocity of sciatic nerve were obtained before nerve injury and at 1, 3, 5, and 7 weeks after injury. There were significant difference of the nerve conduction velocity and amplitudes of compound muscle action potential between the treatment group and non-treatment group at 1, 3, and 5 weeks after laser treatment. However, there were no differences found between the electrophysiologic parameters that were measured after 7 weeks in two groups. There was significant correlation between the increment of compound muscle action potential and nerve conduction velocity after time course according to laser treatment. In conclusion, the low power laser treatment had improved the sciatic nerve function, and therefore these results may provide the basic data to clarify the neurological recovery and treatment after incomplete peripheral nerve injury.

**Key words** – Low power laser, sciatic nerve, nerve conduction velocity, electrophysiological recovery

임상적으로 저출력 레이저에 대한 비수술적인 치료에 대해서는 지금부터 약 25년 전부터 보고되고 있으며, 그 후 많은 발전을 거듭하여 현재는 다양한 외과적 치료 및 통증 조절 등에 이용되어지고 있다[4,15]. 레이저의 특징으로는 단색광, 직접성, 간섭성 등을 들 수 있는데, 아주 선택적으로 생체 조직과 상호 작용을 나타낸다. 레이저에는 고출력 레이저로서 이산화탄소 레이저를 들 수 있고, 저출력 레이저로는 헬륨-네온 레이저(파장길이 632 nm)와 아르세닉 레이저(파장길이 514 nm), 가드늄 아르곤 아르세닉 레이저(파장길이 830 nm), 루비 레이저(파장길이 694 nm), NdYAG 레이저(파장길이 1060 nm) 등을 들 수 있는데, 대부분 재활의학과, 피부과, 부인과, 이비인후과 등에서 널리 사용되고 있다. 1971년 동물실험에서 상처회복에 관여한다고 처음으로 보고된 바 있으며 현재까지도 발전이 진행되어지고 있다[12].

신경손상이 있는 경우 신경손상의 정도나 치료후의 상태를 평가하는 방법으로 전기생리학적 검사가 유용하게 이용되고 있다[13,14]. 말초신경이 부분적으로 손상되면 신경의

전도 이상과 더불어 신경병증성 통증과 운동장애 등이 유발된다. 말초신경이 손상되면 부분적인 말초신경 손상은 신경이 완전히 절단되는 손상과는 달리 신경이 분포했던 부위에 신경병증성 통증을 같이 동반하며, 회복 속도에서도 차이가 난다. 말초신경 손상후 회복에 대한 치료는 현재까지 cerebral ganglioside[5-7]와 에스트로겐, 테스토스테론, 인슐린, 갑상선 호르몬 등의 생물학적 활성물질이 효과가 있다고 알려져 있으며[22,23], 전기적 자극이나 전기 자기적 자극 등 [8]도 말초신경 재생에 효과가 있다고 보고되었으나, 저출력 레이저의 치료가 말초신경 재생에 대한 치료효과에 대해서는 이견이 많아 이에 본 연구는 흰쥐의 좌골신경 압제손상을 유발한 후에 저출력 레이저 조사로 치료를 시행한 군과 시행하지 않은 군과의 차이를 전기생리학적 검사를 시행하여 신경 재생 정도를 평가하여, 향후 말초신경 손상에서의 레이저 치료의 유용성을 알아보고자 하였다.

### 재료 및 방법

#### 실험동물

7주령의 Sprague-Dawley 수컷 흰쥐 40마리를 대한실험동

#### \*Corresponding author

Tel : +82-62-220-3153(3154), Fax : +82-62-232-2061

E-mail : kyakim@chosun.ac.kr

물센터에서 분양받아 실험실 환경적응을 위해 1주간 예비 사육한 후 8주령에 실험을 시작하였으며 예비 사육 및 실험 전 기간동안 사육환경은 온도 23±2°C, 상대습도 60±10%를 유지하고 12시간의 명암주기가 유지되는 실내에서 사육하였으며, 실험동물용 사료와 식수를 자유로이 공급하였다. 실험동물은 1, 3, 5 및 7주군으로 분류하여 각 군마다 10마리씩 배치를 하였으며, 양측 좌골신경에 압케손상을 유발하고 무치치를 실시한 왼쪽 좌골신경은 대조군, 레이저 조사를 실시한 오른쪽 좌골신경은 실험군으로 구분하였다.

