

혈관화 및 비혈관화 신경이식의 이식부 신경재생에 관한 광학 및 전자현미경적 연구*

이화여자대학교 의과대학 해부학교실

이 해 성

= Abstract =

Histologic Comparison of Nerve Regeneration Between Vascularized and Non-vascularized Nerve Graft

Lee Hae Sung

Department of Anatomy, College of Medicine, Ehwa Womans University

Since the first introduction of nerve graft in 1870, it had been applied to various nerve defects. Recently, the vascularized nerve graft has been used in the scarred recipient bed or thick or wide nerve defect.

This study was designed to see the difference in duration of early ischemic period and in light and electron microscopic findings between non-vascularized and vascularized nerve graft.

We had 8 groups of mixed bleed rabbits, consisting 3 in each group of control, POD# 1, 2 & 7-day and 2, 4, 8 and 12weeks respectively. In each animal, one femoral nerve was grafted with femoral artery maintaining vasa nervorum in its own site as vascularized nerve graft. and only the femoral nerve was grafted in opposite side for non-vascularized nerve graft. To compare the early vascularity in POD# 1, 2, 7-day groups, India ink was perfused after saline solution perfusion through left ventricle. To observe the histologic findings of control, postoperative 2, 4, 8 & 12th-week group, 3% paraformaldehyde and 3% glutaraldehyde were perfused systemically through left ventricle and postfixed with 1% osmium tetroxide.

The results was as follows;

- 1) Vascularized nerve graft of POD 1, 2 & 7-day groups and non-vascularized nerve graft of POD 7-day showed India ink filling in capillaries grossly and microscopically.
- 2) The numbers of myelinated axons and diameter of axon did not show statistically significant difference between non-vascularized & vascularized graft at 2, 4 and 8-week after the operation.
- 3) Only the group of 12-week postoperation showed significant difference in number

*본 연구는 생활과학연구원 연구비에 의하여 이루어졌음.

of myelinated axons between two groups($p<0.05$).

I concluded vascularized nerve graft gave more rapid repair than non-vascularized nerve graft and recommended vascularized nerve graft for thick or wide defect.

서 론

실험재료 및 방법

1870년 Phillipeaux and Vulpian에 의해 신경이식이 처음 소개된 이래 많은 발전을 계속해 왔다¹⁾. 신경 결손시 그 기능의 회복은 그 연속성의 복원에 달려있어 현재 임상에서는 자가신경이식술이 활발히 이루어지고 있다. 신경이식을 성공시키는 데 가장 큰 영향을 주는 것은 그 신경의 직경이며, 신경의 직경이 너무 큰 경우 중심케사가 발생하여 축삭의 재생이 늦어진다고 하였다^{2,3)}. 이 중심케사를 피할 수 있는 방법은 이식신경의 직경이 작고, 혈류상태가 좋은 수혜부를 갖는 경우이다. 1976년 Taylor와 Ham에 의해 “Pedicled nerve graft”가 시행된 이후 혈류 상태가 불량한 수혜부 혹은 넓거나 굵은 신경의 손상시 혈관화 신경이식이 적용되어지고 있다⁴⁾.

최근 신경이식시 신경외막의 영양혈관을 미세 현미경을 이용하여 문합하면 이식부의 재혈관화가 빨라지고, Wallerian 변성과 탈수초의 제거가 빨라지며, 이식부로의 축삭의 성장도 빨라져, 재생 축삭의 재수초화가 완벽해진다는 보고가 있다⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾.

혈관화 신경이식이 비혈관화 신경이식보다 신경재생의 속도가 빠르다는 발표는 많으며⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾, 비혈관화 신경이식시 허혈기간이 뚜렷한 경우는 수혜부의 혈류 상태가 좋은 경우에도 혈관화 신경이식보다 축삭재생에 지장이 초래된다.

따라서 최근 수혜부의 혈류상태가 불량하거나 결손 간격이 넓은 경우에 혈관화 신경이식이 많이 시행되며, 이 경우와 신경만 이식한 비혈관화 신경이식과의 차이를 관찰한 경우는 몇개 있으나, 초기 허혈기간의 지속시간이 향후 신경재생에 미치는 영향에 대한 연구는 초보단계이다.

이번 연구는 토끼 대퇴신경에 혈관화 및 비혈관화 신경이식을 시행한 후 초기 관류상태 차이와 후기 신경재생의 정도를 영상분석기를 이용하여 양적으로 측정하여 신경재생의 정도를 비교 관찰하고자 한다.

