

## 신경인성 흉곽출구증후군 진단의 논란점

김두환<sup>1</sup>, 성덕현<sup>2</sup>

<sup>1</sup>계명대학교 의과대학 동산의료원 재활의학교실, <sup>2</sup>성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 재활의학교실

### Controversy over the Diagnosis of Neurogenic Thoracic Outlet Syndrome

Du Hwan Kim<sup>1</sup>, Duk Hyun Sung<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Rehabilitation Medicine, Dongsan Medical Center, School of Medicine, Keimyung University, Daegu, <sup>2</sup>Department of Physical and Rehabilitation Medicine, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, Korea

Thoracic outlet syndrome (TOS) is a heterogeneous group of disorders arising from compression of one or more neurovascular elements from base of neck to the axilla. Many literatures consider true neurogenic and disputed TOS to be a type of neurogenic TOS. True neurogenic TOS is a rare disease with prevalence of 1 per million. True neurogenic TOS has typical clinical manifestations reflecting T1>C8 pattern of nerve fiber involvement. However, disputed TOS is poorly understood and one of most controversial pain syndrome. Many neuromuscular physicians do not accept the existence of disputed TOS, but thoracic surgeons claim that disputed TOS is under-diagnosed. In this review, we describe the characteristics of true neurogenic and disputed TOSs and discuss the controversies of disputed TOS from a skeptical view.

**Key Words:** brachial plexus, entrapment neuropathy, thoracic outlet syndrome

### 서론

흉곽출구증후군(thoracic outlet syndrome)은 경추 신경간공 외측에서부터 겨드랑이까지의 신경 및 혈관구조물의 압박으로 나타나는 임상 증상을 아우르는 임상 진단명이다.<sup>1</sup> 그 중 신경압박으로 나타나는 임상 양상을 신경인성 흉곽출구증후군으로 말할 수 있으며, 이는 일종의 포착신경병

증(entrapment neuropathy)이다. 상지에서 흔히 발생하는 포착신경병증인 수근관증후군(carpal tunnel syndrome)은 병태생리, 임상양상, 및 치료에 대해 잘 밝혀진 데 반해, 흉곽출구증후군은 드문 질환일 뿐만 아니라, 병태생리 및 진단 과정에서 애매모호한 점이 있다. 그럼에도 불구하고, 최근 10년간 발행된 포착증후군에 관한 논문 중 흉곽출구증후군의 논문은 수근관증후군에 이어 두 번째로 많았다.<sup>2</sup> 이는 흉곽출구증후군의 논란을 반영한 결과로 판단된다. 따라서, 본 논문에서는 신경인성 흉곽출구증후군의 특성을 기술하고, 신경인성 흉곽출구증후군과 관련된 논란점에 대해 비판적인 시각에서 고찰하기로 한다.

Received November 1, 2017

Accepted November 9, 2017

Corresponding Author: Du Hwan Kim

Department of Rehabilitation Medicine, Dongsan Medical Center, School of Medicine, Keimyung University, 56 Dalseong-ro, Jung-gu, Daegu 41931, Korea