**좌골신경의 압케손상**

Ketamine hydrochloride (15 mg/100 g, 케타라®, 유한양행)를 복강내 주사하여 진신마취를 유발한 후 양측 대퇴부의 털을 제거한 뒤, 10% betadine 용액으로 수술부위를 소독한 다음 무균 조작하에 통상적인 방법으로 수술을 시행하였다. 좌골신경을 노출시키고 경골 신경과 총비골 신경의 분지점에서 1 cm 위쪽에서 tip의 직경이 1 mm인 forceps를 이용하여 30초간 압케손상을 유발한 후 근육과 피부를 봉합하였다.

**레이저 치료**

실험측은 파장 904 nm의 Ga-As (Gallium-Arsenide) 반도체 레이저(Dens-Bio Laser, TMC, Korea)를 이용하여 pulsed wave 형태(Frequency: 10,000 Hz, Power: 27 mW)로 압케손상을 유발한 부위의 체표면을 하루에 3분씩 1, 3, 5 및 7주간 조사를 실시하였다.

**전기생리학적 검사**

압케손상 유발 전과 후 그리고 레이저 조사 전과 후 1, 3, 5 및 7주에 근전도기(Multiliner, Tonnie사, Germany)를 사용하여 검사실 온도를 섭씨 23-27°C로 유지하면서 신경전도 검사를 시행하였다. 근전도기의 설정은 자극의 빈도는 초당 1회, 자극시간 0.1 ms, 주파수폭 10 Hz-10 KHz, 기록소인속

도 5 ms/div, 기록감응도 10 mV/div로 설정한 다음, 자극의 강도는 복합근 활동전위의 진폭이 최대로 될 때까지 수회 자극하면서 증가시켰다. 좌골신경 검사는 흰쥐를 복외위에서 고정하고, 표면 활동전극을 비복근 중앙부 표피에 부착하여 근육내에 위치하도록 하고 참고전극은 좌측 족부에 부착하였다. 자극전극으로는 두 개의 피부하 동축 침상전극을 바로 고정하여 사용하여 노출된 좌골신경을 직접 자극하였다. 신경전도검사는 양측 좌골신경에서 실시하였는데, 복합근 활동전위의 진폭과 좌골신경의 신경전도속도를 측정하였다.

**통계분석**

Windows용 SPSS 10.0을 이용하여 분석하였으며 치료측과 대조측간의 비교는 independent t-test를 사용하였으며, 손상 전과 손상 후, 및 치료 후의 차이는 1-way ANOVA를 사용하여 통계 분석하였다.

**결 과**

**신경전도속도(Nerve conduction velocity)**

압케손상 유발전의 치료측과 대조측의 신경전도속도는 각각 23.96 m/s와 23.34 m/s로 유의한 차이가 없었으며, 압케손상 유발후에는 13.20 m/s와 14.26 m/s로 손상전보다 유의하게(P<0.001) 감소하였다. 압케손상 유발후 레이저 조사를 실시한 치료측은 1, 3, 5 및 7주에 각각 14.32 m/s, 21.52 m/s, 22.95 m/s 및 24.85 m/s였으며, 대조측은 각각 15.12 m/s, 20.75 m/s, 23.05 m/sec 및 23.23 m/s로 변화하여 치료측과 대조측 모두 5주 이후에는 압케손상 유발전과 비슷한 신경전도속도를 나타내었다(Table 1).

**진폭(Amplitude)**

압케손상 유발전의 치료측과 대조측의 진폭은 각각 18.91 mV와 18.37 mV로 유의한 차이가 없었으며, 압케손상 유발

Table 1. The nerve conduction velocities of the injured rat sciatic nerve across the traumatic site (m/sec).

Duration (weeks)	Treatment side			Non-treatment side		
	Initial	PT <sup>1)</sup>	AT <sup>2)</sup>	Initial	PT <sup>1)</sup>	NT <sup>3)</sup>
1	23.52±1.75	14.03±1.87*	14.32±2.13**	23.27±1.16	14.63±1.84*	15.12±1.82†
3	23.52±1.19	13.00±1.05*	21.52±1.14**	23.16±1.43	14.32±1.45*	20.75±0.81†
5	23.98±1.43	13.08±1.06*	22.95±1.60	23.57±1.67	14.80±1.35*	23.05±2.01
7	24.80±2.70	12.68±0.75*	24.85±2.44	23.25±1.34	13.27±1.17*	23.23±1.31
Average	23.96±0.60	13.20±0.58	20.91±4.60	23.34±0.18	14.26±0.69	20.04±3.34

Values are mean ± SD.

