

정상 청소년의 정량적근전도 간섭양상 분석

연세대학교 의과대학 재활의학교실 및 근육병 재활연구소

송명호 · 박윤길 · 문재호 · 최원아 · 장지훈 · 김선도

– Abstract –

Quantitative Interference Pattern Analysis in Adolescence

Myung Ho Song, M.D., Yoon Ghil Park, M.D.PhD., Jae Ho Moon, M.D.,
Won Ah Choi, M.D., Ji Hoon Jang, M.D., Sun Do Kim, M.D.

*Department of Rehabilitation Medicine, Rehabilitation Institute of Muscular Disease,
Yonsei University College of Medicine*

Objective: The aim of this study was to establish the turns-amplitude, activity-envelope amplitude and activity-number of small segments (NSS) clouds of normal adolescent with using quantitative interference pattern analysis.

Method: Healthy adolescents whose ages were from 15 to 19 years old participated in this study. Using quantitative EMG of the biceps brachii, and tibialis anterior muscle, the interference patterns were analyzed. The interference patterns were measured at three to five different force levels, ranging from minimum to maximum, and recorded at least 20 epochs at each muscle.

Results: The turns-amplitude, activity-envelope amplitude and activity-NSS of the biceps brachii, and tibialis anterior muscles were obtained in males and females. On the basis of the linear regression equation of log of each variables, the ± 2 standard deviations were set to a normal range. These range were drawn on the original plot with linear scale and normal range was obtained by setting upper limits on each variables. The establishment of normal clouds of gender related turns-amplitude, activity-envelope amplitude and activity-NSS were obtained.

Conclusion: By using normal cloud patterns of turns-amplitude, activity-envelope amplitude and activity-NSS, automatic interference pattern analysis may contribute to diagnose neuromuscular disease in adolescent patients.

Key Words: Interference pattern, Normal cloud, Quantitative EMG

서 론

운동단위 활동전위 분석(motor unit action

potential, MUAP)은 신경-근 질환의 진단에 있어서 유용한 도구로 사용되고 있으나, 단점으로는 진폭과 지속기간의 정상치 범위가 넓고, 다상성 전위(polypha-

Address reprint requests to **Yoon Ghil Park, M.D., Ph. D.**

Department of Rehabilitation Medicine & Rehabilitation Institute of Muscular Disease, Gangnam Severance Hospital, Yonsei University College of Medicine, #146-92 Dogok-dong, Gangnam-gu, Seoul, 135-270, Korea

TEL : 82-2-2019-3493, FAX : 82-2-3463-7585, E-mail : drtlc@yuhs.ac.kr

투고일: 2009년 3월 23일, 게재확정일: 2009년 5월 22일

*본 연구는 2009년 연세대학교 의과대학 근육병 재활연구소 연구비 지원으로 이루어졌음.

sis potential)의 수 자체가 정상근육에서도 다양 나타날 수 있어서 여러 개의 운동단위의 활동에 의한 근전도 간섭양상(interference pattern)을 적절하게 판별, 측정할 수 없다는 점이 있다.¹ 이러한 운동단위 활동전위 분석의 제한점 때문에 정량적 검사방법이 개발되었으며, 정량적 간섭양상 분석은 모든 힘의 범위에서 유도된 운동단위를 반영하므로 통상적인 운동단위 활동전위 분석 방법에 비해 검사자에 따른 오차를 최소화할 수 있어 근신경계 질환의 일차적 진단 방법으로 유용하게 사용할 수 있다.² 정량적 간섭양상의 분석은 신경이나 근육의 질환에 의한 간섭양상 변화를 정량적으로 분석하여 진단에 도움을 줄뿐만 아니라, 근육 활동성(muscle activity), 근육 피로, 만성 근육통, 보툴리눔 독소로 치료한 이상 긴장근의 평가 등에 유용하게 이용되며, 검사자들 간에 오차를 줄일 수 있고, 각 검사실, 시간 경과에 따른 결과를 비교할 수도 있는 유용한 방법이다.

