

Journal of Korean Society of Spine Surgery



Anatomical and Pathophysiological Features of Cauda Equina

Do-Yeon Kim, M.D., Kwang-Bok Lee, M.D.

J Korean Soc Spine Surg 2013 Dec;20(4):210-214.

Originally published online December 31, 2013;

<http://dx.doi.org/10.4184/jkss.2013.20.4.210>

Korean Society of Spine Surgery

Department of Orthopedic Surgery, Inha University School of Medicine

#7-206, 3rd ST. Sinheung-Dong, Jung-Gu, Incheon, 400-711, Korea Tel: 82-32-890-3044 Fax: 82-32-890-3467

©Copyright 2013 Korean Society of Spine Surgery

pISSN 2093-4378 eISSN 2093-4386

The online version of this article, along with updated information and services, is
located on the World Wide Web at:

<http://www.krspine.org/DOLx.php?id=10.4184/jkss.2013.20.4.210>

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Anatomical and Pathophysiological Features of Cauda Equina

Do-Yeon Kim, M.D., Kwang-Bok Lee, M.D.

*Department of Orthopedic Surgery, Chonbuk National University School of Medicine,
Biomedical Research Institute, Chonbuk National University Hospital, Jeonju, Korea*

Study Design: Review of literature on anatomical and pathophysiological features of cauda equina.

Objectives: To look into the anatomical and pathophysiological features of cauda equina and support their basic knowledge of treating cauda equina syndrome.

Summary of Literature Review: Cauda equina has different anatomical and pathophysiological features to peripheral nerve.

Materials and Methods: Review of literature.

Results: When compressing to cauda equina, the pathophysiologic mechanism develop as follows; increasing the vascular permeability of nerve root, intraneural edema, and subsequent blood and nutritional impairment. Nerve root injury develops through this pathophysiologic mechanism.

Conclusions: Cauda equina has an extensive arteriovenous anastomosis and gauze-like pia mater, which supply blood and nutrition to it. These anatomical features prevent it from complete cauda equina syndrome when compressing to it under arterial blood pressure.

Key Words: Cauda equina, Anatomy, Pathophysiology

서론

마미 증후군은 요배부 통증, 하지 방사통, 하지의 근력약화, 말안장 감각저하 (saddle hypesthesia), 대소변 기능 장애를 증상으로 보이는 질환으로, 추간판 탈출증, 외상, 척추관 협착증, 종양, 감염, 동정맥 기형, 경막내,외 혈종, 의인성의 다양한 원인에 의해 발생할 수 있다. 이 중 의인성이 아닌 경우에는 발생 원인에 따라 적절한 치료 방법을 선택하면 된다.

그러나 드물게 발생하지만 수술 중 특별히 신경을 손상 시킬 만한 조작이 없었음에도 불구하고, 술 후에 마미증후군 (cauda equina syndrome)이 발생하게 되면, 수술자는 당황하게 되며, 이의 원인이 무엇인지에 대해서 알아보려 많은 고민을 하게 된다. 알려진 원인들로는 수술 중에 경막을 과도하게 견인을 한 경우, 혈종에 의한 경막의 광범위한 압박, 수술 중 과도한 실혈에 의해 저혈압이 지속되는 경우들을 생각해 볼 수 있다.

그러나 이러한 일반적 원인들이 마미 신경의 어떠한 해부학적, 병태생리학적 특징들에 의해 발생되었는지에 대해서는 외과 의사들은 별다른 관심이 없는 것 같다. 이에 저자들은 마미 신경의 해부학적 및 병태생리학적 특징을 알아보고, 이를 통해 마미 증후군의 예방 및 치료 시 이러한 특징들을 고려해 적절한 치료 방법의 선택에 도움을 주고자 한다.

어느 정도의 압박에서 마미 증후군이 발생하는가? (병태생리학적 측면)

마미 신경에 대한 압박의 정도와 신경 손상에 대한 많은 동물 실험의 결과들이 보고되고 있지만,¹⁻¹¹⁾ 그 중에서 중요한 내용을 정리해 볼 필요가 있다. 첫째, Pedowitz RA et al¹⁰⁾의 돼지를 이용한 압박에 의한 신경기능의 변화에 대한 연구이다. 이 연

Received: December 21, 2012

Revised: March 8, 2013

Accepted: September 12, 2013

Published Online: December 31, 2013

Corresponding author: Kwang-Bok Lee, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, Chonbuk National University School of Medicine, Chonbuk National University Hospital, 634-18 Keumam-dong Deokjin-gu, Jeonju-shi, Jeonbuk 561-712, Korea

TEL: 82-63-250-2658, **FAX:** 82-63-271-6538

E-mail: osdr2815@naver.com

"This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited."

