

흰쥐 좌골신경 압좌손상 후 척수분절의 저강도 레이저 조사가 운동기능 회복에 미치는 영향

대구대학교 대학원 재활과학과 물리치료전공

김석범

대구대학교 재활과학대학원 물리치료전공

김동현

대구대학교대학원 재활과학과 물리치료전공

송주민 · 남기원

대구대학교 재활과학대학 물리치료학과 신경재생실

권영실

대구대학교 재활과학대학 물리치료학과

김진상

Effects of Low Power Laser Irradiation on the Spinal Cord for the Functional Regeneration of Crushed Sciatic Nerve in Rats

Kim, Souk-Boum, P.T.

Major in Physical Therapy, Dept. of Rehabilitation Science, Graduate School, Taegu University

Kim, Dong-Hyun, P.T.

Major in Physical Therapy, Graduate School of Rehabilitation Science, Taegu University

Song, Ju-Min, P.T., M.S. · Nam, Ki-Won, P.T., M.S.

Department of Physical Therapy, Division of Health Science, Taegu University

Kwon, Young-Shil, P.T., Ph.D.

Lab. of Nerve regeneration, Department of Physical Therapy, College of Rehabilitation, Taegu University

Kim, Jin-Sang, D.V.M., Ph.D.

Department of Physical Therapy, College of Rehabilitation Science, Taegu University

< Abstract >

The purpose of the present study was to examine the functional recovery of the crushed sciatic nerve of rats after low-power laser irradiation applied to the corresponding segments of the spinal cord. After a crushed injury on the left sciatic nerve in rats, low-power laser irradiation was applied transcutaneously to corresponding segments of the spinal cord immediately after suture the wound by using 2000 mW, 2000Hz, 830 nm GaAlAs(Gallium-aluminum-arsenide) semiconductor diode laser. The laser treatment was performed with 10 minutes daily for 4 successive weeks. Functional recovery was evaluated per weekly following injury by sciatic function index(SFI), using data obtained by walking track analysis. For four weeks after crush injury, experimental group had significantly greater functional improvement than control group($\alpha=0.05$). In a experimental group, SFI was significantly increased for three weeks, but control group not increased for two weeks.

This study suggests that low-power laser irradiation applied directly to the spinal cord can improve functional recovery of the crushed sciatic nerve in rats.

* 본 논문은 2001년도 두뇌한국21 사업에 의해 지원되었음.

I. 서 론

말초신경 손상은 중요한 의학적 문제 중 하나이다. 그리고 말초신경 손상 후 치료적 회복과정은 비록 결과적으로는 나타나지만, 그 회복속도는 매우 느리며 또한 회복의 정도가 불완전하게 나타나는 경우도 많다 (Rochkind 등, 2001; Rochkind 등, 1990). 최근들어 미세외과술의 기술들과 신경재생에 대한 이해가 전보되었음에도 불구하고, 말초신경의 치료 후 기능적 회복은 완전하게 이루어지지 않고 있다(Varejao 등, 2001). Evans 등(1999)은 말초신경 손상의 치료 후 근육기능의 상실, 감각 손상, 통증유발성 신경병증(painful neuropathy)과 같은 문제들이 남았을 가능성을 제시하면서, 이것으로 인해 완전한 회복이 이루어지지 않는다고 보고했다.

말초신경은 압박(compression)에 매우 손상 받기 쉬운 조직으로, 이때 나타나는 손상의 정도는 관련된 신경 조직의 종류와 압력의 정도, 그리고 압력을 가한 시간과 밀접한 관련이 있다. 신경압박에 의해 일어날 수 있는 신경손상 중 하나가 압좌손상(crush injury)이다 (Rochkind 등, 2001). 그러한 손상 후 일반적인 결과들은 축삭의 변성과(Rochkind 등, 2001), 손상과 관련된 척수분절 신경원의 역행성 변성이고(Rochkind, 1990), 이 후 아주 서서히 재생과정이 일어난다.

손상된 말초신경의 회복을 촉진시키기 위해서 많은 시도들이 이루어져 왔으며, 최근에는 저강도 레이저 또한 손상된 말초신경의 회복을 촉진시킬 수 있다는 연구들이 많이 발표되고 있다(Midamba와 Haanaes, 1993; Nussbaum 등, 1994; Randjelovic과 Vukic, 1997; Rochkind 등, 2001; Rochkind 등, 1997; Rochkind 등, 1990; Rochkind 등, 1988; Rochkind 등, 1987; Rochkind와 Ouaknine, 1992; Wollman과 Rochkind, 1998).

저강도 레이저는 최근에 의학분야와 생물학분야, 그리고 물리치료학 분야에서 널리 이용되어지고, 또한 연구되어지는 기구이지만, 아직까지 그 효과의 유무나 작용기전에 대해서는 논쟁중에 있다(노민희 등, 2000; 방문석 등, 1996; Babapour 등, 1995; Midamba와 Haanaes, 1993). 저강도 레이저란 직접적 조사시 온도변화를 거의 일으키지 않으면서 생물학적 변화를 일으키는 낮은 에너지 밀도를 생성할 수 있는 기구로서, 이 때 온도변화는 0.1-0.5°C 미만으로 제한된다(Babapour 등, 1995). 이러한 저강도 레이저의 종류는 <표 1>과 같다.