근 수축 정도를 고려하지 않고 간섭양상을 분석할 수 있는 방법으로 정상 영역(cloud)의 개념이 있는데, 이는 정상 대조군 근육의 여러 부위에서 3~5단계의 근수축을 하면서 각각의 산점도(scatter plot)를 작성하여 90% 이상이 속하는 면적을 정상 영역이라 정의하고, 20~30번 검사에서 10% 이상 정상 영역을 벗어나면 비정상적으로 간주하였다.³

국내의 간섭양상 분석 방법에 대한 연구는 류호현 등⁴에 의한 정상인과 근육병 환자군 간의 간섭양상의 비교에 대한 연구, 최원아 등⁵에 의한 정상 성인의 정량적 근전도의 간섭양상 분석에 대한 연구, 그리고 박기덕 등⁶에 의한 정상 청소년의 정량적 근전도의 간섭양상 분석에 대한 연구가 있다. 하지만, 아직 청소년 층을 대상으로 한 정상 영역에 대한 연구는 이루어진 바 없다. 침전극의 종류 및 성별, 연령 그리고 근육의 종류에 따라 운동단위 활동전위의 여러 정량적 변수 즉 지속시간, 진폭, 면적, 위상 및 전환수 등이 달라져 간섭양상의 정량적 분석에 영향을 줄 수 있기 때문에 연령에 따른 정상 영역의 차이가 있을 수 있다. 정상 성인에 대한 정상 영역과 정상 청소년에 대한 정상 영역 연구는 이미 이루어진 바 있으므로, 청소년 층에 대한 정상 영역을 따로 설정하여 청소년 층의 검사 및 진단 시에 이용하는 것이 검사의 정확성을 높일 수 있다고 생각한다. 따라서 본 연구에서는 청소년 층에서의 신경병증 및 근육병증 진단의 예민도를 높이기 위해 전환점-진폭(turns-amplitude), 활성화-한계 진폭(activity-envelope amplitude), 활성화-소분절수(activity-number of small segments)의 자료를 구하고 정량적 근전도의 간섭양상 분석을 통한 정상 영역을 설정하여 이후 정량적 근전도 간섭양상 분석을 통한 신경근 질환의 진행 및 치료에 대한 반응의 평가에 이용하고자 한다.

연구대상 및 방법

1. 연구 대상

2006년 3월부터 2007년 5월까지 강남세브란스병원 재활의학과에 내원하여 이학적 검사, 신경 전도검사 및 침전 근전도 검사에서 이상 소견이 발견되지 않았으며, 검사 결과 이용에 동의를 한 15세에서 19까지의 정상 청소년 33명(남자 14명, 여자 19명, 평균연령 16.7세)을 대상으로 하였다.

2. 연구 방법

(가) 근전도 검사방법

정량적 간섭양상검사는 피검자가 침상에 누워서 시행되었다. 기록전극은 단극침전극(TECA corp., Pleasantville, NY, USA)을 사용하였고, 근전도기는 Synergy[®](Oxford Medelec, Wiesbaden, Germany)를 이용하였다. 여과주파수의 범위는 10 Hz에서 10 kHz로 설정하였고, 지속시간(Sweep time)은 500 msec였다. 본 근전도기에서 얻을 수 있는 지표(parameter)인 한계진폭, 활동도와 소분절수는 자동 측정되었다.

근전도 기록은 단극침전극을 근육의 중앙부에 삽입한 후에 날카로운 소리(crisp sound)가 들리도록 침전극의 위치를 조절한 후 단계적으로 근수축을 증가시켜 간섭양상을 얻었고, 각각의 근육에서 최소 20회의 간섭양상을 얻었다. 근수축의 단계는 환자가 생각하는 최소에서 최대의 힘으로 정하였다. 수축 사이에서 근 피로를 줄이기 위해 수초 간 휴식기를 가졌다.⁷ 침의 위치를 달리하기 위해 전후 혹은 좌우로 적어도 5 mm 이상 진행시켜 한 근육당 5~6부위에서 검사하여 같은 위치에서 간섭양상이 얻어지는 것을 피하였다.⁸

(나) 정상 영역의 설정

상완이두근(biceps brachii muscle)에서는 남녀 각각 498 개, 450개의 간섭양상(epoch)을, 전경골근(tibialis anterior muscle)에서는 각각 574 개, 359개의 간섭양상을 얻었다.

정량적 간섭양상분석에 의하여 얻어진 진폭, 전환점, 한계진폭, 활성화도, 소분절수의 지표로 Stålberg 등³이 기술했던 동일한 방법을 이용하여 남녀 각각의 상완이두근, 전경골근에서의 정상 영역을 설정하였다.