실험대상 및 방법은 잡종 가토 25마리를 대조군 및 술후 1일, 2일, 7일, 2주, 4주, 8주, 12주군으로 나누어 대조군은 아무처치도 하지 않고, 나머지는 대퇴신경이 살굴(inguinal canal)을 통과한 바로 아래 부분부터 아래로 4cm 까지의 신경을 사용하였다. 좌우 대퇴신경 중 한쪽은 신경 및 동맥을 근위 및 원위부에서 No. 1 silk로 결찰하여 정맥혈이 이식될 신경조직으로 관류되는 것을 차단한후 근위 및 원위단에서 신경 및 동맥을 신경속맥관(vasa nervorum)을 유지한 채 절단하였고, 그 신경과 동맥을 10-0 prolene을 사용하여 제자리에 다시 재접합하는 혈관화 신경이식을 시행하였다(그림 2). 반대쪽은 비혈관화 신경이식을 행하여, 박리한 4cm의 신경을 동맥과 분리하여 vasa nervorum을 절단하고 신경조직만을 10-0 prolene을 사용하여 제자리에 재접합하였다(그림 3).

초기 이식 신경내의 관류 상태를 관찰하기 위하여 술후 1일, 2일, 7일군에서 좌심실을 통하여 생리 식염수를 전신 관류시켜 같은 경로로 India ink를 관류 시킨후 이식된 신경조직의 근위 접합부로부터 1cm 원위부에서 신경조직을 채취하여 paraffin block을 만들었다. 조직 절편은 5 μ m 두께로 하여 H-E염색을 행하여 신경조직내 모세혈관에 India ink의 충만을 확인하였다. 이식 후 신경의 재생정도를 관찰하기 위하여 대조군 및 술후 2주, 4주, 8주 12주군은, 3% paraformaldehyde와 3% glutaraldehyde 고정액으로 관류고정하였으며, 양측의 근위 이식부에서 1cm 원위부를 취하여 1% osmium tetroxide로 후고정(postfixation)하고 Epon 812로 중합한 후 1 μ m 두께의 준박절표본을 toluidine blue로 염색하여 광학현미경 하에서 관찰하였다. 투과전자현미경 관찰을 위하여 Sovall Ultramicrotome(Du Pont Co. USA)으로 50~60 nm의 초절 박절표본을 만들어 uranyl acetate와 lead citrate로 중복염색한 후 관찰하였다. Tolui-

dine blue로 염색한 준박절표본의 사진은 890배로 확대하여 영상분석기(Q 520, Cambridge)를 이용하여 대퇴신경의 횡단면 10000 μm^2 내의 수초와 축삭수를 측정하였으며, 계수한 전체 축삭의 넓이와 개개 축삭넓이의 분포를 백분율로 표시하였다.

결 과

1. 관류상태 소견

1) 혈관화 신경이식

이식후 1일, 2일, 7일군의 경우 육안적으로 신경조직내 모세혈관내로 India ink의 관류를 관찰하였으며(그림 4a, b), 광학현미경하에서 H-E 염색의 신경조직내 모세혈관에서 India ink의 관류를 관찰하였다(그림 5).

2) 비혈관화 신경이식

이식후 1일 및 2일군에서는 육안과 광학현미경으로 혈관내 India ink의 관류를 관찰 할 수 없었고(그림 6). 이식 7일군 3마리중 관류에 실패한 1마리를 제외한 2마리에서 India ink의 관류를 확인하였다.

2. 광학현미경적 관찰

1) 대조군

대퇴신경 준박절표본의 관찰 결과 많은 수초를 갖는 신경섬유가 빽빽히 배열되어 있었으며, 수초의 모양과 두께가 다양하였다(그림 12). 단위면적당 수초의 수는 225.2 ± 12.9 개이며, 단위면적내 축삭의 넓이의 합은 $866.2 \pm 42.9 \mu\text{m}^2$ 이었다(표

1). 축삭 개개의 넓이를 백분율로 나타내어보면 면적이 $0-2 \mu\text{m}^2$ 미만이 가장 많아 단위면적내 전체 축삭의 44%를 차지하였다(그림 1D).

2) 혈관화 신경이식

이식후 2주군에서 수초의 수는 대조군과 거의 같은 수였으나, 대부분의 수초들은 종창(swelling)으로 두꺼워졌다(그림 7).

이식후 4주군에서 퇴행(degeneration)이 진행되는 수초가 많아져 수초의 종창이 더욱 심하였으나, 재생되는 축삭임을 알 수 있는 축삭의 직경보다 얇은 수초를 갖는 축삭의 출현을 관찰할 수 있었다(그림 8). 단위면적당 축삭수는 117.2 ± 8.3 개였고, 단위면적내 축삭의 넓이를 합한 것이 $496.5 \pm 30.9 \mu\text{m}^2$ 이었고(표 1), 축삭의 면적은 $0-2 \mu\text{m}^2$ 이 가장 많아 39%였으며, 그 다음이 $2-4 \mu\text{m}^2$ 과 $4-6 \mu\text{m}^2$ 으로 각각 16%였다(그림 1A).

이식후 8주군은 신경섬유의 현저한 감소가 관찰되며, 얇은 수초에 싸인 재생된 작은 신경섬유가 군데군데 나타났다. 단위면적당 축삭의 수는 62.8 ± 8.1 개였고, 총 축삭의 넓이는 $115.3 \pm 15.0 \mu\text{m}^2$ 이었다(표 1). 개별 축삭 면적중 $0-2 \mu\text{m}^2$ 미만이 가장 많아 52%이었다(그림 1B).