<sup>1)</sup>PT: Post trauma, <sup>2)</sup>AT: After laser therapy, <sup>3)</sup>NT: Non-treatment

\*p<0.001: Initial vs. PT

\*\*p<0.001: Initial vs. AT

† p<0.001: Initial vs. NT

‡ p<0.001: AT vs. NT

후에는 8.81 mV와 9.31 mV로 손상전보다 유의하게( $P<0.001$ ) 감소하였다. 압케손상 유발후 레이저 조사를 실시한 치료측은 1, 3, 5 및 7주에 각각 12.95 mV, 16.28 mV, 19.03 mV 및 18.75 mV이었으며, 대조측은 각각 11.30 mV, 14.95 mV, 18.43 mV 및 18.47 mV로 변하여 치료군은 1주와 3주에 대조군과 비교하여 통계적으로 유의한 차이가 있었다( $p<0.05$ ) (Table 2).

**신경전도속도와 진폭의 변화율**

신경전도속도에서는 치료측이 대조측보다 3주에서만 유의하게 효과가 있는 것으로 나타났고( $p<0.05$ ), 1, 5 및 7주군에서는 유의한 차이가 없었으며, 진폭에서는 1, 3 및 5주군에서는 치료측이 대조측보다 유의하게 증가되었지만( $p<0.05$ ), 7주군에서는 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 3).

**치료기간과 신경전도속도 및 진폭과의 관계**

치료측과 대조측 모두 압케손상 유발후 주수와 신경전도속도와 진폭과의 관계에서는 1, 3 및 5주에서는 각 주간에 변화량에 유의한 차이가 있었으나( $P<0.001$ ), 7주에서는 변화

량에 유의한 차이가 없었다(Fig. 1, 2).

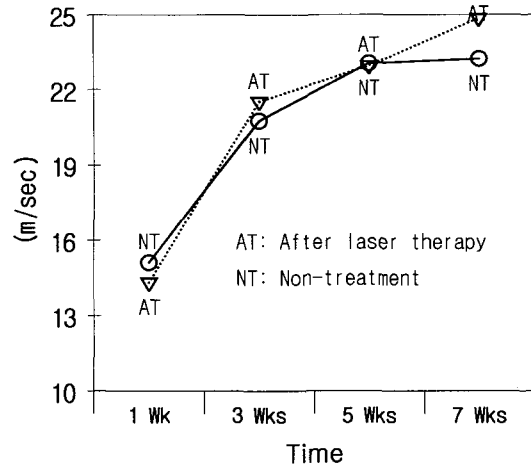


Fig. 1. Time courses of nerve conduction velocity of the injured rat sciatic nerve across the traumatic site. Two groups showed no difference.

Table 2. The amplitude of compound muscle action potential of the rat sciatic nerve (mV).

Duration (weeks)	Treatment side			Non-treatment side		
	Initial	PT <sup>1)</sup>	AT <sup>2)</sup>	Initial	PT <sup>1)</sup>	NT <sup>3)</sup>
1	18.43±1.58	8.50±2.24*	12.95±3.31**	17.72±0.81	9.18±1.27*	11.30±1.41* ‡
3	17.85±1.33	8.77±2.40*	16.28±1.59**	17.72±8.13	9.18±1.27*	14.95±1.61* ‡
5	19.17±1.34	8.83±0.85*	19.03±0.65	19.10±0.56	9.85±0.82*	18.43±1.28
7	20.17±0.95	9.13±1.22*	18.75±0.62	18.93±1.36	9.03±1.26*	18.47±0.61
Average	18.91±1.00	8.81±0.26	16.75±0.82	18.37±0.75	9.31±0.37	15.79±3.42

Values are mean±SD.

<sup>1)</sup>PT: Post trauma, <sup>2)</sup>AT: After laser therapy, <sup>3)</sup>NT: Non-treatment

\* $p<0.001$ : Initial vs. PT

\*\* $p<0.001$ : Initial vs. AT

†  $p<0.001$ : Initial vs. NT

‡  $p<0.001$ : AT vs. NT

Table 3. Comparison of the treatment side and non-treatment side with changed rate of the amplitude of compound muscle action potential and nerve conduction velocity of the rat sciatic nerve.