(다) 자료 분석

먼저 전환점-진폭, 활성화-한계 진폭, 활성화-소분절수 각 변수간의 산포도를 구한 후, 보다 적합한 회귀분석을 하고자 각 변수에 상용로그 값으로 치환하여 선형

회귀분석을 시행하였다. 이렇게 하여 얻어진 회귀 직선으로부터 ± 2 표준오차내의 범위를 정상범위로 정하고, 이를 다시 지수함수로 변환하여 정상 영역을 설정하였다.

결 과

단극침전극으로 기록한 활성화도의 범위는 1 msec에서 985 msec이었고 한계 진폭의 범위는 67 mV에서 9773 mV, 소분절수의 범위는 1 /sec에서 996 /sec였다.

평균 진폭과 전환점의 상용로그값 간의 선형회귀방정식의 기울기와 표준오차를 남자와 여자의 상완이두근과 전경골근에서 각각 구하였다(Table 1).

한계 진폭과 활성화도, 소분절수와 활성화도에 대해서도 같은 방식으로 기울기와 표준오차를 구하였다(Table 2, 3). 모든 회귀방정식들은 p값이 0.05보다 작아 독립변수에 의한 종속변수의 회귀현상이 인정되었다.

상완이두근의 전환점-진폭의 정상영역 설정 시 먼저 전환점-진폭 각 변수 간의 산포도를 구한 후, 각 변수의 상용로그값 간의 회귀방정식을 기준으로 삼아 이로부터 ± 2 표준오차내의 범위를 정상범위로 정하였고, 이를 다시 지수함수로 변환하여 전환점-진폭 정상영역을 설정하여 도면에 나타내었다. 전환점, 진폭의 값이 클수록 회귀방정식으로부터 흩어진 정도가 심하였다. 전환점과 진폭 값이 지수함수를 표시한 후, 전환점 값의 상한선을 전체 활성화도 값의 99%에 해당하는 값((최대값-최소값)*99/100)으로 정하여 도면에 수직선으로 표시하였다. 진폭 값이 상한선은 정상범위에 해당하는 가장 높은 값으로, 하한선은 역시 정상범위에 해당하는 가장 작은 값으로 정상 영역의 경계를 정하였으며, 이는 모두 Stålberg 등³이 정상 영역을 설정한 방법과 동일하게 행하여 졌다.

상기 방법으로 남녀 각각의 상완이두근, 전경골근에서의 전환점-진폭의 정상영역, 활성화도-한계진폭의 정상영

Table 1. Summary of Linear Regression Analysis between Log(MA) and Log(NSS)

Muscle	Sex	Number of Data(epoch)	Slope*	SD
Biceps brachii	Male	498	0.798	0.221
	Female	455	0.796	0.202
Tibialis anterior	Male	574	0.855	0.201
	Female	359	0.863	0.195

MA: Mean amplitude, NSS: Number of small segment, SD: Standard deviation

*P<0.05

Table 2. Summary of Linear Regression Analysis between Log(Envelope amplitude) and Log(Activity)

Muscle	Sex	Number of Data(epoch)	Slope*	SD
Biceps	Male	498	0.776	0.153
	Female	455	0.635	0.137
Tibialis anterior	Male	574	0.735	0.149
	Female	359	0.733	0.122

SD: Standard deviation

*P<0.05

Table 3. Summary of Linear Regression Analysis between Log(NSS) and Log(Activity)

Muscle	Sex	Number of Data(epoch)	Slope*	SD
Biceps	Male	498	0.876	0.103
	Female	455	0.892	0.095
Tibialis anterior	Male	574	0.884	0.088
	Female	359	0.891	0.088

NSS: Number of small segment, SD: Standard deviation

*P<0.05

역과 활성화도-소분절 수의 정상 영역을 설정하였다 (Fig. 1~3).