구는 돼지의 요추 경막에 0, 50, 100, 200mmHg의 다양한 압력을 2시간에서 4시간에 걸쳐 압박을 가한 후 신경 기능의 변화를 보았을 때, 0-50mmHg의 압력이 가해졌을 때 신경 전도 (nerve conduction)에 유의한 결손을 보이지 않았고, 100-200mmHg의 압력이 가해졌을 때 심각한 신경 전도의 손상을 보였다고 보고하며, 이를 통해 수축기 동맥 혈압 정도 또는 그 이상의 압력이 가해지게 되면 신경손상이 심각하게 일어남을 알 수 있다. 둘째, Olmarker 등⁴⁻⁷⁾의 돼지를 이용하여 다양한 압력을 마미 신경에 가했을 시, 마미 신경에 분포하는 세동맥 (arteriole), 모세혈관 (capillary), 세정맥 (venule)의 혈류 측정에 대한 연구이다. 세동맥의 혈류는 평균 동맥혈압 정도의 압박이 가해졌을 때 혈류가 차단이 되었고, 모세혈관의 혈류는 세정맥의 혈류 상태에 따라 다르게 나타났으며, 세정맥의 혈류는 5-10mmHg 정도의 작은 압력에서도 혈류가 차단되었다. 또한 50mmHg 정도의 압력이 2분정도만 가해져도 세정맥의 혈류가 차단이 되어 세정맥내 혈압이 증가하게 되고, 이는 세정맥내에서 혈관투과성 (vascular permeability)이 증가하게 되고 이러한 증가는 신경내 부종 (intraneural edema)을 초래하게 되어 신경으로 가는 모세혈관의 혈류 (endoneurial capillary blood flow)를 차단하게 되고, 이는 신경으로의 영양공급 (nutrition)을 감소시키게 되는 악순환을 일으킨다. 더군다나 영양공급 측면에서 보면 매우 낮은 압력인 10mmHg 이하의 압력에서도 뇌척수액으로부터 확산에 의한 영양공급 과정이 손상 받음을 알 수 있다. 즉, 신경에 가해지

는 압력이 매우 적은 경우 (10mmHg이하) 동맥으로부터의 혈류 공급은 이루어지나, 세정맥의 혈류가 차단되고 이를 통해 혈관 투과성이 증가하게 되어 신경 부종이 초래가 되고 이는 뇌척수액으로부터의 영양공급 과정의 손상을 일으키게 되어 최종 신경 손상의 과정을 일으킬 수 있다. 그러나 높은 압력 (200mmHg)이 신경에 압박력으로 작용해도 신경의 일정 부분에서는 영양공급이 이루어짐이 관찰되어, 다행스럽게도 아무리 높은 압력이 신경에 가해져도 영양공급이 일정부분 이루어지므로 완전한 신경 손상이 발생하는 것은 드문 것 같다. 셋째, Takahashi 등¹¹⁾의 돼지를 이용한 신경내 혈류 (intraneural blood flow) 측정에 관한 연구이다. 이는 신경에 가해지는 압력의 변화에 대한 신경내의 혈류 변화를 측정한 연구이다. 매우 적은 압력인 10mmHg의 압력만 가해져도 신경내의 혈류가 64% 정도 감소하게 되고, 평균 동맥혈압보다 10-20mmHg정도 적은 압력에서 완전한 허혈상태 (total ischemia)가 되며, 한 부위의 신경 압박보다는 두 부위에서 신경 압박이 있을 때, 적은 압력에서도 두 부위에서 압박 받은 부위 사이에 있는 신경에서는 심각한 혈류의 감소를 보인다. 이는 고령의 척추관 협착증 환자에서 흔히 보이는 다분절 압박 병변에서 심한 압박이 없어도 마미 증후군이 발생할 수 있는 기전을 설명할 수 있는 연구이다. 즉 우리가 다분절 척추 협착증 환자에서 추간판 파열이 동반되었을 때, 이의 추간판 제거술 시 경막을 견인하는 과정에서 가급적 적은 힘으로 견인을 해야할 필요성에 대해서 설명할 수 있는 연구이다.