Tel: 82-53-250-7477, Fax: 82-53-250-7205, E-mail: ripheonix@dsmc.or.kr

## 본 론

### 1) 흉곽출구증후군의 역사적 배경과 분류

1903년 Thomas와 Cushing은 수술적 처치를 시행한 목갈비뼈(cervical rib)와 연관된 상완신경총병증을 기술하였는데, 이를 목갈비뼈증후군(cervical rib syndrome)으로 명명하였다.<sup>3</sup> 같은 해 Bramwell이 정상적으로 관찰되는 첫번째 갈비뼈에 의한 신경압박을 보고하면서 first thoracic rib syndrome으로 기술하였다.<sup>4</sup> 이후 특정한 자세에 의해 신경혈관구조물의 압박 증상이 유발되는 전사각근증후군(scalene anticus syndrome), 갈비빗장증후군(costoclavicular syndrome), 및 오구하 소흉근증후군(subcoracoid-pectoralis minor syndrome)이 추가 기술되었다. 1956년 Peete 등이 이 다섯 가지 진단명을 묶어 흉곽출구증후군으로 기술하였다.<sup>5</sup> 1970년 Gilliatt 등이 목갈비뼈증후군의 임상 양상, 전기생리학적 소견, 영상 소견 등을 자세히 기술하였다.<sup>6</sup> 1984년 Willbourn이 손상받는 구조물에 따라 혈관성(vascular subtypes), 신경인성(neurologic subtypes), 신경혈관성(neurovascular subtypes), 근골격계성(musculoskeletal subtypes)으로 흉곽출구증후군을 분류하였다.<sup>7</sup> 이후 2001년에는 동맥혈관성(arterial vascular), 정맥혈관성(venous vascular), 진성신경인성(true neurologic), 외상성 신경혈관성(traumatic neurovascular), 비특이성(disputed)으로 분류하기도 하였다.<sup>8</sup>

한편 1960년대 후반 액와접근 첫번째 갈비뼈 절제술(transaxillary first rib resection)이 고안되면서 흉부외과 혹은 혈관외과 의사들에 의한 흉곽출구증후군의 진단은 늘어나게 되었고, 진단된 환자의 대부분이 Willbourn 분류에 따른 비특이성 흉곽출구증후군에 해당되는 것으로 추정된다.<sup>9</sup> 비특이성 흉곽출구증후군은 명확한 진단 기준이 없다는 점에서 그 존재에 대한 논란이 이어져 오고 있으나, 많은 문헌들에서 신경인성 흉곽출구증후군의 한 아형으로 분류되는 경향이 있다. 1999년 흉부외과 의사인 Roos는 수술 경험을 바탕으로, 흉곽출구증후군은 저평가되고 있다고 주장하였으나,<sup>10</sup> Willbourn은 비특이성 흉곽출구증후군은 객관적인 진단기준이 없기 때문에 무분별하게 수술적 처치를 적용할 수 없다고 주장하였다.<sup>11</sup> 이런 논란에도 불구하고, 비특이성 흉곽출구증후군에 대한 진단기준은 아직까지 제시되지 못하고 있으나, 임상현장에서는 많은 진단이 이루어지고 있고, 대증적 운동치료, 보툴리눔 독소 주사 치료, 다양한 수술

이 행해지고 있다.<sup>12</sup>

### 2) 진성 신경인성 흉곽출구증후군(True neurogenic thoracic outlet syndrome)

#### (1) 역학

진성 신경인성 흉곽출구증후군은 약 백만 명당 한 명 정도 유병율을 가지는 매우 드문 질환으로 알려져 있다.<sup>13</sup> Tsao 등의 Cleveland 병원 자료에 의하면 1975~2008년에 시행된 전기생리검사 데이터베이스에서 확인된 진성 신경인성 흉곽출구증후군은 29명으로 보고하고 있는 바, 매우 드문 질환임을 미루어 짐작할 수 있다.<sup>14</sup> 증상 발현 시기는 대부분 청장년기이며, 여성(94%)의 빈도가 훨씬 많은 것으로 보고하고 있는데, 이는 목갈비뼈의 빈도가 여성에서 흔히 관찰되는 것과 연관이 있을 것으로 생각되고 있다. 목갈비뼈의 유병률이 0.5~2%인 점을 감안하면, 목갈비뼈를 가진 사람 매 2만~8만 명당 한 명이 진성 신경인성 흉곽출구증후군에 이환될 확률을 가진다.<sup>15</sup> 따라서, 목갈비뼈를 가진 사람 대부분은 무증상이다. 그러나, 임상 증상과 전기생리검사상 하부상완신경총병증(lower brachial plexopathy)을 시사할 때는 목갈비뼈가 병소일 가능성이 높아진다.