이식후 12주군의 대퇴신경은 수초가 얇은 작은 재생 섬유들이 많아 거의 대부분이었으며, 몇개의 퇴행섬유도 관찰되었다(그림 11). 단위면적당 축삭의 수는 71.2 ± 3.2 개였고, 축삭 전체의 넓이는 $148.0 \pm 6.2 \mu\text{m}^2$ 이었다(표 1). 그중 축삭면적이 $0-2 \mu\text{m}^2$ 인 축삭의 비율이 가장 높아 54%였다(그림 1C).

Table 1. Comparison of vascularized and nonvascularized autograft of femoral nerve

Time	Animal group	Myelinated	
		Axon counts (개/10000 μm^2)	Mean Axonal area (μm^2)
4Wk.	Vascularized	117.2 ± 8.3	496.5 ± 30.9
	nonvascularized	103.7 ± 8.1	421.2 ± 30.5
8Wk.	vascularized	62.8 ± 8.1	115.3 ± 15.0
	nonvascularized	60.3 ± 9.2	97.0 ± 7.2
12Wk	vascularized	$71.2 \pm 3.2^*$	148.0 ± 6.2
	nonvascularized	62.6 ± 5.7	100.2 ± 9.5
Control		225.2 ± 12.9	866.2 ± 42.9

*Significant difference between vascularized and nonvascularized nerve graft($p < 0.05$)

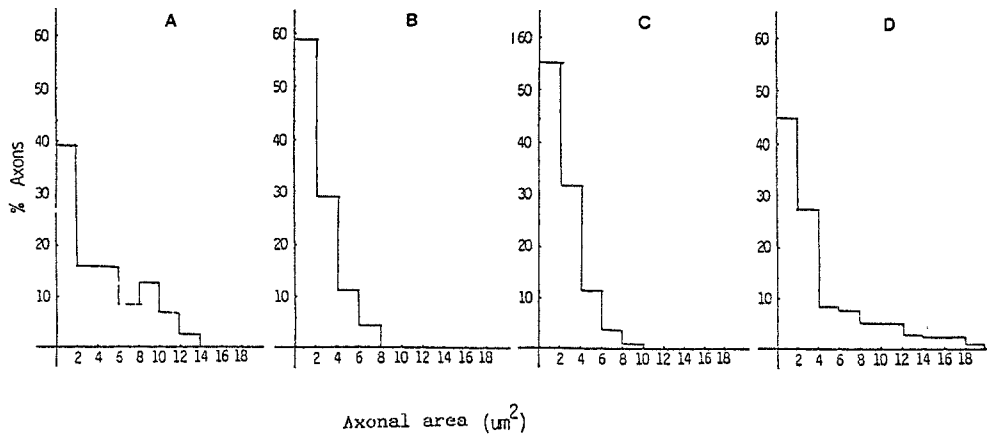


Fig. 1. Axonal area histograms of vascularized nerve graft.
(A) 4Wk (B) 8Wk (C) 12Wk (D) Control

3) 비혈관화 신경이식

이식후 2주군은 축삭이 많이 사라지고 파괴된 수초의 debris가 흩어져 있으며, 완전히 변성을 일으킨 경우도 1에 관찰 되었다.

이식후 4주군은 변성된 수초들이 불규칙한 모양을 보이며 축삭보다 얇은 수초를 갖인 재생섬유를 드물게 관찰할 수 있었다. 대퇴신경이 완전히 변성된 경우가 2예에서 관찰되었다(그림 9). 단위면적당 축삭의 수와 넓이는 103.7 ± 8.1 개, $421.2 \pm 30.9 \mu\text{m}^2$ 이었다(표 1). 계수한 축삭의 수와 혈관화 신경이식 4주군의 축삭의 수와는 통계적 의의는 없었다($P > 0.05$).

이식후 8주군은 퇴행이 더욱 진행되어 많은 일그러진 변성된 수초가 난형으로 보이는 전형적인 wallerian 변성을 보이나 재생되는 축삭이 드문드문 관찰 되었다. 완전히 변성을 일으킨 예가 1에 관찰 되었다. 단위면적당 축삭의 수와 넓이는 60.3 ± 9.2 개, $97.0 \pm 7.2 \mu\text{m}^2$ 이었다(표 1). 이 축삭 수와 혈관화 신경이식군의 축삭 수의 차이도 통계적 의의는 없었다($p > 0.05$).

이식후 12주군에서는 퇴행되는 축삭이 많이 줄어들고, 새로이 재생되는 축삭이 어느정도 증가 되는 것을 관찰 할 수 있었다(그림 10). 단위면적당 축삭의 수와 넓이는 62.6 ± 5.74 개, $100.2 \pm 9.5 \mu\text{m}^2$ 이었고(표 1), 이 때 축삭수와 혈관화신경이식군의 축삭 수의 차이는 통계적 의의가 없었다($p < 0.05$).