고 찰

침근전도 검사를 정량적으로 분석하려는 시도는 Buchthal 등⁹이 운동단위활동전위를 분석하여 근신경계 질환의 진단에 이용하면서 시작되었으며, 이후 Fuglsang-Frederiksen 등¹⁰은 근육병증 환자에서, Hyaward 와 Wilson¹¹은 신경병증 환자에서의 전환점-진폭의 진단적 유용성에 대한 연구를 하였다. 전환점-진폭 분석 방법은 간섭양상을 이용한 검사 중에서 가장 많이 연구되어 왔고 가장 널리 사용되고 있는 방법이며, Rose와 Wilson¹²은 상완이두근의 간섭양상 분석에서 일정 힘의 수축 시 근육병에서 전환수가 증가한다고 하였다. Hayward와 Wilson¹¹은 신경병증 환자의 간섭양상 분석에서 평균전위의 변화는 증가하고, 전환수는 변하지 않는다고 하였으며, 특히 Stålbjerg 등³은 근 수축을 고려하지 않고 전환점-진폭 분석 방법을 할 수 있는 방법으로 영역(cloud) 개념을 이용하였다. 이는 정상 근육에서 검사하여 전환점-진폭의 산포도(scatter plot)을 작성하여 90%이상 이 속하는 범위

를 정상 영역으로 정의하였고, 20~30번 검사에서 10% 이상 정상영역을 벗어나면 비정상으로 간주하였다.

Wilson¹³은 간섭양상 분석에서 진폭은 연속된 전환사이의 정점과 정점(peak to peak)으로, 전환은 연속된 정점과 정점 사이(peak to peak) 전위가 적어도 100 μ V이상의 차이를 보일 때로 정의하였다.

Buchthal 등¹⁴은 한계 진폭을 모든 양성 정점을 이은 선과, 모든 음성 정점을 이은 선으로 정의하였고, 500msec 동안의 간섭양상에서 다섯 번째 양성 정점(5th most positive peak)과 다섯 번째 음성 정점(5th most negative peak)의 전위차를 한계 진폭이라고 정의하였다.

Nendekar 등¹⁵은 간섭양상 신호에서 각 분절의 진폭과 지속기간의 분포도를 분석할 수 있는 방법을 개발하였으며, 이는 활성화도, 소분절 수와 upper centile amplitude(UCA)를 측정하여 활성화도에 대한 UCA와 활성화도에 대한 소분절 수의 정상 영역을 이용하는 방법을 제시하였다.

간섭양상을 보다 객관화하기 위해 활성화도를 정의하였는데, 이는 간섭양상의 밀도를 측정하는 변수로 1초 동안에 나타난 특정 운동단위 활동전위의 지속시간