#### (2) 병태생리

첫번째 갈비뼈와 C7 사이를 연결하는 딱딱한 섬유띠에 의해 하부 상완신경총(lower plexus)이 신전(stretching) 혹은 상방으로 각형성 되면서 발생하게 된다. 섬유띠는 정상적인 C7에서 발생할 수도 있으나, 한 보고에 의하면 수술로 확인된 29명 환자를 분석하였을 때, C7 뼈 변이(목갈비뼈 혹은 긴 횡돌기)가 23명에서 관찰되었다.<sup>14</sup> 또한 Roos는 섬유띠를 세가지 형태로 기술하기도 하였는데, 제1형은 불완전한 목갈비뼈로부터 연장된 경우, 제2형은 비후된 횡돌기로부터 연장된 경우, 제3형은 첫번째 갈비뼈 사이를 연결하는 경우를 말한다.<sup>15</sup> 섬유띠와 상완신경총이 접하는 위치는 아래줄기부위(lower trunk level)의 근위부보다는 C8, T1의 전방일차가지(anterior primary rami)의 원위부에서 흔하다. 섬유띠가 보통은 T1 전방일차가지(anterior primary rami) 하방에 위치하기 때문에, T1 신경근이 C8 신경근보다는 더 손상받기 쉽다.<sup>9</sup>

#### (3) 임상양상

전형적인 증상은 진행성 수부 근위약 및 근위축이다. 증상은 서서히 발생하게 되고, 통증 및 감각이상보다는 운동 증상이 더 현저하기 때문에, 환자들은 수부 근위약이 많이 진행된 상태로 병원을 찾게 된다. 근위약의 양상은 C8 신경근

지배 근육보다는 T1 신경근 지배 근육의 근위축이 현저해서, 갈퀴손 변형보다는 엄지두덩위축이 흔하다. 감각 증상은 운동 증상과 마찬가지로 C8 피부분절(손가락 내측)보다는 T1 피부분절(상완 내측)에 더 빈번하게 나타나며, 환자들은 간헐적 통증 및 이상 감각을 호소한다.

#### (4) 전기진단학적 특징

Tsao 등은 수술로 확진된 32명의 진성 신경인성 흉곽출구증후군의 전기진단학적 특징을 정리하였다.<sup>14</sup> 운동신경전도 검사에서는 엄지두덩에 기록한 정중신경의 복합근육활동전위의 진폭 감소가 97%에서, 새끼두덩에서 기록한 척골신경의 복합근육활동전위의 진폭 감소가 38%에서 관찰되었다.<sup>14</sup> 감각신경전도검사에서는 내측상완피신경(95%), 척골신경(78~86%), 배측척골피신경(71%)의 진폭감소가 흔히 관찰된다.<sup>14</sup> 이에 반해 둘째손가락에서 기록한 정중신경의 감각신경전도검사의 이상소견은 관찰되지 않았다. 침근전도의 결과는 약 절반의 환자에서 단무지외전근과 무지대립근의 섬유자발전위가 관찰되었고, 약 1/3 환자에서 첫째 골간근과 소지외전근의 섬유자발전위가 관찰되었다.<sup>14</sup> 정리하면, 전기진단학적 소견 역시 C8 신경근보다는 T1 신경근(신경절이후병변)의 현저한 손상을 반영한 결과로 판단된다.

#### (5) 영상학적 특징

단순방사선사진은 목갈비뼈 혹은 긴 횡돌기와 같은 C7 뼈변이를 확인하기 위해 시행하게 된다. 최근 자기공명영상의 기법이 발전함에 따라, 신경인성 흉곽출구증후군의 진단에 많이 이용되고 있다. 자기공명영상에서 섬유띠가 직접 확인되는 경우도 있으며, 섬유띠 압박에 의한 상완신경총의 이차적 변화, 즉 부종 및 신호강도 변화가 관찰되기도 한다.<sup>16-18</sup> 또한 전산화단층촬영 혈관조영술을 이용하여 쇄골하동맥의 이상 유무를 확인하여 신경압박을 판단하는데 간접적인 도움을 받기도 한다.<sup>19</sup> 쇄골하동맥의 국소 협착이나, 상방으로 각형성이 관찰될 때 진성 신경인성 흉곽출구증후군을 시사하는 소견이다.<sup>19</sup>