3. 전자현미경적 관찰

Toluidine blue로 염색된 준미세박절표본의 광학현미경적 관찰을 토대로 특징적인 신경변성 및 재생 소견을 보이는 부위를 전자현미경으로 관찰 하였다. 혈관화 신경이식 2주군에서는 수초의 조기변성 소견으로 세포막 박리가 일어나고, Lamella가 불확실하여져 tangled mass를 형성하였으며, 수초 내 공포화를 보였다(그림 15).

비혈관화 신경이식 2주군에서도 대부분의 축삭은 수초화 섬유와 비수초화 섬유에서 퇴행되어 사라졌고, 수초들은 변성되어 불규칙한 모양의 덩어리를 형성하였다. 또 여러개의 공포를 갖인 대식세포를 관찰할 수 있었다(그림 16).

이러한 신경 변성소견은 4주, 8주, 12주 모두에서 관찰되나 그 수가 점점 줄어들었고 신경 재생 소견은 두겹의 기저막을 갖인 Schwann 세포가 형성하는 얇은 수초를 관찰할 수 있으며 축삭 내에는 neurotubule, neurofilament와, mitochondria가 관찰되었고, 수초를 갖지 않고 Schwann 세포에 둘러싸인 비수초화 섬유도 다수 관찰 되었다(그림 13, 14).

고 찰

Lux 등은 개의 복재신경(saphenous n.)에 혈관화 및 비혈관화 신경이식을 시행하여, 그 혈류량을

관찰하였으며¹¹⁾, 이번 연구와 마찬가지로 혈관화 이식은 수술 후 곧 신경내 모세혈관에서 관류를 관찰할 수 있었고, 비혈관화의 경우는 수술 3일 후에야 불완전 관류를 보고하였다. 또 그는 수술 후 3일에서 14일간 혈관화와 비혈관화 모두 혈류량이 증가하여, 정상보다 높아지는 것을 관찰하였으며, 이것은 Lundborg의 결과와도 같아¹²⁾¹³⁾ 이 혈류량의 증가는 관류에 의한 용량의 증가 때문으로 설명하였다. 그리고 수술 3일에서 1주일까지는 비혈관화 이식의 경우가 혈관화 이식보다 혈류량이 더 컸다고 하였으며, 이것은 대사성 필요에 의한 증가인지 초기 허혈에 대한 반발 회복인지는 알 수 없다고 하였다¹²⁾¹³⁾. 그러나 Wood와 Lind는 비혈관화 이식시 3일간의 허혈기간을 관찰하였고, 혈류량은 혈관화 이식의 경우가 비혈관화의 경우보다 항상 높았다고 하였다¹⁴⁾.

Koshima와 Harii는 흰쥐에서 혈류량의 변화가 축삭재생에 변화를 일으켰으며 혈관화 이식의 경우 직경이 큰 수초화 축삭의 수가 매우 증가했다고 보고하였다¹⁰⁾. Townsend와 Taylor는 축삭재생과 재수초화를 광학 및 전자현미경으로 관찰한 결과, 비혈관화 이식 9주 후의 축삭이 Wallerian 변성을 쉽게 일으키며, 혈관화/이식시 축삭재생과 재수초화가 잘 일어난다고 보고하여⁶⁾, 이번실험의 결과와 일치하였다. 그러나 Settergren과 Wood는 위의 결과를 반박하였으며, 혈관화 이식과 비혈관화 이식의 신경 재생 정도는 같다고 하였다¹⁵⁾. 또 Bacsich와 Wyburn도 영양혈관의 절단이 축삭 재생에는 별 영향이 없다 하였고¹⁶⁾, Lundborg는 신경 내 혈관의 연결이 신경재생에는 더 중요하다고 하였다¹⁷⁾. 이 보고와 이번 연구와의 차이는 재수초화된 축삭의 관정기준과 서로 관찰한 재생 시기의 차이 때문으로 생각한다.

신경재생의 조직학적 설명에는 두가지가 있어 절단된 신경 원위단에서 나오는 어떤 화학물질이 재생을 촉진할 것이라 Neurotropism설과¹⁸⁾, 신경 재생이 fibrin clot strands를 따라 임의로 자란다는 contact guidance설¹⁹⁾ 있다. 이후 두 학설이 대립해오다가 1980년대에 이르러서 Lundborg 등²⁰⁾, Brushart²¹⁾, Seckel²²⁾ 등에 의해 다시 neurotropism설이 강조되었고 1988년 Williams에 의해 두 학설이 모두 신경재생의 설명에 필요함이 밝혀졌

다²³⁾. 말초신경 재생에 관여하는 세포는 슈반세포, 섬유아세포등이며 축삭도 중요한 역할을 한다. 그의 대식세포, 흰쥐에서 보는 비반세포등이 있다. 죽은 축삭과 수초를 제거하는 대식세포의 기원은 혈액 단핵세포, 혈관외피세포인 미교세포이다. 슈반세포는 자가 소화작용으로 수초를 제거한다고 한다²⁴⁾. 이번 연구에서도 탐식기능을 갖는 세포 주변에 부분적으로 기저막이 관찰되기도 하여, 슈반세포의 자가소화작용이 관찰되었다. 슈반세포의 기저막은 슈반튜브 또는 neurilemmal tube라고 불리는 것으로 축삭 재생을 유도하는 중요한 기능을 갖고 있다²⁵⁾²⁶⁾²⁷⁾. 신경재생의 후기변화로는 교원섬유의 침윤과 섬유아세포의 증식이 있다. 이 세포 돌기는 기저막이 없고 대식세포와의 연결이 관찰되나 이것은 탐식작용보다 섬유화에 관련된다.