Kameya 등(1995)과 Kami 등(1985)은 여러 가지 저강도 레이저 중 특히 GaAlAs (Gallium-aluminum-arsenide) 반도체 다이오드 레이저가 조작이 단순하고 쉬우며, 통증과 손상을 일으키지 않으면서 피부를 통과 할 수 있다고 하였고, Morrone 등(2000)은 GaAlAs 다이오드 레이저가 세포손상을 일으키지 않으면서 생체자극(biostimulation)을 할 수 있다고 하였다.

Midamba와 Haanaes(1993)은 상악안면 감각신경 손상(maxillofacial neurosensory impairment) 환자에게 GaAlAs 반도체 다이오드 레이저를 inferior alveolar nerve 신경체(nerve trunk)에 조사한 후 사각 상사척도(visual analogue scaley, VAS)를 측정한 결과 저강도 레이저조사가 말초신경의 재생을 가속화시킴을 보고했다. Rochkind 등(1988)은 압좌손상을 받은 좌골신경에 He-Ne 레이저를 0.13J/cm²의 강도로 7분간 직접조사 후 좌골신경의 복합활동전위가 증가함을 보고 했고, 손상된 좌골신경에 10J/cm²의 강도로 저강도 레이저를 직접 조사했을 때 척수에 형태학적 변화에 대한 연구에서 저강도 레이저 조사가 손상과 관련된 척수분절의 퇴행성 변화를 지연시키고, 성상세포(astrocytes)와 희소돌기세포(oligodendrocytes)의 증식이 유도됨을 보고하였다(Rochkind 등, 1990). Walsh 등(1995)은 개구리의 좌골신경에 압좌손상 후 GaAlAs 레이저로

표 1. 저강도 레이저의 종류와 파장 (Babapour 등, 1995에서 수정)

Laser	Wavelength(nm)
Helium-neon (He-Ne)	632.8
Gallium-arsenide (Ga-As)	904
Ruby	694.3
Argon	488, 514.5
Gallium-aluminum-arsenide(Ga-Al-As)	660, 820, 870, 880

2.38J과 3.57J의 강도로 조사 후 신경전도속도의 변화를 보고하였다. 이와 같이 손상을 일으킨 부위에 직접 조사하는 방법 외에도 최근에는 좌골신경의 압좌 손상 후 손상과 관련된 척수분절에 180J/cm²의 강도로 30분간 조사시 비복근의 복합활동전위가 레이저를 조사하지 않은 그룹에 비해 확실한 증가를 보여, 손상과 관련된 척수분절에 대한 간접적인 저강도 레이저 조사가 말초신경의 회복을 향상 시킬 수 있음을 제시하였다(Rochkind 등, 2001).

이상의 연구들에 의하면 레이저를 손상부위에 직접 조사하거나, 손상과 관련된 척수분절에 조사하는 것 모두가 말초신경의 손상회복을 촉진시킴을 알 수 있다. 그러나 이러한 레이저 조사에 대한 손상회복의 평가는 대부분 조직형태학적, 전기생리학적인 측면에서는 다양하게 시도되었지만, 기능적 측면에서의 관찰은 미비하게 이루어졌고, 특히 레이저를 손상과 관련된 척수분절에 조사한 경우 회복에 미치는 영향을 관찰한 연구는 드물다.

그러므로 본 연구자는 좌골신경에 압좌 손상을 일으킨 후 손상 받은 좌골신경과 관련 있는 척수분절에 저강도 레이저를 조사하는 것이 손상 후 운동기능 회복에 영향을 미치는가에 대해서 연구하였다.

II. 자료 및 방법

1. 실험동물

본 연구에서는 동일한 조건하에서 사육한 생후 8-10주, 체중 250-300g의 건강하고 신경학적으로 이상이 없는 성숙한 Sprague-Dawley계 흰쥐를 성별 구분 없이 18마리를 사용했다. 실험동물은 임의로 대조군 9마리, 실험군 9마리로 2개의 그룹으로 나눈 후 실험을 실시하였다. 실험기간 중 물과 먹이는 무제한 공급했고, 사육실의 온도는 23±2°C, 습도 50±2%로 최적의 상태를 유지하였으며, 사육장의 광주기와 암주기를 각각 12시간으로 조절하였다.

2. 실험방법

1) 수술 방법

수술방법은 방문석 등(1996)의 방법을 변형하여 염산 케타민(Ketamine HCL, 유한양행)과 Xylazine hydrochloride(바이엘코리아)를 1:1 비율로 섞은 전신

마취제를 복강내 주사(2ml/kg)하여 마취를 시킨 상태에서 모든 실험동물의 원쪽 좌골신경에 압좌상을 일으키기 위해서, 좌골신경을 둘러싸고 있는 주위 근육들에서 좌골신경과 비골신경으로 분지하기 전의 부위를 직선 지혈 겸자를 이용하여 30초간 압박하였다. 압박시 직선 지혈 겸자의 문합부의 날로 인한 손상을 방지하기 위해서 부드러운 플라스틱으로 겸자를 써운 상태에서 70% 알콜로 소독 후 실시하였다. 마지막으로 상처를 봉합한 후, 압좌손상과 관련된 T12-T13-L1 부위를 삭모하였다. 그리고 처음 1주 동안은 각각 분리하여 생활하게 하였으며, 1주 후에는 케이지(290×430×180mm)에 4-5마리씩 넣어서 생활하게 하였다.