### 3) 비특이성 흉곽출구증후군(Disputed thoracic outlet syndrome)

#### (1) 용어 및 특성

비특이성(disputed) 흉곽출구증후군과 같은 의미로 nonspecific, aspecific, assumed, pejorative, symptomatic, subjective 흉곽출구증후군과 같은 다양한 용어가 사용되고 있으며,<sup>11</sup> 용어 사용의 통일화가 필요하다고 생각된다. 비특이성 흉곽출구증후군의 분류에 있어, 정확한 시점

은 알 수 없으나, 옹호론자들이 상완신경총의 역동적인 압박으로 증상이 생기는 것으로 설명하면서 신경인성 흉곽출구증후군으로 분류되기 시작하였다. 따라서 전체적인 흉곽출구증후군의 90% 이상이 신경인성 흉곽출구증후군이고, 신경인성 흉곽출구증후군의 대부분이 비특이성 흉곽출구증후군인 것으로 알려지고 있다.<sup>12</sup> 진성 신경인성 흉곽출구증후군과 마찬가지로 성인에서 발생하고, 여성에서 흔하다. 그러나, 진성 신경인성 흉곽출구증후군과 달리 양측 발생이 흔하다.

#### (2) 병태생리

비특이성 흉곽출구증후군의 존재 유무의 논란을 떠나서, 증상에 대한 기술이 애매모호하고, 문헌마다 달리 기술되기도 한다. 병태생리가 하나의 이론의 설명되지 못하고, 다양한 이론들이 제시되고 있다.<sup>12,20</sup> 첫째, 진성 신경인성 흉곽출구증후군과 같이 해부학적 변이와 연관되어 임상 증상이 발생할 수 있다고 설명한다. 둘째, 외상 후 사각근 주위의 섬유화로 인해 상완신경총의 신전 손상을 유발할 수 있다는 이론이 있다 셋째, 근육의 불균형, 자세 이상으로 인해 간헐적인 신경 압박 혹은 신전 손상을 유발할 수 있다고 설명한다. 다양한 원인에 의해 발생할 수 있기 때문에, 원인 병소를 객관화하는 것은 매우 힘들 수 있다. 따라서, 비특이성 흉곽출구증후군을 진단하기 위해서는 증상을 유발할 수 있는 모든 질환을 배제하여야 한다.

#### (3) 임상양상

흔히 상지 통증을 유발할 수 있는 경추부 신경뿌리병증, 수근관증후군, 척골신경병증의 전형적인 임상 양상을 따르지 않는 다양한 감각 증상을 나타낼 수 있다. 흔한 증상으로는 견갑골 내측 부위 통증, 겨드랑이 통증, 상완 및 전완 내측 부위 통증, 상지 무기력감, 제 4, 5수지 저림, 수부 냉감, 부종, 주관절인 근위약, 편두통, 안면부위 통증 등이다. 일반적으로 팔을 머리위로 드는 행위 혹은 어깨에 압력이 가해질 때 증상이 심해진다. 그러나 이학적 검사 혹은 신경학적 검사에서는 특이 소견은 관찰되지 않는다. 따라서, 비특이성 흉곽출구증후군은 일종의 통증 증후군이다.