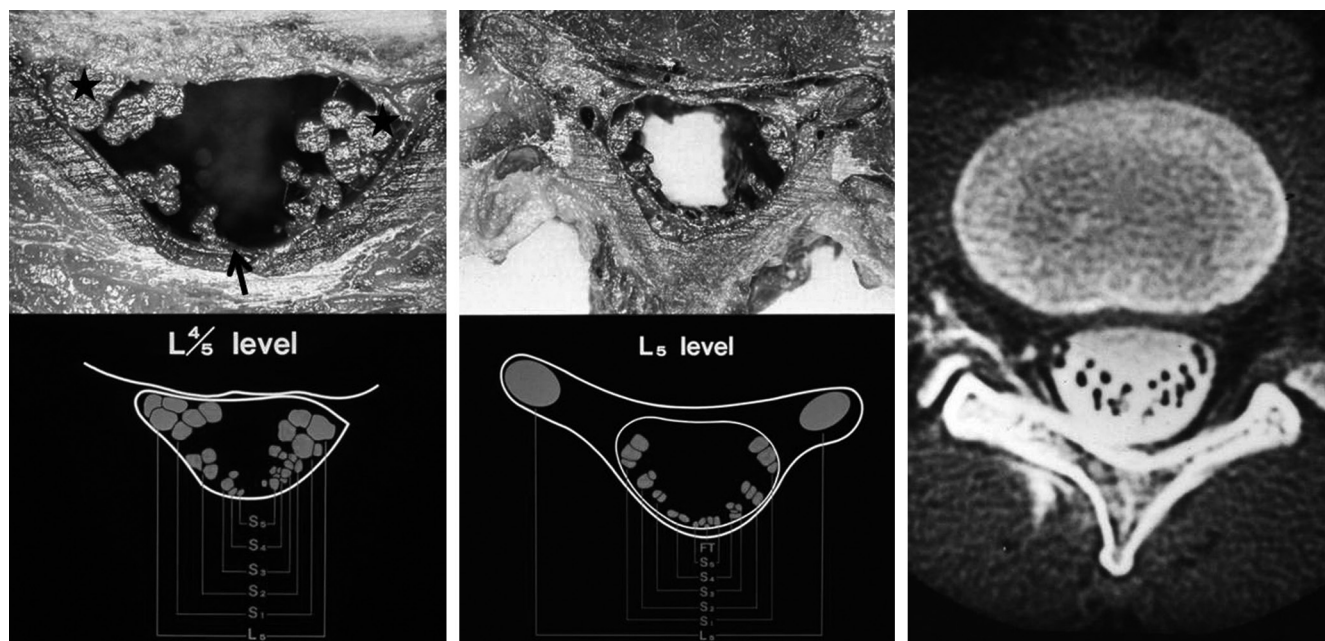


Fig. 1. Intradural arrangement of cauda equina. The most caudal roots (black arrow) is located in central and posterior position, and the most cephalad roots (asterix) is located in lateral and anterior position. In addition, motor fiber is located in medial and anterior to sensory fiber (Photography by Shinich Kikuchi, MD, PhD).

정리하면 신경에 압박이 가해지면 세동맥, 모세혈관, 세정맥으로 가는 혈류의 차단에 의해 혈류공급이 손상이 된다. 또한 혈관 투과성이 증가하게 되어 신경내 부종을 초래하게 되며, 이는 다시 신경내 모세혈관의 혈류를 차단하게 되어 결국 신경으로 가는 영양공급을 감소시켜 신경손상을 일으키는 악순환 과정을 일으키게 된다.

왜 마미 신경은 쉽게 손상 받을 수 있는가? (해부학적 측면)