2) 레이저 적용

레이저 조사는 손상된 좌골신경과 관련된 척수분절에 적용했다. 이때 조사하는 부위는 손상된 좌골신경과 관련된 척수분절인 L3-L6부위로 표피에 적용시는 T12-T13-L1부위에 조사했다. 치료는 수술 후 즉시 시작하였고, 조사시간은 4주동안 매일 10분간 실시하였다. 치료시 대조군 또한 치료시간 동안 마취를 시켜주어, 실험군과 최대한 동일한 조건을 주었다. 레이저는 GaAlAs 반도체 다이오드 레이저(830nm, HANIL M.E CO., LTD)를 사용하여 2000mW의 강도와 2000Hz의 주파수로 실시했다.

3. 기능적 평가

말초신경 손상회복의 평가방법으로 보행 추적 분석(walking track analysis)을 실시하였다. 이러한 평가는 레이저 조사 후 마취가 낸 다음 실시하였으며, 수술 이후 1주부터 4주까지 일주일에 한 번씩 총 4회 실시하였다.

1) 보행 추적 분석(walking track analysis)

보행 추적 분석은 일반적으로 최종 도착부분이 암실로 구성된 나무로 만들어진 보행로(walking alley)를 이용하여 보행로의 바닥에 사진 인화지(Bellin 등 1996), 일반적인 흰종이와 block printing paint(Shen과 Zhu, 1995), 수용성 페인트(water-soluble paint)(Dellon 등, 1994) 등을 사용하여 족적(足跡, footprint)을 얻음으로써 실시된다. 최근에는 비디오를 이용한 촬영(Varejao 등, 2001)에 의해서 족적을 얻는 방법도 있다.

본 연구자는 Dellen 등(1994)의 방법을 변형하여 보행로($7.6\text{cm} \times 74.5\text{cm} \times 12.7\text{cm}$)의 바닥에 흰 종이를 깐 후 쥐의 양쪽 발바닥에 먹물을 칠하여 보행을 시킴으로써 족적을 얻었다. 예비실험에서 보행 추적 분석을 실시해 본 결과 대부분 수술 후 4일까지는 대조군과 실험군 오른쪽 발의 경우는 족적을 얻을 수 있었지만 왼쪽발의 경우는 좌골신경 손상으로 인해 보행시 발등을 이용하여 바닥에 끄는 보행(antalgic gait)을 하므로 족적을 얻을 수가 없었다.

그러므로 본연구자는 모든 그룹에서 아래에 열거된 여러 요소들을 측정할 수 있는 족적을 얻을 수 있었던 1주 일째부터 일주일에 한번씩 보행추적검사를 실시했다.

2) 좌골신경기능지표(Sciatic Function Index; SFI)

좌골신경 기능지표는 좌골신경 손상 후 print length

와 toe spread의 정도가 정상일때와 비교하여 변화가 있다는 원리를 이용한 방법으로(Belin 등, 1996) <그림 1>, 보행 추적 분석을 통해 얻은 족적<그림 2>을 통해서 (1) 발의 뒷꿈치부터 세번째 발가락의 끝부분까지의 거리(Print Length: 이하 PL), (2) 첫번째와 다섯번째 발가락 사이의 거리(Toe Spread: 이하 TS), (3) 두 번째와 네 번째 발가락 사이의 거리(Intermediary Toe Spread: 이하 IT)을 구할 수 있다. 이러한 측정치들은 수술하지 않은 쪽의 발에서 얻을 경우 각각 NPL, NTS, NIT라고 하고, 수술을 실시한 쪽의 발에서 얻을 경우 EPL, ETS, EIT라고 한다. 이러한 측정치들은 Bain-Mackinnon-Hunter(BMH) 좌골신경 기능 표 공식에 사용되어진다(Bain 등, 1989). 좌골신경 기능 지표 공식은 다음과 같다.

$$SFI = (-38.3 \times PLF^*) + (109.5 \times TSF^{**}) + (13.3 \times ITF^{***}) - 8.8$$

* PLF(print length factor) = (EPL - NPL)/NPL

** TSF(toe spread factor) = (ETS - NTS)/NTS

*** ITF(intermediary toe spread factor) = (EIT - NIT)/NIT

정상쥐의 경우 왼쪽발과 오른쪽발에서 얻은 측정치들을 이 식에 대입할 경우 '0'에 가까워 진다. 완전 손상은 '-100'이고, 이러한 경우는 좌골신경의 완전절단시 나타난다.

좌골신경기능지표의 값은 모두 3회 실시한 후 평균값을 구한 후, 실험군과 대조군 각각 6마리에 대한 평균값을 다시 구하는 방법으로 얻었다.