특정 자세에 의해 증상이 심해지는 임상 특성을 이용하여, 진단에 있어 Adson, Wright, Halsted, 및 EAST (elevated arm stress test, Roos test), ULTT (upper limb tension test) 검사와 같은 다양한 이학적 유발검사들이 도움을 준다. Adson, Wright, Halsted 유발검사는 자세에 따른 요골동맥을 촉진하는 검사이고, 반면 EAST 혹은 ULTT는 자세에 따른 증상 유발 유무를 확인하는 검사이다. 가장 흔히 사용되는 검사는 EAST이며, 팔꿈치를 90도 굴곡시킨 상태에서 양

어깨를 90도 외전 및 외회전 시킨 상태에서, 2초 간격으로 주먹을 쥐고 펴는 동작을 3분 동안 시행하였을 때, 증상이 유발이 되면 양성으로 판정한다. 객관적인 신경학적 결손이 없는 환자에서 유발검사만으로 진단하는 것은 높은 위양성율을 나타내기 때문에, 진단에 있어 주위를 요한다.<sup>21</sup>

#### (4) 전기진단학적 검사의 의미

1972년 Urschel은 비특이성 흉곽출구증후군을 진단하기 위해 쇄골 상하방으로 척골신경의 운동신경전도검사를 시행하여 분절 속도가 85 m/s 이하이면 비정상이고, 60 m/s 이하이면 수술 대상이 된다고 보고하였다.<sup>22</sup> 그러나, 후속 연구들에서 이 방법은 민감도 및 특이도가 매우 낮은 검사로 밝혀졌고,<sup>23</sup> 1972년에 발행된 논문의 그림이 조작된 것으로 밝혀지면서,<sup>24</sup> 이 방법은 더 이상 흉곽출구증후군의 진단에 사용되지 않는다.

비특이성 흉곽출구증후군이 의심되는 환자에서 전기진단학적 검사는 중요한 의미를 가진다. 비특이성 흉곽출구증후군 환자는 전기진단검사에서 특이한 이상소견이 관찰되지 않지만, 감별진단의 도구로 유용하게 사용된다. 임상 양상이 비슷한 감별진단으로 진성 신경인성 흉곽출구증후군, 신경뿌리병증, 수근관증후군, 척골신경병증의 유무를 판단하는데 전기진단검사가 유용하다. 일부전문가 집단에서 전기진단검사 혹은 영상검사 없이, 임상양상 및 유발검사만으로 충분히 진단 가능하다고 주장하기도 한다. 그러나, 비특이성 흉곽출구증후군이 배제 진단인 점을 고려하면, 전기진단검사, 영상검사 및 면밀한 추적관찰을 포함하여 충분한 진단과정을 거치는 것이 바람직하다.

### 4) 신경인성 흉곽출구증후군 논란점

#### (1) 비특이성 흉곽출구증후군의 진단기준이 명확한가?

비특이성 흉곽출구증후군의 진단은 임상양상을 바탕으로 이루어진다. 최근에 발행된 논문에서도 일관된 진단 기준을 제시하지 못하고 있다.<sup>25-27</sup> 수술적 처치를 시행했던 대부분의 논문들에서는 수술 전 경추 및 흉부 단순방사선사진, 전기진단학적 검사, 전산화단층촬영 혈관조영술, 경추부 자기공명영상 등을 시행해서 구조적 이상 확인하고, 다른 질환을 감별하는 과정을 거친다고 기술하고 있다. 일부 논문에서는 국소마취제를 이용한 진단적 신경차단술이 진단에 도움을 주는 것으로 보고하고 있다.<sup>26</sup>

옹호론자들은 진단에 있어 유발검사가 매우 중요하다고 강조하고 있다. 그러나, 논문마다 사용되는 유발검사도 제각각이다. 유발검사 중 EAST 검사가 흔히 사용되는데, 이는

위양성율이 매우 높은 것으로 알려져 있다. 한 보고에 의하면 정상인 150명을 대상으로 유발검사를 시행하였을 때, 2분경 거의 모든 환자가 증상이 발생하였다.<sup>28</sup> 또한, EAST 검사에 시행되는 유발자세가 과연 상완신경총 하부의 긴장도(tension)를 높이는지에 대해서도 의문이다. 이 검사는 자세에 따른 동맥 폐쇄 유무를 확인하기 위해 1966년 Roos에 의해 고안되었다고 알려져 있는데,<sup>29</sup> 현재는 신경인성 흉곽출구증후군의 유발검사로 사용되고 있다. 이러한 이유로 비특이성 흉곽출구증후군의 진단에 많은 논란이 이어져 오고 있고, 이를 해소하기 위해서는 일관된 진단 기준이 제시되고, 이 기준에 따라 시행된 치료 성적이 제시되어야 할 것으로 판단된다.