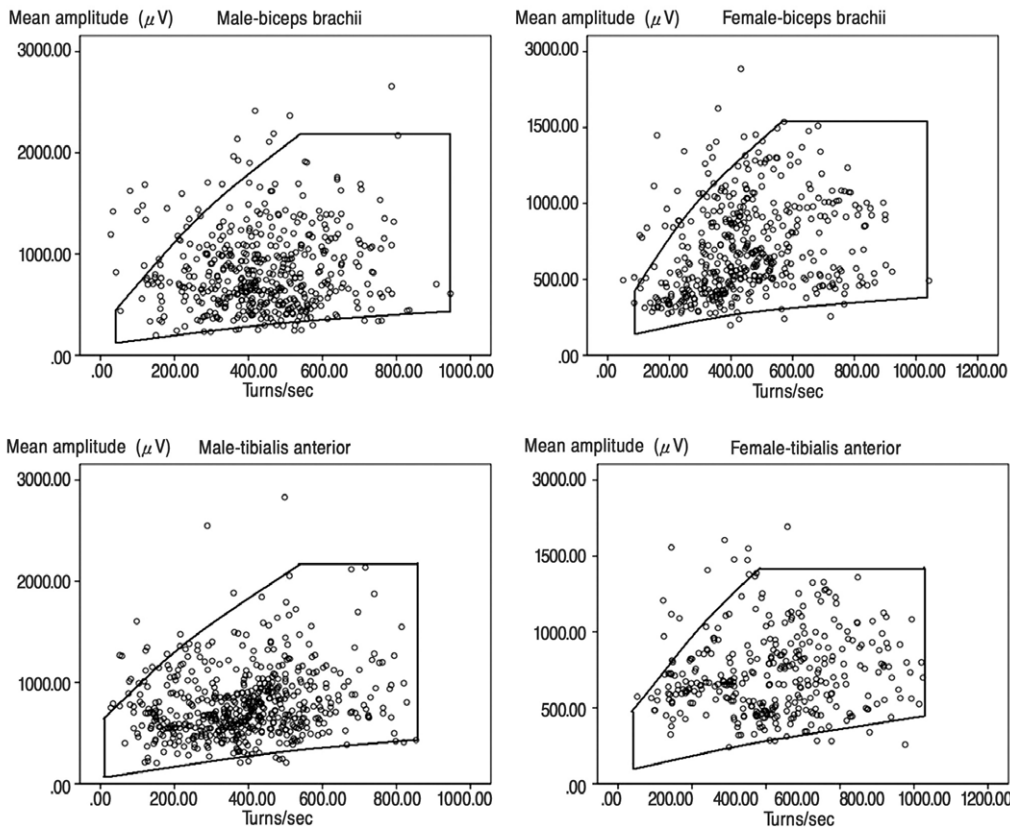


Fig. 1. The clouds of normal values of number of mean amplitude versus turns for male and female subjects in biceps brachii, tibialis anterior muscles.

(duration)의 합을 의미하며, 이 값이 500 msec 이상이면 눈으로 볼 때 완전한 간섭양상으로 나타나고 이때 최대 힘의 80%정도를 나타낼 때이며 정상에서 활성도는 힘과 강한 상관관계를 보였다. 소분절수는 특정 지속시간 이하인 분절의 합으로 정의하였고 주로 2 mV 이하의 저진폭, 고주파수 영역의 신호를 측정하는 방법으로 간섭양상에서 운동단위 활동전위의 다양성을 포함한 복잡성을 표현하는 지표이며 이는 신경근 질환에서 특이성은 떨어지나 민감성은 높은 지표라고 밝혀진 바 있다.¹⁵

국내에서는 이상철 등¹⁶이 정상 성인에서 전환점-진폭 분석의 정상영역을 설정하였으며, 박기덕 등⁶은 성인 외에 청소년 환아를 대상으로 전환점-진폭, 활성도-한계 진폭, 활성도-소분절 수의 자료를 구하여 정상 영역을 설정한 바 있으며, 이러한 정상영역이 청소년 환아에서 성인과 다른 결과를 보인다는 것을 발표하였다.

간섭양상분석은 모든 힘의 범위에서 유도된 운동단위를 반영하며,² 환자의 협조가 부족한 경우에도 수월하게 신호를 얻을 수 있고 정보를 처리할 수 있다는 장점을 보인다. 따라서, 검사에 협조가 충분하지 않아 적은 힘을 유도하기가 어려운 소아 환자나 인지 저하로 인하여 검사 순응도가 떨어지는 환자의 검사에 유용하다.¹ 인지

저하를 보이거나 마비의 정도가 심한 환자의 경우에는 전기진단 검사 시 협조를 얻기가 어려워 근력을 통제하기가 어려우며, 피검자가 순간적으로 근육을 수축하는 짧은 시간 동안 나타나는 활동도를 분석해야 하기 때문에 기존의 고식적인 운동단위 분석 및 간섭양상 분석으로는 상당한 제한을 가질 수 있다. 그래서 본 연구에서는 전환점-진폭, 활성도-한계 진폭, 활성도-소분절수 분석을 이용하였으며, 이는 500 msec의 비교적 짧은 시간 동안의 활동도를 평가할 수 있었다. 본 연구에서는 피검자의 근력을 통제하지 않은 상태로 임의의 근력을 적용하였으며, 이러한 방법으로 설정된 정상영역은 아래로 볼록(downward concave)한 모양을 보여 성인이나 청소년의 정상영역의 모양과 차이를 보이지 않았다.^{5, 6}

또한 활성도-한계 진폭, 활성도-소분절수 정상 영역을 이용한 간섭양상분석은 전환점-진폭 정상 영역보다 신경병증이나 근육병증의 진단에 더 예민하기 때문에, 본 연구에서는 전환점-진폭 외에도 활성도-한계 진폭, 활성도-소분절수의 정상영역을 함께 구하였다.