5. 통계분석

시간경과에 따른 실험군과 대조군의 좌골신경기능지표의 차이를 비교하기 위해서 독립표본 t-test를 실시하였고, 각 그룹내 좌골신경기능지표의 변화를 확인하기 위해서 일원배치분산분석을 실시하였다. SPSS WIN 10.0을 사용하였으며, 유의수준은 95%로 하였다.

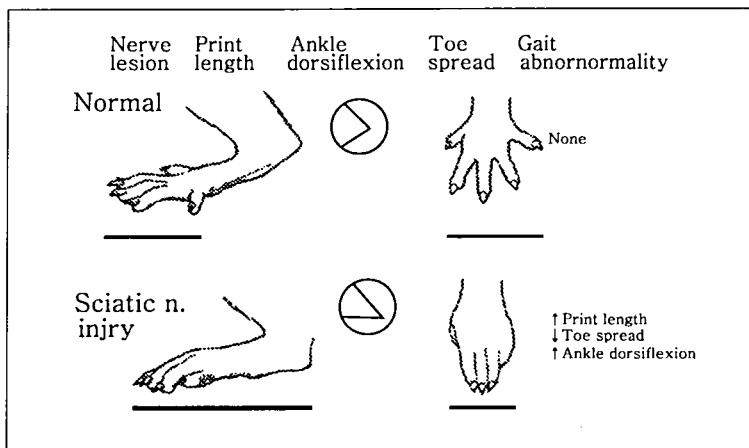


그림 1. 좌골신경 손상 후 print length, ankle dorsiflexion, toe spread의 변화 (Bain 등, 1989에서 수정)

III. 결 과

1. 좌골신경기능지표 분석

말초신경 손상과 관련된 척수분절에 레이저를 조사하는 것이 기능회복에 영향을 미치는가를 알아보기 위하여 좌골신경에 압좌손상을 일으킨 후 손상부위와 관련된 T12-T13-L1부위에 레이저(10mW, 2000Hz)를 4주간 조사하였는데, 이 과정에서 대조군은 수술 후 2일까지 3마리, 실험군은 1일 후 2마리가 사망하였으며, 1마리는 2주 후 다리에 굴곡구축이 일어나 실험에 적절하지 않다고 판단되어 실험대상에서 제외시켰다.

보행추적검사를 통해 얻어진 좌골신경기능지표는 〈표 2〉와 같다.

시간의 경과에 따른 실험군과 대조군의 좌골신경기능지

표의 차이를 살펴보기 위해서 독립검정 t-test를 실시한 결과를 살펴보면, 1주후 실험군은 -57.88 ± 5.84 , 대조군은 -67.84 ± 3.84 이고, 2주후 실험군은 -33.00 ± 14.22 , 대조군은 -62.85 ± 10.10 이며, 3주후 실험군은 -15.39 ± 3.48 이고, 대조군은 -43.66 ± 8.91 이었다. 그리고 4주후 실험군은 -10.73 ± 2.42 , 대조군은 -28.29 ± 10.08 로서, 모든 경우에서 실험군과 대조군의 좌골신경기능지표는 유의한 차이를 보였다($p<0.05$)〈표 2, 그림 3〉.

또한 실험군 내에서의 시간경과에 따른 좌골신경기능지표의 차이를 일원분산분석의 사후분석을 실시한 결과 첫 3주까지는 유의한 변화를 보였지만($p<0.05$), 마지막 4주에서는 유의성이 관찰되지 않았다($p>0.05$). 대조군에서는 처음 2주까지는 유의한 변화를 보이지 않았지만($p>0.05$), 3주와 4주에서 유의한 변화를 관찰할 수 있었다($p<0.05$).

표 2. 보행 추적 검사를 통해 나타난 좌골신경기능지표의 평균과 표준편차

시간(주)	실험군		대조군		P
	평균	표준편차	평균	표준편차	
1	-57.88	5.84	-67.84	3.84	0.033*
2	-33.00	14.22	-62.85	10.10	0.017*
3	-15.39	3.48	-43.66	8.91	0.001**
4	-10.73	2.42	-28.29	10.08	0.036*

* $p<0.05$, ** $p<0.01$

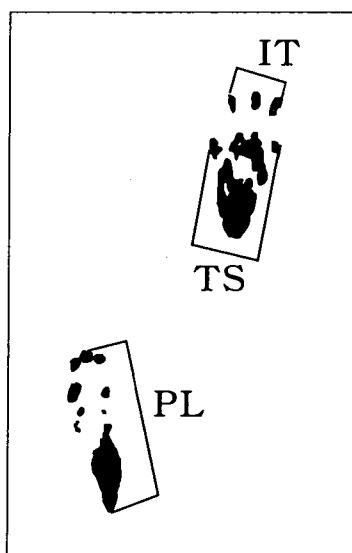


그림 2. 보행추적검사에 의해 얻은 족적(footprint)