#### (2) 비특이성 흉곽출구증후군이 진성 신경인성 흉곽출구증후군으로 진행되는가?

앞서 기술한 바와 같이, 비특이성 흉곽출구증후군은 외과 의사들에 의해 주로 진단되고 있다. 옹호론자들은 비특이성 흉곽출구증후군은 임상 양상이 진행하기 때문에, 수술적 처치의 당위성을 주장한다. 그러나, 아직까지 비특이성 흉곽출구증후군의 자연경과 및 보존적 치료의 장기 예후에 대한 보고는 거의 없다. Laulan은 30년간의 임상 경험에서 단 한명이 비특이성에서 진성 신경인성 흉곽출구증후군으로 진행되었다고 기술하였다.<sup>20</sup> 진성 신경인성 흉곽출구증후군은 약 백만 명당 한 명 정도의 유병율을 가지는 매우 드문 질환임을 감안하면,<sup>13</sup> 비특이성 흉곽출구증후군의 진행성 확률은 매우 낮을 것으로 미루어 짐작할 수 있다. 수술적 처치의 당위성이 인정되기 위해서는 보존적 치료와 수술적 치료의 무작위 배정을 통한 장기간 추적 관찰하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 결 론

신경인성 흉곽출구증후군은 진성 및 비특이성으로 분류할 수 있다. 진성 신경인성 흉곽출구증후군은 매우 드문 질환이며, 특징적인 근위약 및 전기진단학적 이상소견이 관찰된다. 반면 비특이성 흉곽출구증후군은 임상 양상과 유발검사로 진단되는 일종의 통증 증후군이다. 진단 기준이 명확하지 못한 면이 있기 때문에, 비특이성 흉곽출구증후군으로 성급하게 진단하기에 앞서, 영상검사, 전기진단학적 검사 및 면밀한 추적 관찰을 통해 여타 질환과의 감별이 중요하다.