신경 결손이 있는 경우 효과적인 치료방법에 대한 연구가 계속되어 왔고, 미세수술의 발달로 신경의 복원이 기술적으로 가능해 졌다. 그러나 그 임상결과는 경우에 따라 만족스럽지 못할 때가 있다. 흰쥐처럼 신경 재생이 잘되는 동물은 문합 없이도 신경이 재생되어 재생을 촉진하는 trophic factor가 있을 것으로 생각되며 이 재생촉진 인자에 대한 연구를 계속하여야 할 것으로 생각한다.

본 실험에서 혈관화 신경이식 보다 비혈관화 신경이식시 재생이 다소 지연되었으나 두방법 모두 시간의 경과와 함께 신경재생이 이루어졌다. 그러나 혈류상태가 불량한 수혜부나 결손부가 넓은 경우나, 굵은 신경의 결손시에는 혈관화 신경이식을 시행하는 것이 바람직하다고 생각한다.

결 론

성숙 가토 대퇴신경의 혈관화 및 비혈관화 신경이식을 시행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 혈관화 신경이식군의 이식조직 내에서 술후 1일부터 혈액의 관류를 확인하였으나 비혈관화 신경이식군에서는 술후 2일 까지 혈액의 관류를 확인 할 수 없었다.

2) 술후 4주의 혈관화 및 비혈관화 신경이식군에서 단위면적당 축삭의 수와 넓이는 혈관화 이식군이 약간 높았으나 두군 사이의 차이는 통계적

의의가 없었다.

3) 술후 8주군에서는 축삭의 수와 넓이가 혈관화와 비혈관화 이식군 모두 감소하였으며, 두군의 차는 통계적 의의가 없었다.

4) 술후 12주의 두군에서는 축삭수와 넓이가 8주군에 비해 증가하였으며, 두군의 축삭의 차가 통계적 의의를 갖어 ($P < 0.05$), 혈관화 이식이 비혈관화 보다 빠른 재생을 보였다.

5) 이식부의 전자현미경 소견을 혈관화 및 비혈관화 신경이식군의 술후 2주, 4주에서 수초의 급격한 변성과 Schwann세포의 식작용을 보였고, 8주와 12주에는 얇은 수초를 갖는 가는 축삭이 많이 나타나서 축삭 면적 $0-2 \mu\text{m}^2$ 이 각각 52%, 54%를 이루어 신경의 활발한 재생을 보였다.