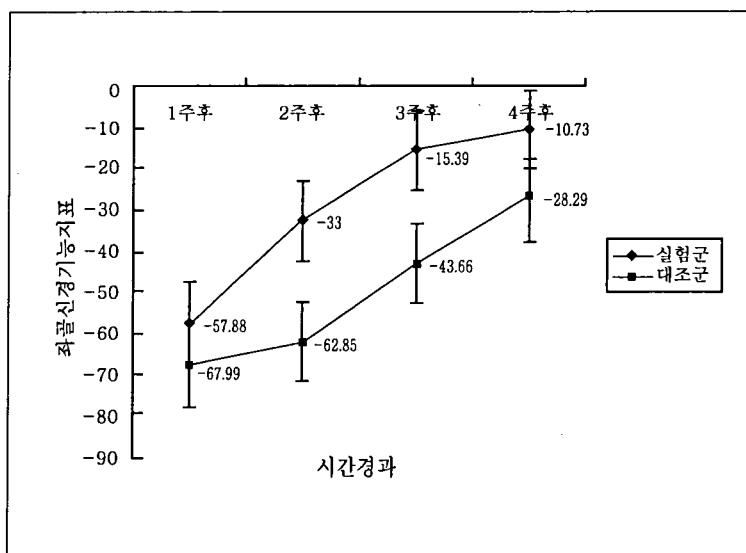


그림 3. 실험군과 대조군의 시간경과에 따른 좌골신경기능 지표(SFI)의 변화

IV. 고 칠

현대 사회에 들어서면서 교통사고와 산업재해의 증가와 더불어 외상성 말초신경 손상도 증가하고 있다. 말초신경 손상은 감각 및 운동기능을 저하시키거나 소실시켜 일상생활 뿐만 아니라 직업생활로 복귀하는데 장애가 되는 경우가 많다(김영기 등, 1999). 이러한 말초신경 손상에 대한 지금까지의 물리치료 적용은 신경손상부위와 손상의 정도 등에 따라 차이는 있지만, 일반적으로 저주파를 이용한 전기치료, 구축방지와 균력유지 등을 위한 운동치료, 적외선을 이용한 광선치료 등이 사용되었고(민경우과 김순희, 1997), 최근에는 저출력 에너지 레이저를 이용한 치료도 임상에서 적용되고 있다.

최근 임상에서 사용되어지는 저출력 에너지 레이저는 여러 가지 치료효과가 있을 것으로 기대되어 많은 연구의 대상이 되어 왔으나, 아직까지 그 효과 및 작용기전에 관한 통일된 의견이 없는 형편이다. 현재까지 연구되어온 저출력 에너지 레이저의 효과는 통증 감소(Brosseau 등, 2000; Navratil과 Dylevsky, 1997; Simunovic 등, 1998; Simunovic, 1996; Walsh, 1997), 상처 치유 촉진(Ghamasri 등, 1996; El Sayed와 Dyson, 1996; Lee 등, 1993; Stadler 등, 2001; Walker 등, 2000), 면역계 활성(Tadakuma, 1993), 신경재생촉진(Midamba와 Haanaes, 1993; Nussbaum 등, 1994; Randjelovic과 Vukic, 1997; Rochkind 등, 2001; Rochkind 등, 1997; Rochkind 등, 1990; Rochkind 등, 1988; Rochkind 등, 1987; Rochkind과 Ouaknine, 1992; Wollman과 Rochkind, 1998) 등의 효과가 있다고 연구되었지만, 아직까지 확실하게 밝혀진 것은 없다.

본 연구의 경우 말초신경의 재생과 관련하여 좌골신경에 압좌손상을 유발시킨 후 레이저 조사를 실시하였는데, 좌골신경 압좌 모델(sciatic nerve crush model)은 손상 후 신경 재생을 평가하기 위해 일반적으로 널리 사용되는 모델로서(Varejao 등, 2001), 신경손상의 정도는 신경내막관(endoneurial tube)의 연속성을 유지되면서 내부의 축사이 손상되는 축식절단(axonotmesis)이 발생한다(편성범 등, 1999). 이때 신경 재생의 평가방법으로 사용되는 방법으로 전기생리학적 방법(Nissan과 Rochkind, 1995; Rochkind 등, 2001; Rochkind 등, 1988), 조직형태학적 방법(Mackinnon 등, 1991; Rochkind 등 1990), 기능적 평가방법(Dijkstra 등,

2000; Howard 등, 2000; Knanya 등, 1996; Nakamura 등, 2001; Terris 등, 1999; Varejao 등, 2001) 등이 사용된다.

최근까지의 연구결과는 전기생리학적인 방법과 조직형태학적인 방법을 주로 사용하고 있으나, 이러한 방법들에 의한 평가방법이 반드시 기능적 회복과 밀접한 관련이 있다고 볼 수 없다(Dillon과 Mackinnon, 1989; Dijkstra 등, 2000; Howard 등, 2000; Ninjjiang과 Jiakai, 1995; Varejao 등, 2001). 신경전도속도, 최대활동전위진폭(peak action potential amplitude), 복합활동전위의 면적(area of the compound action potential) 등의 평가를 포함하는 전기생리학적 평가 결과를 기능회복으로 해석하는 것은 부적절하며(Kanaya 등, 1996; Varejao 등, 2001), 또한 축삭의 수와 수조화의 정도에 대한 조직형태학적 방법은 회복과정에서 축삭이 적절한 표적기관에 도달했는지 못했는지에 대해 명확히 관찰하는 것이 불가능하다(Kanaya 등, 1996; Mackinnon, 1996).