## References

1. Ferrante MA, Ferrante ND: The thoracic outlet syndromes: Part 1. Overview of the thoracic outlet syndromes and review of true neurogenic thoracic outlet syndrome. *Muscle Nerve* 2017; 55: 782-793
2. Doneddu PE, Coraci D, De Franco P, Paolasso I, Caliendo P, Padua L: Thoracic outlet syndrome: wide literature for few cases. Status of the art. *Neurol Sci* 2017; 38: 383-388
3. Thomas HM, Cushing HG: Exhibition of two cases of radicular paralysis of the brachial plexus. One from the pressure of a cervical rib with operation. The other of uncertain origin. *Johns Hopkins Hosp Bull* 1903; 14: 315-319
4. Bramwell E: Lesion of the first dorsal nerve root. *Rev Neurol Psychiatry* 1903; 1: 236-239
5. Peete RM, Heriksen MD, Anderson TP: Thoracic outlet syndrome: evaluation of a therapeutic exercise program. *Mayo Clinic Proc* 1956; 31: 281-287
6. Gilliatt RW, Le Quesne PM, Logue V, Sumner AJ: Wasting of the hand associated with a cervical rib or band. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1970; 33: 615-624
7. Wilbourn AJ: Thoracic outlet syndrome. In: *Syllabus, Course D: Controversies in entrapment neuropathies*. Rochester, MN: American Association of Electromyography and Electrodiagnosis 1984: 28-38
8. Wilbourn AJ: 10 most commonly asked questions about thoracic outlet syndrome. *Neurologist* 2001; 7: 309-312
9. Ferrante MA: The thoracic outlet syndromes. *Muscle Nerve* 2012; 45: 780-795
10. Roos DB: Thoracic outlet syndrome is underdiagnosed. *Muscle Nerve* 1999; 22: 126-129
11. Wilbourn AJ: Thoracic outlet syndrome is overdiagnosed. *Muscle Nerve* 1999; 22: 130-136
12. Ferrante MA, Ferrante ND: The thoracic outlet syndromes: Part 2. The arterial, venous, neurovascular, and disputed thoracic outlet syndromes. *Muscle Nerve* 2017; 56: 663-673
13. Gilliatt RW: *Thoracic outlet syndrome*. 2nd ed. Philadelphia: W.B. Saunders: 1984: 1409-1924
14. Tsao BE, Ferrante MA, Wilbourn AJ, Shields RW: Electrodiagnostic features of true neurogenic thoracic outlet syndrome. *Muscle Nerve* 2014; 49: 724-727
15. Roos DB: Congenital anomalies associated with thoracic outlet syndrome. Anatomy, symptoms, diagnosis, and treatment. *Am J Surg* 1976; 132: 771-778
16. Baumer P, Kele H, Kretschmer T, Koenig R, Pedro M, Bendszus M, Pham M: Thoracic outlet syndrome in 3T MR neurography-fibrous bands causing discernible lesions of the lower brachial plexus. *Eur Radiol* 2014; 24: 756-761
17. Magill ST, Brus-Ramer M, Weinstein PR, Chin CT, Jacques L: Neurogenic thoracic outlet syndrome: current diagnostic criteria and advances in MRI diagnostics. *Neurosurg Focus* 2015; 39: E7
18. Cejas C, Rollan C, Michelin G, Nogues M: High resolution neurography of the brachial plexus by 3 Tesla magnetic resonance imaging. *Radiologia* 2016; 58: 88-100
19. Remy-Jardin M, Remy J, Masson P, Bonnel F, Debatselier P, Vinckier L, Duhamel A: Helical CT angiography of thoracic outlet syndrome: functional anatomy. *AJR Am J Roentgenol* 2000; 174: 1667-1674
20. Laulan J: Thoracic outlet syndromes. The so-called "neurogenic types". *Hand Surg Rehabil* 2016; 35: 155-164
21. Nord KM, Kapoor P, Fisher J, Thomas G, Sundaram A, Scott K, Kothari MJ: False positive rate of thoracic outlet syndrome diagnostic maneuvers. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 2008; 48: 67-74
22. Urschel HC, Jr: Management of the thoracic-outlet syndrome. *N Engl J Med* 1972; 286: 1140-1143
23. Cherington M: Letter: ulnar conduction velocity in thoracic-outlet syndrome. *N Engl J Med* 1976; 294: 1185-1186
24. Wilbourn AJ, Lederman RJ: Evidence for conduction delay in thoracic-outlet syndrome is challenged. *N Engl J Med* 1984; 310: 1052-1053
25. Caputo FJ, Wittenberg AM, Vemuri C, Driskill MR, Earley JA, Rastogi R, Emery VB, Thompson RW: Supraclavicular decompression for neurogenic thoracic outlet syndrome in adolescent and adult populations. *J Vasc Surg* 2013; 57: 149-157
26. Vemuri C, Wittenberg AM, Caputo FJ, Earley JA, Driskill MR, Rastogi R, Emery VB, Thompson RW: Early effectiveness of isolated pectoralis minor tenotomy in selected patients with neurogenic thoracic outlet syndrome. *J Vasc Surg* 2013; 57: 1345-1352
27. Yaseen Z, Baram A: Neurogenic thoracic outlet syndrome treatment by the supraclavicular approach. *Asian Cardiovasc Thorac Ann* 2014; 22: 193-196
28. Barsotti J, Chiaroni DP, Chiaroni P: Thoracic outlet syndrome. Diagnosis by Roos' test. *Presse Med* 1984; 13: 1335
29. Roos DB, Owens JC: Thoracic outlet syndrome. *Arch Surg* 1966; 93: 71-74