마미 신경은 척수 원추 (conus medullaris)로부터 내려오는 신경근을 말하며, 모두 11쌍으로 구성되어 있고, 요추 2번 정도에서 시작되어 천추 2번 정도의 부위까지 경막 내에 위치한다. 천추 2번 아래에서는 경막이 끝나게 되고 외종사 (filum terminale externum)에 의해 미골에 연결이 되어 있다. 경막하 공간 (subdural space)에는 약간의 장액성 액체만이 존재하고, 지주막하 공간 (subarachnoid space)에 뇌척수액 (cerebrospinal fluid, CSF)이 존재한다. 마미 신경의 경막 내 위치는 예측 가능한 배열을 보이는데, 절단면상 (transverse image)에서 중심 및 후방부 (central and posterior)에 가장 먼 곳의 (미측) 신경근이 위치하고, 외측 및 전방부 (lateral and anterior)에 가장 가까운 (두측) 신경근이 위치하여, 경막 내 신경근의 위치를 예측할 수 있다. 즉, 제 4-5 요추간판 탈출증 또는 척추관 협착증의 수술 시 경막 내의 신경 배열 상태는 외측면 및 전방부에는 제 5요추 신경근, 그 바로 내측 및 후방부는 제 1 천추 신경근, 제 2 천추 신경근, 제 3 천추 신경근, 중심 및 최 후방부에는 제 4 천추 신경근이 존재하게 된다 (Fig. 1). 그러므로 제 4-5 요추 협착증 수술 중 후방부의 경막 열상 시 노출되거나 탈출되는 신경근은 제 4 천추 신경근일 가능성이 높고, 제 4-5 추간판 탈출증 수술 중 경막 열상이 되어 노출 또는 탈출되는 신경근은 제 5 요추 신경근일 가능성이 높다.

마미 신경은 경막 내 뇌척수액에 떠 있는 구조이므로, 신경 주변에 결합조직과 지방조직이 없고, 각 신경섬유가 얇은 수막 (pia mater)에 의해 싸여 있으며, 혈거운 조직으로 배열되어 있어 요추부의 넓은 운동범위와 일치하게 되어, 요추부 운동범위 내에서 신경의 신장과 단축 등의 현상에 의한 신경 손상 없이 좋은 운동성을 제공하지만, 반대로 이런 구조로 인해 추간판이나 두꺼워진 황색인대와 같은 압박 병변에 의해 쉽게 손상을 받을 수 있다. 또한 말초신경과 다르게 신경주막 (perineurium), 신경외막 (epineurium), 신경내막 (endoneurium)이 없어서 일정 압박 병변에 의해 쉽게 신경내 부종을 일으켜 신경의 영양공급에 지장을 초래할 수 있어 말초 신경에 비해 쉽게 신경 손상이 일어나는 구조를 가지고 있다 (Fig. 2).

마미 신경이 쉽게 손상 받을 수 있음에도 불구하고 마미 증후군이 드물게 발생하는 이유는? (혈액 공급 및 영양 공급 측면)

척수나 척수 원추부는 1개의 전척수 동맥, 2개의 후척수 동맥에 의해 주로 혈액 공급이 되고, 그 외에도 수질 동맥 (medullary artery), 신경근 동맥 (radicular artery), 분절동맥 (segmental

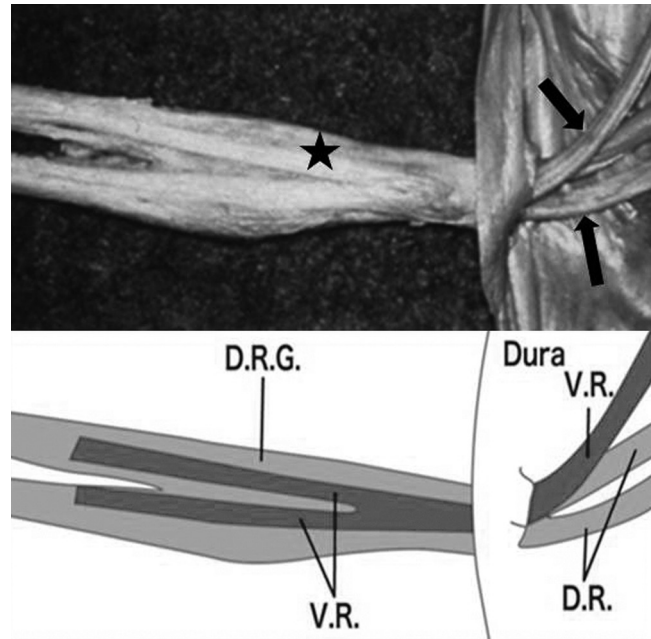


Fig. 2. Photo showing the differences between spinal nerve root (asterix) and cauda equine (black arrows). Cauda equina has no connective tissue, adipose tissue, perineurium, epineurium, and endoneurium (VR: ventral root, DR: dorsal root, DRG: dorsal root ganglion, Photography by Shinichi Kikuchi, MD, PhD).