References

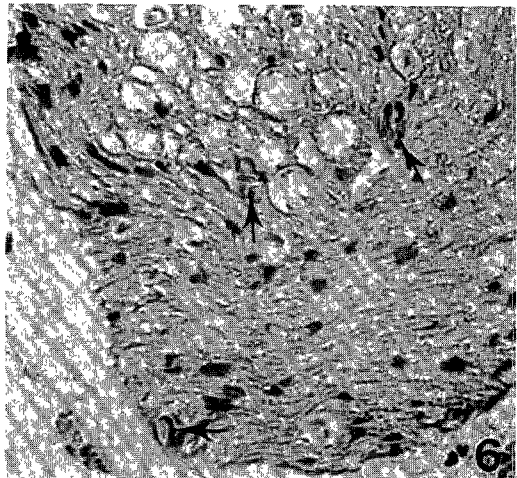
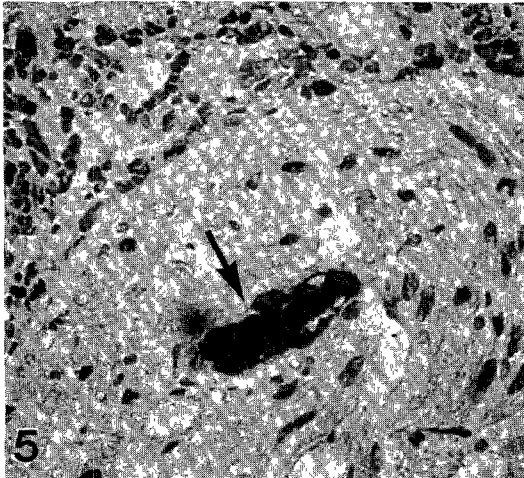
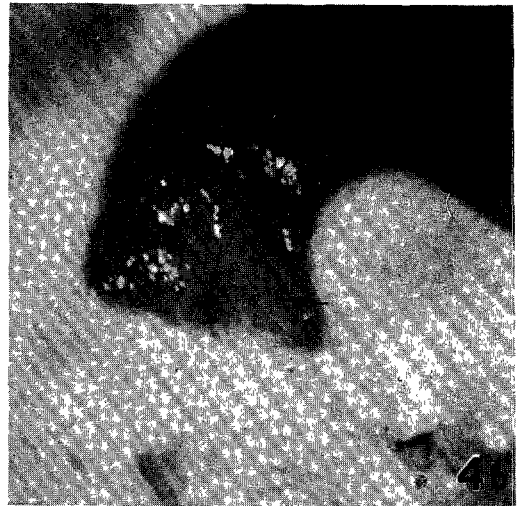
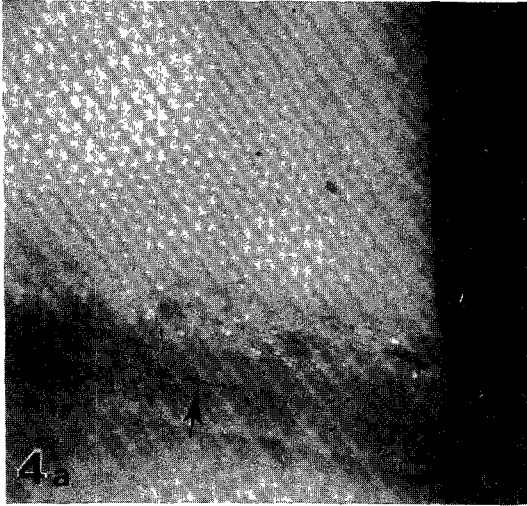
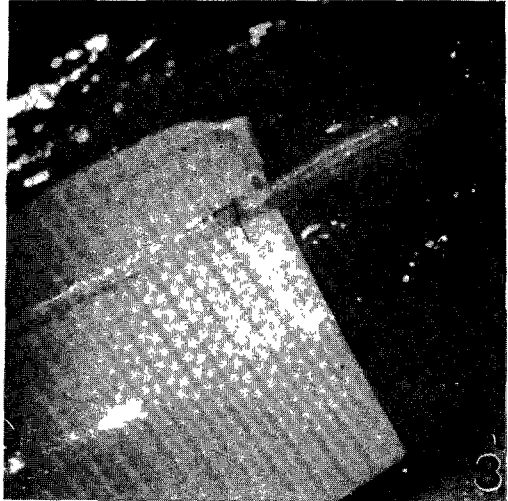
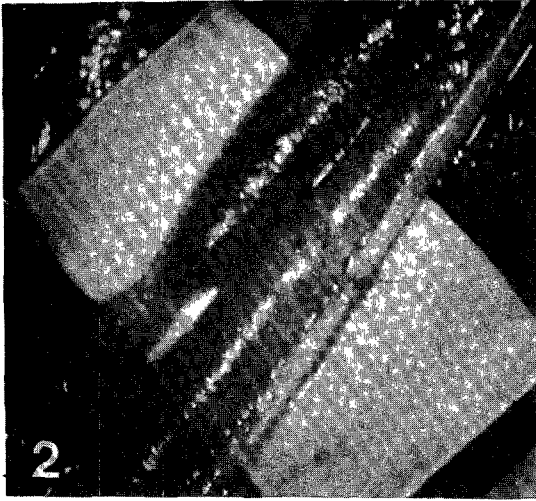
- 1) Phillipeaux JM, Vulpian A : *Note sur les essais de greffe d'un tronçon de nerf lingual entre les deux bouts de l'hypoglosse*. Arch Physiol Norm Path 1870 : 3 : 618
- 2) Brooks D : *The place of nerve grafting in orthopaedic surgery*. J of Bone and Joint Surgery 1955 : 37 A : 229
- 3) Seddon HJ : *Nerve grafting*. J of Bone and Joint Surgery 1963 : 45B : 447
- 4) Taylor GI, Ham FJ : *The free vascularized nerve graft : A further experimental and clinical application of microvascular techniques*. Plast Reconstr Surg 1976 : 57 : 413
- 5) Taylor GI : *Nerve grafting with simultaneous microvascular reconstruction*. Clin Orthop 1978 : 56 : 133
- 6) Townsend PLG, Taylor GI : *Vascularized nerve grafts using composite arterialised neurovenous systems*. Br J Plast Surg 1984 : 37 : 1
- 7) Fachinelli A, Masquelet A, Restrepo J, Gilbert A : *The vascularized sural nerve : Anatomy and surgical approach*. Int J Microsurg 1981 : 3 : 57
- 8) Seckel BR, Upton J, Jones HR Jr, Murray JE : *Rapid regeneration of the chronically damaged facial nerve following ipsilateral free gracilis transfer*. Plast Reconstr Surg 1983 : 71 : 845
- 9) Breidenbach W, Terzis JK : *The anatomy of free vascularized nerve grafts*. Clin Plast Surg 1984 : 11 : 65
- 10) Koshima I, Harii K : *Experimental study of vascularized nerve grafts : Morphometric study of axonal regeneration of nerves transplanted into silicone tubes*. Ann Plast Surg 1985 : 14 : 235
- 11) Lux P, Breidenbach W : *Determination of temporal changes in blood flow in vascularized and nonvascularized nerve graft in the dog*. Plast Reconstr Surg 1988 : 82 : 133