	Weeks	Treatment side	Non-treatment side
		Amplitude	0.45±0.02*
	1	0.83±0.06*	0.68±0.14
	3	0.99±0.03*	0.93±0.18
	5	0.87±0.08	0.95±0.21
	7	0.03±0.01	0.06±0.03
	1	0.81±0.11*	0.73±0.11
	3	0.91±0.15	0.94±0.23
	5	1.00±0.02	1.00±0.26
	7		

Values are mean±SD.

<sup>1)</sup>NCV: Nerve Conduction Velocity

\* $p<0.05$  by independent t-test.

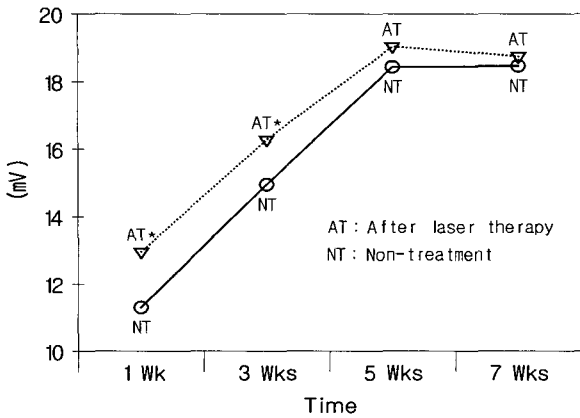


Fig. 2. Time courses of amplitude of compound muscle action potential of the rat sciatic nerve. Laser treatment side is progressive in compound muscle action potential better than the non-treatment side on 1, 3 and 5 weeks group (\*p<0.001 vs. NT).

### 고 찰

신경은 크게 중추신경과 말초신경으로 나누고, 말초신경은 백질과 수초로 구성되며, 수초의 유무에 따라 유수신경과 무수신경으로 나누는데, 무수신경은 여러 개의 무수신경이 한 개의 슈반세포에 의하여 둘러싸여 있는데 반하여, 유수신경은 람비에 결절부위에서만 축삭이 노출되고 나머지는 모두 수초에 의하여 둘러싸여 있어서 빠른 도약 전도를 가능하게 한다. 말초신경의 손상정도는 Seddon의 분류에 의하면 생리적 신경차단(Neurapraxia), 축삭절단(axonotmesis), 신경절단(neurotmesis)으로 나눌 수 있다[18]. 말초신경이 완전히 절단된 후의 말초신경 재생에 영향을 주는 인자들로서는 원활한 혈액 공급[21], 흉터 형성, 신경 통로 내의 접촉 안내 등을 들 수 있고[16], 불완전 손상된 경우에는 지질, 단백질, 탄수화물의 합성과 이용의 변화에 따라 달라진다. 그러므로 손상된 신경섬유의 재생은 알맞은 생체환경 조성에 있다고 할 수 있다. 말초신경 손상후의 외과적인 치료법으로는 동종 신경 이식법, 신경 단락된 부분에 연결 다리로서 tantalum, autogenous vein, 중피관(mesothelial tubes), 생체내 분해관(biodegradable tubes) 등의 사용을 들 수 있는데[3], 자가 신경 이식법보다는 효과적이지 못하다고 하였다[19]. 보존적인 치료로서는 강글리오시드의 사용[11], 초음파 치료[10], 전기 치료[27], 신경성장인자(NGF)의 투여[24], 레이저 치료[17,20] 등이 있는데, 이들 중 특히 레이저는 생체조직에 일정하게 지속적으로 온도가 분포되어 치료 효과를 기대하게 된다. 레이저의 생물학적 특성으로는 전기적으로 흥분된 원자나 분자의 전자들이 기준 에너지 상태로 돌아올 때 생성되며 이때 발산된 광자나 간섭작용을 일으켜 형성되는데, 여기에는 세포작용으로서 콜라겐 생성과 섬유아세포 활성화의 증가, 단