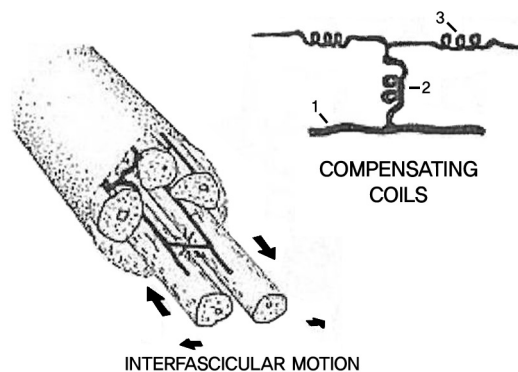


Fig. 3. Inter- and intrafascicular arteries showing compensating coils to allow inter-fascicular movement (1: Radicular artery, 2: interfascicular artery, 3: intrafascicular artery). Cited from Parke WW, Watanabe R, Spine (Phila Pa 1976). 1985;10:508-15.

artery)에 의해 공급이 된다. 이에 반해 마미 신경의 혈액 공급은 척수 원추부 하부인 마미의 근위부는 전 척수 동맥, 마미의 원위부는 근위 신경근 동맥 (proximal radicular artery)에 의해 이루어진다.¹²⁾ 또한 특징적으로 신경근 동맥 (radicular artery)와 신경근 정맥 (radicular vein) 사이에 광범위한 동정맥 문합 (arteriovenous anastomoses)과 T-shaped coil 모양을 가지고 있어서 (Fig. 3), 요추부의 운동 과정 중 혈관이 신장되게 되는 경우 꼬여 있는 혈관의 모양에 의해 혈관이 늘어나 혈관의 내경이 좁아지지 않고 유지되게 되어 혈류 차단이 발생하지 않게 된다.¹³⁾ 더군다나 마미 신경은 신경주막, 외막, 내막 없이 단지 거즈 같이 망상 구조의 얇은 막 (gauzelike pia-arachnoid sheath)으로 덮혀 있어서 (Fig. 4), 주변의 뇌척수액으로부터 영양공급의 50%를 확산 (Diffusion)에 의해 받게 되는 구조를 가지게 되어,¹³⁾ 어느 정도의 압박 병변이 발생해도 압박부위 근위부와 원위부에서 이러한 특징적 혈액 및 영양공급으로 인해 신경에 혈류 및 영양 공급이 완전하게 차단되어 발생하는 완전 마미 증후군이 발생하기 어려운 해부학적, 혈액학적 특징을 가지고 있다.

결론

마미 증후군의 발생 기전은 마미 신경을 압박하는 병변이 발생하면 혈관투과성이 증가하게 되어 신경내 부종을 초래하게 되고 이로 인해 혈액 및 영양 공급이 차단되어 신경 손상을 일으키게 된다. 그러나 마미 신경은 뇌척수액을 통한 확산과정과 수많은 동정맥 문합 등의 혈액 및 영양 공급의 해부학적 특징을 가지

고 있어서 수축기 혈압 압력 이하의 압박 병변에서는 마미 신경 증후군이 쉽게 발생하지 않는 특징을 가지고 있다.

REFERENCES

1. Konno S, Olmarker K, Byrod G, Rydevik B, Kikuchi S. Intermittent cauda equina compression: an experimental study of the porcine cauda equina with analyses of nerve impulse conduction properties. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1995;20:1223-6.
2. Konno S, Yabuki S, Sato K, Olmarker K, Kikuchi S. A model for acute, chronic and delayed graded compression of the dog cauda equina. Presentation of the gross, microscopic and vascular anatomy of the dog cauda equina and accuracy in pressure transmission of the compression model. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1996;20:2758-64.
3. Olmarker K, Rydevik B. Single versus double level nerve root compression: an experimental study on the porcine cauda equina with analyses of nerve impulse conduction properties. *Clin Orthop*. 1992;279:35-9.
4. Olmarker K, Rydevik B, Hansson T, Holm S. Compression-induced changes of the nutritional supply to the porcine cauda equina. *J Spinal Disord*. 1990;3:25-9.
5. Olmarker K, Rydevik B, Holm S. Edema formation in spinal nerve roots induced by experimental, graded compression. An experimental study on the pig cauda equina with special reference to differences in effects between rapid and slow onset of compression. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1989;14:569-73.
6. Olmarker K, Rydevik B, Holm S, Bagge U. Effects of experimental graded compression on blood flow in spinal nerve roots. A vital microscopic study on the porcine cauda equina. *J Orthop Res*. 1989;7:817-23.
7. Olmarker K, Takahashi K, Rydevik B. Anatomy and compression-pathophysiology of the nerve roots of the lumbar spine. In: Anderson, G.B.J., MacNeill, T. (Eds.), *Spinal Stenosis*. St. Louis, Mosby Year Book: 1992,77-90.
8. Orendacova J, Cizkova D, Kafka J, et al. Cauda equina syndrome. *Progress in Neurobiology*. 2011;613-37
9. Yonetake T, Sekiguchi M, Konno S, Kikuchi S, Kanaya F. Compensatory Neovascularization After Cauda Equina Compression in Rats. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2008;33:140-5.