근육병증에서는 정량적 근전도 검사에서 특징적으로 근섬유의 소실이나 섬유화로 운동단위의 활동전위의 진폭의 감소로 인해 정상적인 혹은 감소된 한계 진폭과

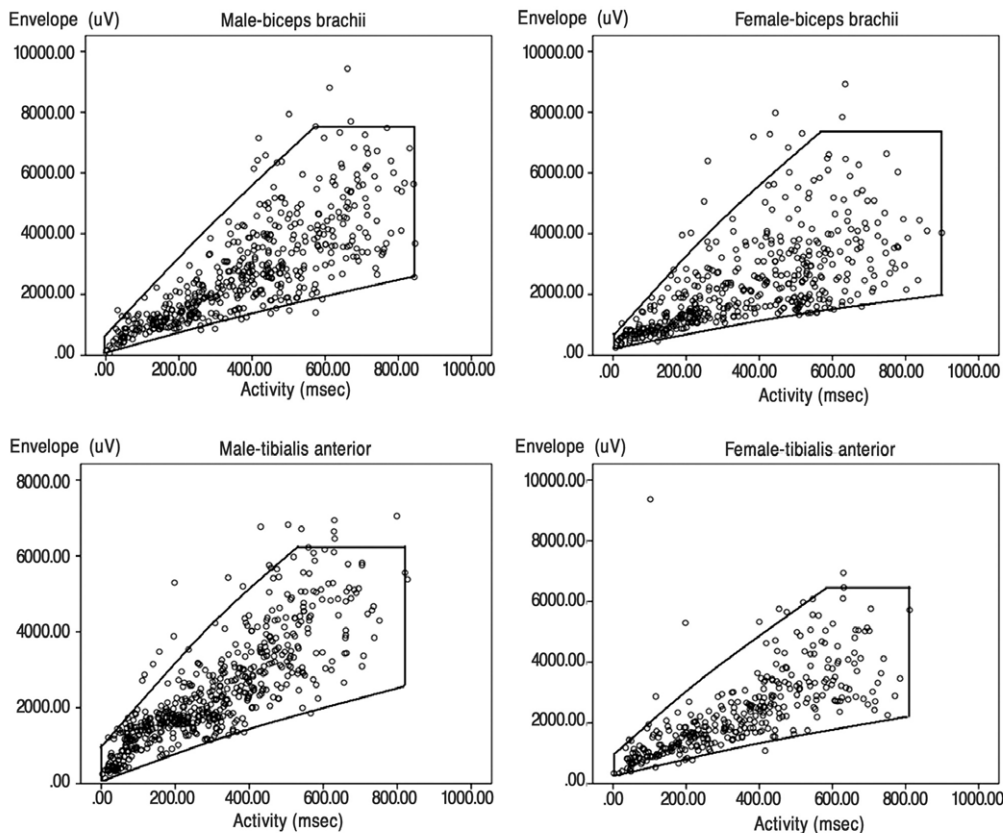
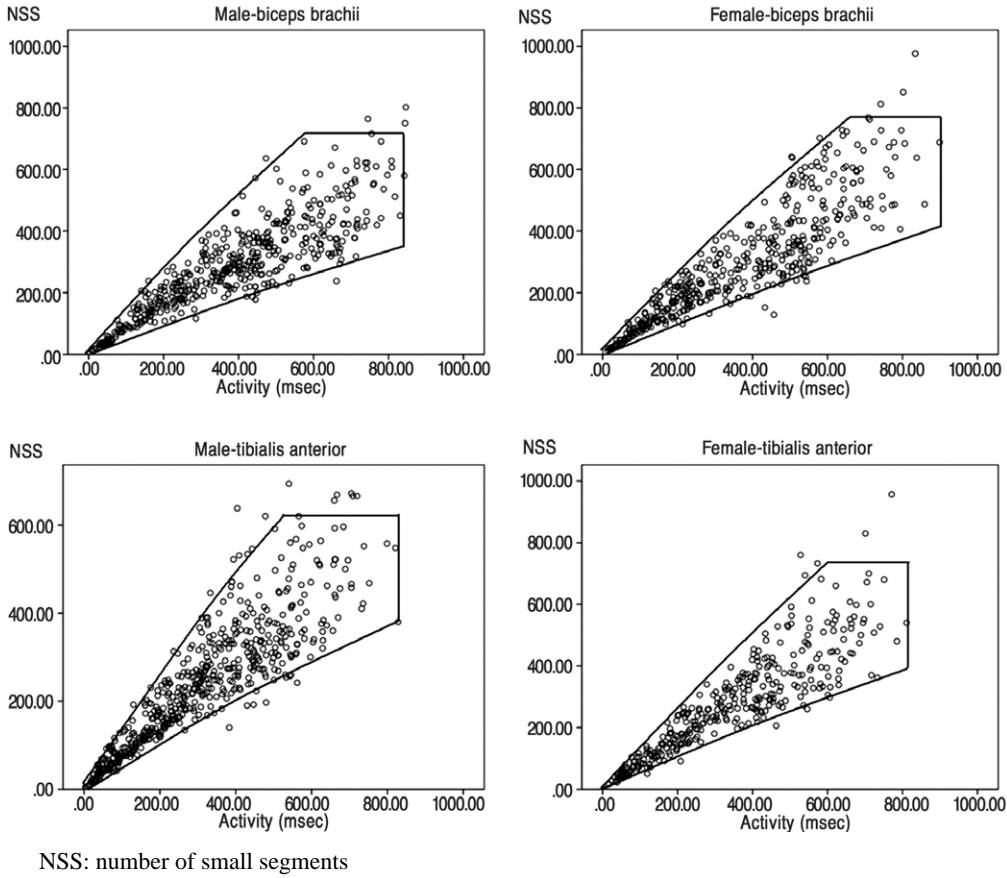