백질 합성속도를 변화시키고, 세포증식의 증가를 가져온다고 하며, 생리적인 변화로서 신경 활성화의 증가와 손상된 말초신경의 기능의 증가 및 측부 신경 형성의 촉진을 가져오고, 표층혈관 생성의 증가와 상처부위 치유의 증가와 부종의 감소 효과 등이 알려져 있다. 또 레이저 치료후에 나타나는 운동신경기능의 호전은 신경 종말판의 재확립 때문으로 해석되어지고 있다. He-Ne 레이저는 피부의 상층에서만 치료 활동을 나타내는 반면 본 실험에 사용된 적외선 반도체 레이저는 904 nm의 파장이 위험한 정도까지 온도를 증가시키지 않고 피부와 피하조직을 통과하여 체표로부터 35 mm 이하에서 생물학적 효과를 위해 사용될 수 있기 때문에 손상된 말초신경의 재생과정의 속도를 촉진시켜 운동기능의 호전을 가져올 수 있다. Wesselmann 등[26]은 쥐의 비골 신경에서 유수신경과 무수신경에 레이저 효과를 관찰한 보고에서 레이저 조사 7일째에 유수신경과 무수신경의 수적인 변화는 없었고, 무수신경섬유에서 축삭의 초미세구조적인 변화가 동반되었다고 보고한 바 있는데, 본 연구에서는 전기생리학적 수치가 호전되어 나타난 것은 레이저 치료 기간이 길기 때문으로 생각된다. Wattig 등[25]은 쥐의 좌골신경 손상후에 뉴클레오타이드를 투여한 군에서 60일에 약 60% 정도 신경재생의 효과가 있는 것으로 보고한 바 있는데, 본 연구에서의 레이저 치료로 위와 유사한 결과를 얻었으나, 본 연구에서는 치료 약 50일 정도에서 손상시키기 전과 비슷한 전기생리학적 측정치에 도달하여 나타난 바, 이는 본 연구 대상의 좌골신경의 손상정도가 적었기 때문으로 생각된다. 본 연구 결과, 레이저로 1주, 3주째 치료한 실험군에서 신경전도속도가 빠르게 회복되는 것으로 나타났으며, 치료측과 대조측과의 비교에 있어서도 치료측에서 진폭에서는 1, 3주군에서, 신경전도검사에서는 3주군에서 대조측과 비교하여 유의하게 더욱 빠른 치료효과를 나타냈는데, 이러한 결과는 저출력 Ga-As 적외선 레이저가 손상된 말초신경의 재생에 미치는 영향을 알아보기 위하여 흰쥐의 양측 좌골신경에 압케손상을 준 뒤, 레이저 조사 기간에 따라 1, 3, 5 및 7주군으로 나누어 손상된 좌골신경의 조직학적 검사와 단위 면적당 관찰되는 총 유수신경섬유의 수와 변성된 유수신경섬유 수를 측정하여 신경재생의 정도를 관찰한 결과 레이저를 조사한 실험측은 대조측에 비하여 조기에 수초의 변성이 현저히 줄어들었으며 실험측의 경우 대조측에 비하여 총 유수신경섬유 수는 증가하는 반면 변성된 유수신경섬유 수는 감소하였다는 배 등[1]의 결과와 유사한 경향을 나타내어 레이저 치료는 신경이 손상을 받은 후 초기에 적용하는 것이 효과적일 것으로 생각된다. 본 연구에서와 같이 Ga-As (gallium aluminium arsenide) 저출력 레이저로 손상된 말초신경을 조기에 치료하게 되면 복합 감각운동신경의 신경전달속도를 빠르게 할 수 있는 것으로 나타난 바, 향후 이와 유사한 외상성 또는 외과적인 신경 손상의 치료 시에 이용될 수 있을 것으로 생각

된다.