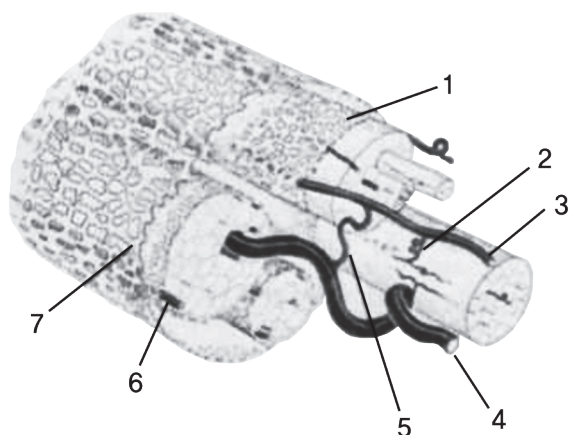


Fig. 4. Graphic compilation showing the structure of a typical lumbosacral nerve root derived from data obtained by injection studies. 1. Fascicular pia; 2. Inter- and intrafascicular arteries 3. Longitudinal radicular artery; 4. Large radicular vein; 5. Arteriovenous anastomosis; 6. Collateral radicular artery; 7. Gauzelike pia-arachnoid that permits percolation of CSF to assist in metabolic support. Cited from *The Spine Fifth Ed*. Page 49 Figure 2-42.

10. Pedowitz RA, Garfin SR, Massie JB, et al. Effects of magnitude and duration of compression on spinal nerve root conduction. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1992;17:194-9.
11. Takahashi K, Olmarker K, Holm S, Porter RW, Rydevik B. Double-level cauda equina compression: an experimental study with continuous monitoring of intraneural blood flow in the porcine cauda equina. *J. Orthop. Res.* 1993;11:104-9.
12. Parke WW, Gammel K, Rothman RH. Arterial vascularization of the cauda equine. *J Bone Joint Surg Am.* 1981;63:53-62.
13. Parke WW, Watanabe R. The intrinsic vasculature of the lumbosacral spinal nerve roots. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1985;10:508-15.

마미 신경의 해부학적 및 병태생리학적 특징

김도연 • 이광복

전북대학교 의학전문대학원 정형외과학교실, 전북대학교병원 정형외과, 의생명연구원

연구 계획: 마미 신경의 해부학적 병태생리학적 특징에 대한 문헌 고찰

목적: 마미 신경의 해부학적 병태생리학적 특징을 알아보고 마미 증후군을 치료하는데 있어서 기초적인 지식을 제공하고자 한다.

선행문헌의 요약: 마미 신경은 말초 신경과 다른 해부학적 병태생리학적 특징을 가지고 있다.

대상 및 방법: 문헌 고찰

결과: 마미 신경이 압박 될 때 병태생리학적 기전은 신경의 혈관 투과성 증가, 신경내 부종, 혈액 및 영양 공급 장애가 나타난다. 신경근 손상은 이러한 병태생리학적 기전을 통해 일어난다.

결론: 마미 신경은 많은 동정맥 문합과 망상구조의 수막으로 되어 있어 혈액 및 영양 공급이 잘 이루어 진다. 이러한 해부학적 특징으로 인해 압박력이 동맥혈압 이하로 적용된다면 완전한 마미 증후군이 발생하지 않게 된다.

색인 단어: 마미 신경, 해부학, 병태생리학

약칭 제목: 마미증후군의 해부학적 특징