Fig. 2. The clouds of normal values of envelope amplitude versus activity for male and female subjects in biceps brachii, tibialis anterior muscles.



NSS: number of small segments

Fig. 3. The clouds of normal values of NSS activity versus activity for male and female subjects in biceps brachii, tibialis anterior muscles.

함께 소분절수 감소의 정도가 증가하는 소견을 보이는데, 반면에 신경병증에서는 특징적으로 정상이거나 감소된 소분절수와 함께 한계 진폭의 증가 소견을 보인다. 증가된 한계 진폭은 신경 재생으로 인한 운동단위 활동전위의 증가된 진폭을 반영한다. 따라서 20~30번의 간섭양상을 기록하여 정상 영역에 중첩시키면 근육병증에서는 활성화-한계진폭 정상 영역의 아래쪽, 활성화-소분절수 정상 영역의 위쪽에 분포하고, 신경병증에서는 활성화-한계진폭 정상영역의 위쪽, 활성화-소분절수 정상 영역의 아래쪽에 분포하는 결과를 얻을 수 있으며,¹⁵ 이를 이용할 경우 근육병증과 신경병증의 진단에 많은 도움을 얻을 수 있었다.

그러나, 간섭양상의 정량적 분석 시에는 연령, 근육의 종류 그리고 성별에 따라 운동단위의 여러 정량적 변수, 즉 지속시간, 진폭, 면적, 위상 및 전환수 등이 달라지기 때문에 이를 고려 해야하며, 이에 각 연령별, 근육별, 성별 정상영역의 설정이 필요함을 알 수 있다. 또한 Nandedkar 등¹⁷은 동일한 근육에서 전환점-진폭의 정상영역 설정에 있어서 성별에 따라 각 변수의 상용로그 간의 선형회귀 방정식의 기울기에 차이가 있었으며, 따라서 남녀 성별에 따른 정상영역의 모양에 차

이가 있음을 확인한 바 있다. 이는 연령에 따라서도 각 변수의 상용로그 간의 선형회귀 방정식의 기울기에 차이가 있을 수 있음을 추측할 수 있다. 박기덕 등⁶은 정상 유소년의 간섭양상을 성인과 구분하여 설정한 바에 의하면 정상 성인과는 다른 결과를 발표하였으며, 본 연구에서도 정상 성인과 유소년과는 구분되는 간섭양상의 정상 영역을 구할 수 있었다.

향후 본 연구를 통하여 설정된 전환점-진폭 정상 영역, 활성화-한계 진폭 정상 영역 그리고, 활성화-소분절수 정상 영역으로 실제 청소년 연령층의 신경근 질환에 대한 일차적 진단 도구로서의 가치가 있는지에 대한 연구가 지속되어야 할 것이며, 실제로 근전도 검사실에서 적용하여 임상적 가치가 있는지에 대한 확인도 필요할 것으로 판단된다. 실제로 실험적으로 본 연구에서는 비교하지는 못하였으나, 성인, 유소년, 청소년 사이의 간섭양상 분석의 정상영역이 통계학적으로 유의미한 차이가 있는지에 관한 연구도 필요할 것이다. 또한, 본 연구에서는 두 가지 근육(상완 이두근, 전경골근)에서만 실험적 자료를 얻었으나, 보다 다양한 근육에 대한 정상 영역 설정을 포함한 간섭양상 분석의 연구가 이루어져야 한다.