장 등[2]은 흰쥐의 좌골신경에 페놀주사후 1주에 복합근 활동전위의 진폭이 21.2% 감소하였다고 보고하였는데, 본 연구에서 압쇄손상 유발후 1주에 복합근 활동전위의 진폭을 측정 한 결과 약 36% 정도 감소하는 것으로 나타났다. Khuller 등[9]은 쥐의 좌골신경 압박손상을 유발한 후 신경전도 회복에 대한 저출력 레이저 치료후 총비골 신경의 복합근 활동 전위의 진폭이 증가하고 신경전도속도가 빨라짐을 보고 하였는데, 본 실험결과와 유사하게 치료 3주째에 현저하게 변화되어 나타났다. 그러나 실험기간의 차이로 본 연구에서는 7주까지의 전기생리학적 검사 결과를 비교할 수는 없었다. 결과적으로 축삭손상과 같은 말초신경 손상이 있는 경우 저출력 레이저 치료로서 운동과 감각신경의 빠른 재생의 효과가 있는 것으로 생각된다. 향후 이와 유사한 신경 손상이나 외과적인 신경손상의 치료에 상당한 임상적인 함축을 가질 것으로 생각된다. 본 연구에서 좌골신경 손상 흰쥐에서 전도 속도의 지연이 치료후 속도가 빨라짐은 수초병변의 호전을 생각할 수 있고, 진폭의 감소가 치료후 증가함은 축삭병변의 호전을 생각할 수 있는 바, 레이저치료는 말초신경의 수초 및 축삭 병변에 모두 영향을 주는 것으로 생각된다. 그리고 좌골신경의 진폭과 전도속도의 감소 및 증가에서 서로 유의하게 상관관계가 있는 것으로 나타난 바, 수초와 축삭의 시간에 대한 호전 속도가 비슷한 것으로 생각된다. 그러나 이러한 차이를 나타내는 기전을 파악할 수 없었기 때문에 향후 분자생물학적 차원과 생화학적 차원에서 레이저의 작용기전을 규명하는 것이 필요한 것으로 사료된다.

## 요 약

저출력 적외선 레이저가 손상된 말초신경의 재생에 미치는 영향을 알아보기 위하여 흰쥐의 양측 좌골신경에 압쇄손상을 준 뒤, 레이저 조사 기간에 따라 1, 3, 5 및 7주군으로 나누어 손상된 좌골신경의 신경전도속도와 진폭을 측정하여 신경재생의 정도를 관찰한 결과는 다음과 같았다. 좌골신경 전도속도 검사에서 압쇄손상 유발후에 손상전보다 유의하게 전도속도가 지연되었으나, 레이저를 조사한 실험측은 치료 후 3주에 현저하게 신경전도 속도가 증가 하였다. 좌골신경 진폭 검사에서 압쇄손상 유발후에 손상전보다 유의하게 진폭이 감소하였으나, 레이저를 조사한 실험측은 치료후 3주에 복합근 활동전위의 진폭이 유의하게 증가하였다. 이상의 결과로 보아, 저출력 레이저 조사는 손상된 좌골신경의 기능 회복에 있어, 주로 손상 초기의 회복속도에 영향을 주는 것으로 생각되는 바, 향후 말초신경 손상의 재활치료에 고려해야 할 것으로 생각된다.

## 감사의 글

이 논문은 2000년도 조선대학교 학술연구비로 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

## 참 고 문 헌

1. Bae, C. S., S. C. Lim and S. C. Pak. 2002. Stimulatory effect of Ga-As infrared laser on the regeneration of injured sciatic nerves. *J. Vet. Clin.* **19**, 316-321.
2. Chang, Y. U., S. S. Kim, S. W. Park, J. H. Son, K. E. Jang and D. S. Park. 2001. Electrophysiologic and Histologic Findings after Ethanol and Phenol Injection into the Sciatic Nerve of Rat. *J. of Korean Acad. of Rehab. Med.* **25**, 69-78.
3. Cuadros, C. L. and C. E. Granatir. 1987. Nerve regeneration through a synthetic microporous tube (expanded polytetrafluoroethylene): Experimental study in the sciatic nerve of the rat. *Microsurgery* **8**, 41-46.
4. Edward, M. S. B., J. E. Boggan and T. A. Fuller. 1983. The laser in neurosurgical surgery. *J. Neurosurg.* **59**, 555-566.
5. Gorio, A., P. Marini and R. Zanoni. 1983. Muscle reinnervation. III. Motoneuron sprouting capacity, enhancement by gangliosides. *Neuroscience* **8**, 417-429.
6. Gorio, A. and M. Vitadello. 1987. Ganglioside prevention of neuronal functional decay. pp. 289-325, In Seil, F. J., E. Herbert and B. M. Carlson (eds.), *Progress in Brain Research*, Vol **71**, Elsevier, Amsterdam.
7. Horowitz, S. H. 1989. Therapeutic strategies in promoting peripheral nerve regeneration. *Muscle Nerve* **12**, 314-322.
8. Ito, H. and C. A. Bassett. 1983. Effect of weak, pulsing electromagnetic fields on neural regeneration in the rat. *Clin. Orthop. Relat. Res.* **181**, 283-290.
9. Khullar, S. M., P. Brodin, E. B. Messelt and H. R. Haanes. 1995. The effects of low level laser treatment on recovery of nerve conduction and motor function after compression injury the rat sciatic nerve. *Eur. J. Oral Sci.* **103**, 299-305.
10. Lazar, D. A., F. P. Curra, B. Mohr, L. D. McNutt, M. Kliot and P. D. Mourad. 2001. Acceleration of recovery after injury to the peripheral nervous system using ultrasound and other therapeutic modalities. *Neurosurg. Clin. N. Am.* **12**, 353-357.
11. Mengs, U., K. F. Schmidt, H. G. Wolff, R. Goldschmidt and H. U. Tullner. 1984. Effects of gangliosides on nerve regeneration in rats. *Arch. Int. Pharmacodyn. Ther.* **271**, 315-323.
12. Mester, E., T. Spiry, B. Szende and G. Tota. 1971. Effect of lasers on wound healing. *Am. J. Surg.* **122**, 532-535.
13. Oguzhanoglu, A., T. Kurt and T. Sahiner. 2000. Nerve conduction parameters during ischemia-reperfusion in the rat sciatic nerve. *Electromyogr. Clin. Neurophysiol.* **40**, 487-490.
14. Pecot-Dechavassine, M. and J. C. Mira. 1994. Electrophysiological evaluation of the effects of naftidrofuryl on skeletal muscle reinnervation in the rat. *Microsurgery* **15**, 116-122.