말초신경 회복과 관련된 기능적 평가는 운동신경회복과 감각신경회복으로 나누어 생각해 볼 수 있는데, 운동신경회복과 관련하여 De Medinaceli 등(1882)에 의해 설치류에 있어 신경손상의 기능적 평가인 좌골신경 기능지표(SFI)가 신뢰성있는 검사방법으로 알려지면서 신경손상 후 재생에 관한 기능적 평가가 가능해졌다(김영기 등, 1999; Kanaya 등, 1996).

본 실험의 결과는 좌골신경손상과 관련된 척수분절에 의 저강도 레이저 조사를 실시한 실험군이 대조군에 비해서 기능회복이 촉진됨을 시사한다. Khullar 등(1995)은 좌골신경에 압력손상(compression injury) 후 점조사법으로 직접적인 레이저 조사를 실시한 결과, 3주째 대조군과 비교해서 유의한 차이를 보였다고 보고하였다. Dijkstra 등(2000)은 신경이식을 실시한 군과 압좌손상을 일으킨 군에 대한 좌골신경기능지표를 이용한 기능회복 평가방법의 비교에서, 압좌손상을 입은 실험군에서 1주후에 '-54', 4주후에 '-16', 7주후에 '-10'의 변화를 보고하였다. Belin 등(1996)은 좌골신경 손상 후 나이에 따른 신경 기능회복능력을 관찰하는 실험에서 모든 그룹에서 8주 후에 완전한 회복을 나타낸다고 하였다. 이와 같은 결과들은 아무런 처치를 하지 않은 그룹에서 7주 후 또는 8주 후의 변화가 본 연구의 실험군에서는 4주 후에 나타나는 것으로 보아 저강도 레이저 조사가 압좌손상 후 기능적 회복에 영향을 줄 수 있음을 뒷받침해준다.

또한 실험군 내에서의 좌골신경기능지표의 변화를 살펴본 결과 레이저는 초기 3주 동안 유의한 변화를 관찰할 수 있었고, 대조군에서는 처음 2주 동안 유의한 변화가 나타나지 않았는데, 이와같이 비교적 초기에 실험군에서만 유의한 차이를 나타내는 것은 레이저 조사에 의해서 말초신경 손상 후 발현되는 신경영양성인자의 촉진과 관련 있는 것으로 사료된다. Nakamura 등(2001)과 Yin 등(2001)은 말초신경의 재생은 재생되어질 장소에서 증식되어진 슈반세포(Schwann cells)에서 신경영양성 인자가 생성되는가에 달려있다고 하였고, 백선용 등(1999)은 흰쥐의 말초신경 압좌손상 후 뒤뿌리 신경절 세포에서 NGF mRNA를 포함하는 세포의 수가 손상 후 1일 그리고 BDNF는 손상 후 3일에 가장 많이 증가함을 보고하였다. Kameya 등(1995)은 저강도 레이저의 일부 파장들(660nm, 820nm 그리고 879nm)은 대식세포에서 성장인자의 방출을 자극하고, 일부 파장(880nm)은 억제한다고 하였다. Chen과 Wang(1995)은 압좌손상을 입은 좌골신경에 신경성장인자(nerve growth factor, NGF) 치료를 실시한 결과 12일에 대조군에 비해서 50% 정도의 근육 활동전위의 유발과 수초섬유의 재생정도의 유의성 있는 차이를 보고하였다. Yin 등(2001)은 좌골신경을 절단 후 봉합시킨 부위에 손상 후 초기 수초화 과정에 관여하는 MAG(myelin-associated glycoprotein)와 회소돌기세포의 성숙에 관여하는 MBP(myelin basic protein)를 조절하는 인자로 알려진 neurotrophin-4/5(NT-4/5 또는 NT-4)로 치료한 결과 처음 5-15일에서 MAG와 MBP의 유의한 증가와, 대조군에서 5일과 15일에서 드라마틱한 감소를 보인 후 30일 후에 다시 증가를 보인다고 보고하였다.

아직까지 저강도 레이저의 효과에 대해 완전한 이해가 이루어지고 있지는 않고, 흰쥐에서의 말초신경 손상 후 신경의 재생속도와 회복정도가 인간과 다를 수 있으므로, 위의 결과들을 임상에 적용하기 위해서는 더 많은 연구가 이루어져야 할 것이다.