- 12) Lundborg G : *Ischemic nerve injury : Experimental studies on intraneural microvascular pathophysiology and nerve function in a limb subjected to temporary circulatory arrest*. Scand J Plast Reconstr Surg(suppl)1970 : 6 : 1
- 13) Lundborg G : *Structure and function of the intraneural microvessels as related to trauma, edema formation and nerve function*. J Bone Joint Surg 1975 : 57A : 938
- 14) Wood MB, Lind R : *Comparison of the pattern of early revascularization of conventional versus vascularized nerve grafts in the canine*. J Reconstr Microsurg 1986 : 2 : 4
- 15) Settergren CR, Wood MB : *Comparison of blood flow in free vascularized versus nonvascularized nerve grafts*. J Reconstr Microsurg 1984 : 1 : 95
- 16) Bacsich P, Wyburn GM : *The effect of interference with the blood supply on the regeneration of peripheral nerves*. J Anat 1945 : 79 : 74
- 17) Lundborg G : *The intrinsic vascularization of human peripheral nerves : Structural and functional aspects*. J Hand Surg 1979 : 4 : 34
- 18) Cajal SR : *Mecanismo de la degeneracion y regeneracion de nervos*. Trab Lab Invest Biol Madrid 1905 : 4 : 119
- 19) Weiss P, Taylor AC : *Further experimental evidence against neurotropicism in nerve regeneration*. J Exp Zoo 1944 : 95 : 233-257
- 20) Lundborg G, Dahlin LB et al : *Reorganization and orientation of regenerating nerve fibers, perineurium and epineurium in performed mesothelial tubes-An experimental study on the sciatic nerve of rats*. J Neurosci Res 1981 : 6 : 265-281
- 21) Brushart TM : *Selective reinnervation of distal motor stumps by peripheral motor axons*. Exp Neurol 1987 : 97 : 289-300
- 22) Seckel BR, Ryan SG, Chiu TH, Watkins B : *Target specific nerve regeneration through a nerve guide in the rat*. Plast Reconstr Surg 1986 : 78 : 793-798
- 23) Williams LR : *Exogenous fibrin matrix precursors stimulate the temporary progress of nerve regeneration within a silicone chamber*. Neurochem Res 1988