15. Power, S. K., J. E. Adams, M. S. B. Edwards, J. E. Boggan and Y. Hosobuchi. 1984. Pain relief from dorsal root entry zone lesions made with argon and carbon dioxide microsurgical lasers. *J. Neurosurg.* **61**, 841-847.
16. Ramon, Y. and S. Cajal. 1982. Degeneration and regeneration of the nervous system, pp. 228-229, Oxford University Press, London.
17. Rochkind, S., L. Barnea, N. Razon, A. Bartal and M. Schwartz. 1987. Stimulatory effect of He-Ne low dose laser on injured sciatic nerves of rats. *Neurosurgery* **20**, 843-847.
18. Seddon, H. J. 1943. Three types of nerve injury. *Brain* **66**, 237-288.
19. Seddon, H. J. 1947. The use of autogenous grafts for the repair of large gaps in peripheral nerves. *Br. J. Surg.* **35**, 151-167.
20. Shi, K., R. Lu and X. Xu. 1997. Influence of low energy He-Ne laser on regeneration of peripheral nerve. *Zhongguo. Xiu. Fu. Chong. Jian. Wai. Ke. Za. Zhi.* **11**, 14-18.
21. Tarlov, I. M. and J. A. Epstein. 1945. Nerve grafts: The importance of an adequate blood supply. *J. Neurosurg.* **2**, 49-71.
22. Varon, S. and R. P. Bunge. 1978. Trophic mechanism in the peripheral nervous system. *Ann. Rev. Neurosci.* **1**, 327-361.
23. Vita, G., R. Dattola and P. Girlanda. 1983. Effects of steroid hormones on muscle reinnervation after nerve crush in rabbit. *Exp. Neurol.* **80**, 279-287.
24. Wang, J. Z., D. C. Bai, C. M. Rao, W. G. Li, M. T. Gao, X. Q. Wang and Y. J. Wu. 1997. Effects of 2.5s mouse nerve growth factor on regeneration of injured sciatic nerves in mice and rats. *Zhongguo. Yao. Li. Xue. Bao.* **18**, 501-504.
25. Wattig, B., G. Schalow, F. Heydenreich, R. Warzok and J. Cervos-Navarro. 1992. Enhancement of nerve fiber regeneration by nucleotides after peripheral nerve crush damage. *Arzneimittelforschung* **42**, 1075-1078.
26. Wesselmann, U., J. M. Kerns and W. Z. Rymer. 1994. Laser effects on myelinated and nonmyelinated fibers in the rat peroneal nerve: A quantitative ultrastructural analysis. *Exp. Neurol.* **129**, 257-265.
27. Zorko, B., J. Rozman and A. Seliskar. 2000. Influence of electrical stimulation on regeneration of the radial nerve in dogs. *Acta. Vet. Hung.* **48**, 99-105.