결론적으로, 좌골신경 손상과 관련된 척수분절 부위에 저강도 레이저를 조사하는 것은 말초신경 손상 후 운동기능회복을 촉진시킬 수 있음을 제시하였고, 앞으로 저강도 레이저 조사 후 신경영양성 인자의 발현에 관한 연구가 더 활발히 이루어질 때, 레이저 조사에 따른 분자생물학적 기전의 해석에 더 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

〈 참 고 문 헌 〉

- 김영기, 안상호, 장성호 등 : 흰쥐의 말초신경 손상 후 전기자극이 신경재생에 미치는 효과, 대한재활의학회지, 23(5), 893-898, 1999.
- 노민희, 이현옥, 윤준환 : 저 에너지 레이저 광장이 화상 쥐 혈청 무기질 성분 변화에 미치는 영향, 대한물리치료학회지, 12(2), 1-6, 2000.
- 민경옥, 김순희 : 질환별 물리치료(II), 대학서림, 28-80, 1997.
- 방문석, 한태륜, 이성재 등 : 저출력에너지 레이저가 손상된 말초신경의 신경전도 회복에 미치는 효과, 대한재활의학회지, 20(1), 28-32, 1996.
- 백선용, 양만석, 문용석 등 : 흰쥐에서 말초신경 손상후 뒤뿌리신경절세포의 신경영양성인자와 그 수용체의 발현 양상, 대한해부학회지, 32(2), 1999.
- 편성범, 권희규, 엄창섭 : 백서에서 좌골신경손상후 운동이 가자미근에 미치는 영향, 대한재활의학회지, 23(6), 1063-1075, 1999.
- Babapour R, Glassberg E, Gary P : Low-energy laser systems, Clinics in dermatology, 13, 87-90, 1995.
- Bain JR, Mackinnon SE, Hunter DA : Functional evaluation of complete sciatic, peroneal, and posterior tibial nerve lesions in the rat, Plast Reconstr Surg, 83, 129-136, 1989.
- Belin BM, Ball DJ, Langer JC et al : The effect of age on peripheral motor nerve function after crush injury in the rat, The journal of Trauma, 40(5), 775-777, 1996.
- Brosseau L, Welch V, Wells G et al : Low level laser therapy for osteoarthritis and rheumatoid arthritis: a metaanalysis, The Journal of Rheumatology, 27(8), 1961-1969, 2000.
- Dhen ZC, Wang M : Effects of nerve growth factor on crushed sciatic nerve regeneration in rats, Microsurgery, 16, 547-551, 1995
- Dellon AL, Dellon ES, Seiler WA : Effect of tarsal tunnel decompression in the streptozotocin-induced diabetic rat, Microsurgery, 15, 265-268, 1994.

- Dellon AL, Mackinnon SE : Selection of the appropriate parameter to measure neural regeneration, *Annals of Plastic Surgery*, 23(3), 197-202, 1989.
- De Medinaceli L, Freed WJ, Wyatt RJ : An index of the functional condition of rat sciatic nerve based on measurements made from walking tracks, *Experimental Neurology*, 77, 634, 1982.
- Dijkstra JR, Meek MF, Robinson RH et al : Methods to evaluate functional nerve recovery in adult rats: walking track analysis, video analysis and the withdrawal reflex, *Journal of Neuroscience Methods*, 96, 89-96, 2000.
- El Sayed SO, Dyson M : Effect of laser pulse repetition rate and pulse duration on mast cell number and degranulation, *Lasers in Surgery and Medicine*, 19(4), 433-437, 1996.
- Evans GRD, Brandt K, Widmer MS et al : In vivo evaluation of poly(L-lactic acid) porous conduits for peripheral nerve regeneration, *Biomaterials*, 20, 1109-1115, 1999.
- Ghamsari SM, Taguchi K, Abe N et al : Histopathological effect of low-level laser therapy on sutured wounds of the teat in dairy cattle, *The Veterinary Quarterly*, 18(1), 17-21, 1996.
- Howard CS, Blakeney DC, Medige J et al : Functional assessment in the rat by ground reaction forces, *Journal of Biomechanics*, 33, 751-757, 2000.
- Kameya T, Ide S, Acorda JA et al : Effect of different wavelengths of low level laser therapy on wound healing in mice, *Laser Therapy*, 7, 33-36, 1995.
- Kami T, Yoshimura Y, Nakajima T et al : Effects of low-power diode lasers on flap survival, *Annals of Plastic Surgery*, 14(3), 278-283, 1985.
- Kananya F, Firrell JC, Breidenbach WC : Sciatic function index, nerve conduction tests, muscle contraction, and axon morphometry as indicators of regeneration, *Plastic and Reconstructive Surgery*, 98(7), 1264-1271, 1996.
- Khullar SM, Brodin P, Messelt EB et al : The effects of low level laser treatment on recovery of nerve conduction and motor function after compression injury in the rat sciatic nerve, *European Journal of Oral Sciences*, 103(5), 299-305, 1995.
- Lee P, Kim K, Kim K : Effects of low incident energy levels of infrared laser irradiation on healing of infected open skin wounds in rats, *Laser Therapy*, 5, 59-64, 1993.
- Mackinnon SE : Discussion of "Sciatic function index, nerve conduction tests, muscle contraction, and axon morphometry as indicators of regeneration", *Plastic and Reconstructive Surgery*, 98(7), 1264-1271, 1996.
- Mackinnon SE, Dellon AL, O'brien JP : Changes in nerve fiber numbers distal to a nerve repair in the rat sciatic nerve model, *Muscle & Nerve*, 14, 1116-1122, 1991.
- Midamba ED, Haanaes HR : Low reactive-level 830nm GaAlAs diode laser therapy(LLLT) successfully accelerates regeneration of peripheral nerves in human, *Laser Therapy*, 5, 125-129, 1993.
- Morrone G, Guzzardella GA, Tigani D et al : Biostimulation of human chondrocytes with Ga-Al-As diode laser: 'in vitro' research, *Artificial Cells, Blood Substitutes, and Immobilization Biotechnology*, 28(2), 193-201, 2000.
- Nakamura Y, Shimizu H, Nishijima C et al : Delayed functional recovery by vincristine after sciatic nerve crush injury: a mouse model of vincristine neurotoxicity, *Neuroscience Letters*, 304, 5-8, 2001.
- Navratil L, Dylevsky I : Mechanisms of the analgesic effect of therapeutic lasers in vitro, *Laser Therapy*, 9, 33-40, 1997.