- 24) Liu HM : *Schwann cell properties. II. The identity of phagocytes in the degenerating nerve. Am J Pathology* 1974 : 75 : 395
- 25) Thomas PK : *The cellular response to nerve injury. 1. The cellular outgrowth from the distal stump of transected nerve. J Anatomy* 1966 : 100 : 287
- 26) Ide C, Tohyama K, Yokota R, Nitatori T, Onodera S : *Schwann cell basal lamina and nerve regeneration. Brain Res* 1983 : 288 : 61
- 27) Cabaud HE, Rodkey WG, Nemeth TJ : *Progressive ultrastructural change after peripheral nerve transection and repair. J Hand Surgery* 1982 : 7 : 353

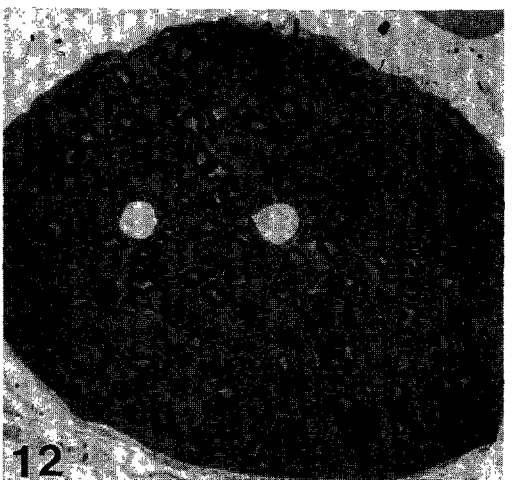
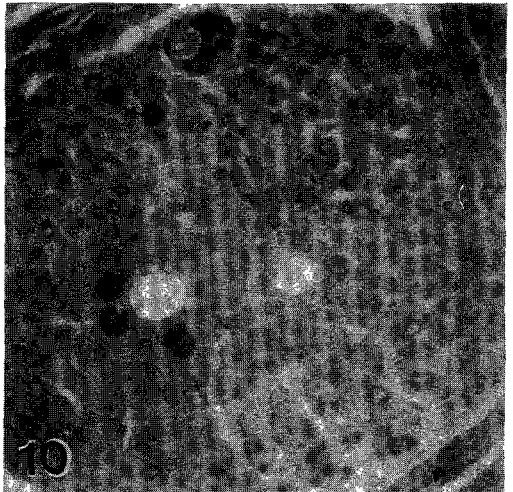
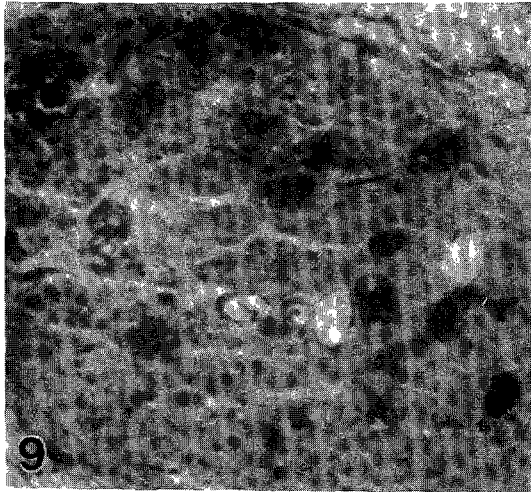
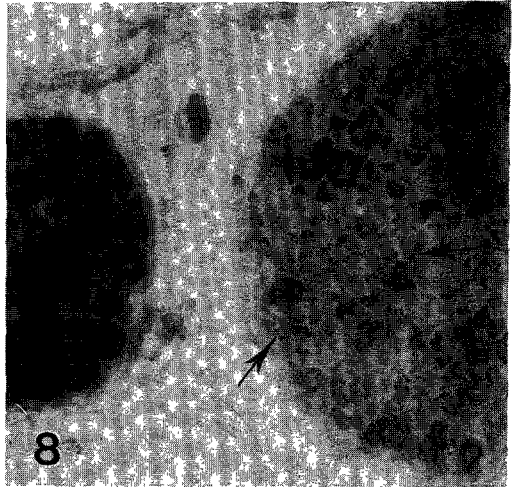
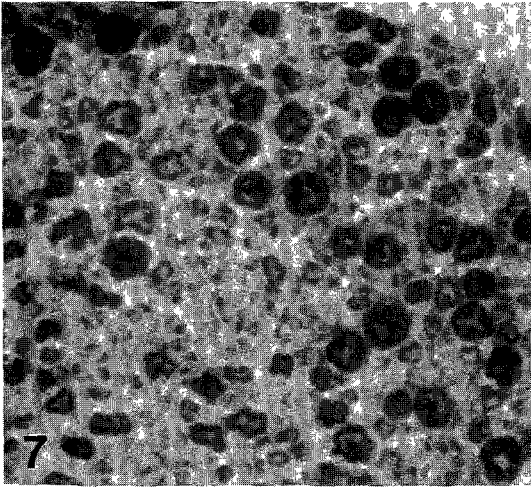
□ Legend of Figures □

- Fig. 2. Vascularized nerve graft shows femoral nerve with vasa nervorum.
- Fig. 3. Non-vascularized nerve graft.
- Fig. 4. a & b. Isolated femoral nerve with India ink perfusion. Arrow indicates a longitudinal capillaries in the nerve.
- Fig. 5. Cross section of vascularized nerve graft at postoperative 1 day. India ink fills vessels completely (arrow). (400×)
- Fig. 6. Cross section of non-vascularized nerve graft at postoperative 1 day. No filling is observed (arrow). (400×)
- Fig. 7. Transverse semithin section of femoral nerve at 2 weeks after vascularized nerve graft. Myelin sheath shows irregular lumpy appearance with swelling. (400×)
- Fig. 8. Vascularized nerve graft after 4 weeks shows marked swelling of thick myelin sheath in the small fascicle. Small and very thinly myelinated fibers in the larger fascicle suggest regeneration (arrow). (400×)
- Fig. 9. Non-vascularized nerve graft after 4 weeks shows Wallerian degeneration with scattered myelin debris forming round masses. (400×)
- Fig. 10. Non-vascularized nerve graft 12 weeks shows epineureal fibrosis and decreased numbers of myelinated nerve fiber compare to control. Diameter of myelinated nerve fibers are very small. (400×)
- Fig. 11. 12 week after vascularized nerve graft showing epineureal fibrosis and small regenerating nerve fiber. Numbers of small and thinly myelinated fiber were increased but less than control. (400×)
- Fig. 12. Section of control group shows thick and thin myelinated fibers in the fascicle. (400×)
- Fig. 13. Electron microscopic finding of 12 weeks after vascularized nerve graft. Small regenerating myelinated fiber have thin Lamellae. Numerous unmyelinated axons are note. (7000×)
- Fig. 14. 12 weeks after vascularized nerve graft. Regenerating myelin sheath is surrounded with basal lamina of Schwann cell. (20000×) A : axon, S : Schwann cell.
- Fig. 15. Electron microscopic finding at 2 weeks after vascularized nerve graft shows degrading myelin sheaths and vacuoles in the basal lamina (40000×)
- Fig. 16. Electron microscopic finding at 2 weeks after non-vascularized nerve graft. Myelinated and unmyelinated axons are degenerated. Note myelin debris in cytoplasm of macrophage (arrow). (6000×)

□ 이해성 논문 사진부도 ① □



□ 이혜성 논문 사진부도 ② □



□이혜성 논문 사진부도 ③ □