결 론

근육병증과 신경병증 진단을 위한 근전도 검사 중 간섭양상 분석을 이용하여 정상 청소년의 성별, 근육별 전환점-진폭 정상 영역, 활성화-한계 진폭 정상 영역, 활성화-소분절 수 정상 영역을 설정하였으며, 이는 향후 청소년, 성인과 구분되는 청소년 환자에서 진단적 도움이 될 수 있을 것으로 판단되며, 이미 연구되어 있는 청소년과 성인의 정상영역과 함께 검사실에서 이용할 경우 신경근육계 질환의 정확한 진단이나 질환의 진행 및 치료에 대한 반응 혹은 예후를 평가 시에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

향후 더 다양한 근육에 대한 정상 영역 평가가 필요할 것으로 생각되며, 청소년, 청소년, 성인 층의 정상 영역의 차이가 임상적, 실험적으로 통계학적으로 유의미한 차이가 있는 지에 대한 연구도 필요할 것이다.

참고문헌

- 손민균: 동심성침전극과 단극침전극으로 기록한 운동 단위 활동전위의 정량적 비교. 대한 재활의학회지 1996;20:207-214
- Fuglsang-Frederiksen A: The utility of interference pattern analysis. *Muscle Nerve* 2000; 23:18-36
- Stålberg E, Chu J, Bril V, Nandedkar S, Stalberg S, Ericsson M: Automatic analysis of the EMG interference pattern. *EEG Clin Neurophysiol* 1983;56:672-681
- 류호현, 박윤길, 문재호, 류중선, 이윤정: 근육병 환자와 정상인의 정량적 근전도를 이용한 간섭양상의 비교. 대한근전도전기진단의학회지 2001;3:13-19
- 최원아, 이상철, 박윤길, 문재호, 김완, 이수현: 정상 성인의 한계 진폭-활성도와 소분절 수-활성도의 영역 설정. 대한재활의학회지 2007;31:213-219
- 박기덕, 이상철, 박윤길, 문재호: 정상 청소년의 정량적 근전도의 간섭양상 분석. 대한재활의학회지 2007;31:333-340
- Garcia HA, Milner-Brown HS, Fisher MA: "Turns" analysis in the physiologic evaluation of neuromuscular disorders. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1980;70:534-540
- Arto C, Nirikko, Kia M, Rosler, Christian W, Hess: Sensitivity and specificity of needle electromyography: a prospective study comparing automated interference pattern analysis with single motor unit potential analysis. *EEG Clin Neurophysiol* 1995;97:1-10
- Buchthal F, Pinelli P, Rosenfalck P: Action potential parameters in normal human muscle and their physiological determinants. *Acta Physiol Scand* 1954;22:219-229
- Fuglsang-Frederiksen A, Scheel U, buchthal F: Diagnostic yield of analysis of the pattern of electrical activity and of individual motor unit potentials in myopathy. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1976;39:742-750
- Hayward M, Willison RG: Automatic analysis of the electromyogram in patients with chronic partial denervation. *J Neurol Sci* 1977;33:415-423
- Rose AL, Wilson RG: Quantitative electromyography using automatic analysis: studies in healthy subjects and patients with primary muscle disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1967;30:403-410
- Willison RG: Analysis of the electrical activity in healthy and dystrophic muscle in man. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1964;27:386-394
- Buchthal F: Electromyography in the evaluation of muscle diseases. *Methods Clin Neurophysiol* 1991;2:25-45
- Nandedkar S, Sanders D, Stalberg E: Automatic analysis of the electromyographic interference pattern: Part II. Findings in control subjects and in some neuromuscular diseases. *Muscle Nerve* 1986;9:491-500
- 이상철, 박윤길, 강성웅, 문재호, 김한승, 박기덕 등: 정상 성인의 전환점-진폭 cloud 설정. 대한근전도전기진단의학회지 2005;7:27-33
- Nandedkar SD, Sanders DB, Stålberg EV: On the shape of the normal turns-amplitude cloud. *Muscle Nerve* 1991;14:8-13