- Ninjiang S, Jiakai Z.: Application of sciatic functional index in nerve functional assessment, *Microsurgery*, 16, 552-555, 1995.
- Nissan M, Rochkind S : Nerve testing models: instrumentation and techniques for investigation of the influence of low incident levels of laser irradiation on the peripheral nerve, *Laser Therapy*, 7, 169-174, 1995.
- Nussbaum EL, Biemann I, Mustard B : Comparison of ultrasound/ultraviolet-C and laser for treatment of pressure ulcers in patients with spinal cord injury, *Physical Therapy*, 74(9), 812-822, 1994.
- Randjelovic V, Vukic D : Laser induced neuronal regeneration, *Journal of the Neurological Sciences*, 150, S326, 1997.
- Rochkin S, Ouaknine GE : New trend in neuroscience: low-power laser effect on peripheral and central nervous system (basic science preclinical and clinical studies), *Neurology Research*, 14(1), 2-11, 1992.
- Rochkind S, Barrnea L, Razon N et al : Stimulatory effect of He-Ne low dose laser on injured sciatic nerves of rats, *Neurosurgery*, 20, 843-847, 1987.
- Rochkind S, Nissan M, Alon M et al : Effects of laser irradiation on the spinal cord for the regeneration of crushed peripheral nerve in rats, *Lasers in Surgery and Medicine*, 28, 216-219, 2001.
- Rochkind S, Nissan M, Lubart R et al : The in-vivo-nerve response to direct low-energy-laser irradiation, *Acta Neurochirurgia(Wien)*, 94, 74-77, 1988.
- Rochkind S, Shahar A, Nevo Z : An innovative approach to induce regeneration and the repair of spinal cord injury, *Laser Therapy*, 9, 151-152, 1997.
- Rochkind S, Vogler I, Barr-Nea L : Spinal cord response to laser treatment of injured peripheral nerve, *Spine*, 15, 6-10, 1990.
- Shen N, Zhu J : Application of sciatic function index in nerve functional assessment, *Microsurgery*, 16, 552-555, 1995.
- Simunovic Z : Low level laser therapy with trigger points technique: a clinical study on 243 patients, *Journal of Clinical Medicine and Surgery*, 14(4), 163-167, 1996.
- Simunovic Z, Trobonjaca T, Trobonjaca Z : Treatment of medial and lateral epicondylitis-tennis and golfer's elbow-with low level laser therapy: a multicenter double blind, placebo-controlled clinical study on 324 patients, *Journal of Clinical Laser Medicine and Surgery*, 16(3), 145-151, 1998.
- Stadler I, Lanzafame RJ, Evans R et al : 830-nm increases the wound tensile strength in a diabetic murine model, *Laser Surgical and Medicine*, 28(3), 220-226, 2001.
- Tadakuma T : Possible application of the laser in immunobiology, *The Keio Journal of Medicine*, 42(4), 180-182, 1993.
- Terris DJ, Cheng ET, Utley DS et al : Functional recovery following nerve injury and repair by silicon tubulization: comparison of laminin-fibronectin, dialyzed plasma, collagen gel, and phospahte buffered solution, *Auris Nasus Larynx*, 26, 117-122, 1999.
- Varejao ASP, Meek MF, Ferreira AJA et al : Functional evaluation of peripheral nerve regeneration in the rat: walking track analysis, *Journal of Neuroscience Methods*, 108, 1-9, 2001.
- Walker MD, Rumpf S, Baxter GD et al : Effect of low-intensity laser irradiation(660nm) on a radiation-impaired wound-healing model in murine skin, *Lasers in Surgery and Medicine*, 26(1), 41-47, 2000.
- Walsh DM, Baxter GD, Allen JM : The effect of 820 nm laser irradiation upon conduction in the frog (*rana temporaria*) sciatic nerve in vitro, *Laser Therapy*, 7, 5-10, 1995.
- Walsh LJ : The current status of low level laser therapy in dentistry. part 2. hard tissue

- applications, Australian Dental Journal, 42(5), 302-306, 1997.
- Wollman Y, Rochkind S : In vitro cellular processes sprouting in cortex microexplants of adult rat brains induced by low power laser irradiation, Neurological Research, 20, 470-472, 1998.
- Yin Q, Kemp GJ, Yu LG et al : Expression of Schwann cell-specific proteins and low-molecular-weight neurofilament protein during regeneration of sciatic nerve treated with neurotrophin-4, Neuroscience, 150(3), 779-783, 2001.