

정상 청소년의 정량적 근전도의 간섭양상 분석

연세대학교 의과대학 재활의학교실 및 근육병 재활연구소

박기덕 · 이상철 · 박윤길 · 문재호

Analysis of Interference Pattern of Quantitative Electromyography in Early Adolescence

Ki Deok Park, M.D., Sang Chul Lee, M.D., Ph.D., Yoon Ghil Park, M.D., Ph.D. and Jae Ho Moon, M.D.

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

Objective: To establish turns-amplitude, activity-envelope amplitude and activity-number of small segments (NSS) clouds of normal early teens using interference pattern.

Method: Forty four healthy early adolescence from 11 to 15 years old participated in this study. The interference patterns were analyzed using quantitative electromyography of the biceps brachii and tibialis anterior muscles. The interference patterns were measured at 3 to 5 different force levels ranging from minimum to maximum and turns, mean amplitude, activity, envelope amplitude, NSS were analyzed. By turns/amplitude, activity/envelope amplitude and activity/NSS ratio, normal clouds of gender related each parameters

were obtained.

Results: The turns-amplitude, activity-envelope amplitude and activity-NSS ratio of the biceps brachii and tibialis anterior muscles were obtained. Normal clouds of gender related turns-amplitude, activity-envelope amplitude and activity-NSS for each muscles were established.

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 early adolescent patients. (J Korean Acad Rehab Med 2007; 31: 333-340)

Key Words: Quantitative electromyography, Interference pattern, Normal cloud, Early adolescence

서 론

청소년 환자의 근신경계 질환의 진단을 위한 전기진단 검사 방법 자체는 성인과 크게 다를 것이 없다. 하지만 신경계의 성숙도 여부, 개체의 크기 자체가 작기 때문에 유발되는 기술적 오류, 정상 자료의 부재, 검사 시 협조의 어려움으로 인해 영향을 받는 생리학적 요소 등에 대한 주의가 필요하다.¹ 그 중 가장 어려운 점은 협조가 충분치 않다는 점이며 특히 자발전위 및 운동단위 활동전위 분석을 위해서는 완전한 이완상태에서 점차적인 근수축을 유도해야 하지만 협조를 얻기가 쉽지 않다.

정량적 간섭양상의 분석은 신경이나 근육의 질환에 의한 간섭양상 변화를 정량적으로 분석하여 진단에 도움을 줄 뿐만 아니라, 근육 활동성(muscle activity), 근육 피로, 만성 근육통, 보툴리눔 독소로 치료한 이상 긴장근의 평가 등에 유용하며, 검사자들 간에 오차를 줄일 수 있고, 각 검사실

사이 혹은 동일 환자의 시간 경과에 따른 상태를 비교할 수 있다.^{2,3} 또한 운동단위 활동전위 분석은 적은 힘으로 유도된 운동 단위의 생리학적 변화 등을 알 수 있는 반면, 간섭양상 분석은 모든 힘의 범위(whole force range)에서 유도된 운동 단위를 반영한다.⁴

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.^{5,7} 이는 신경병증과 근육병증의 진단에서 운동단위 활동전위 분석보다 더 예민하다고 하였다.^{6,8}

국내에서도 유 등²이 침근전도를 이용한 정량적 간섭양상 분석은 통상적인 운동단위 활동전위 분석 방법에 비해 협조가 어려운 환자에서 이용이 용이하다는 장점이 있어 근신경계 질환의 일차적 진단방법으로 이용할 수 있음을 보고한 바 있다. 특히 검사에 협조가 충분치 않아 적은 힘을 유도하기가 어려운 나이 어린 환자의 검사에 도움이 될 수 있다.^{9,10} 하지만 아직 청소년 층을 대상으로 한 정상 영역에 대한 연구가 이루어진 바 없다. 침전극의 종류 및 성별, 연령 그리고 근육의 종류에 따라 운동단위 활동전위의 여러

접수일: 2006년 9월 12일, 게재승인일: 2007년 2월 9일

교신저자: 박윤길, 서울시 강남구 도곡동 146-92

© 135-720, 영동세브란스병원 재활의학과

Tel: 02-3463-3493, Fax: 02-3463-7585

E-mail: drtlc@yumc.yonsei.ac.kr

정량적 변수, 즉 지속시간, 진폭, 면적, 위상 및 전환수 등이 달라져 간섭양상의 정량적 분석에 영향을 줄 수 있기 때문에¹¹ 연령에 따른 정상영역의 차이가 있을 수 있으므로 유소년 층의 검사 및 진단 시에는 연령에 적합한 정상 영역을 따로 설정할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 유소년 층에서의 신경병증 및 근육병증 진단의 예민도를 높이기 위해 전환점-진폭(turns-amplitude), 활성화도-한계 진폭(activity-envelope amplitude), 활성화도-소분절수(activity-number of small segments)의 자료를 구하고 정량적 근전도의 간섭양상분석을 통한 정상 영역을 설정하여 이후 정량적 근전도 간섭양상 분석을 통한 신경근 질환의 진행 및 치료에 대한 반응의 평가에 이용하고자 한다.

연구대상 및 방법

1) 연구대상

2005년 3월부터 5월까지 근육 및 신경계 질환이 없는 것으로 확인된 11세에서 15세의 유소년 44명(남자 21명, 여자 23명)을 대상으로 하였으며 평균연령은 12.7±1.1세였다.

2) 연구방법

(1) 근전도 검사방법: 정량적 간섭양상은 상완이두근, 전경골근에서 얻었다. 기록전극은 단극 침전극(TECA corp., Pleasantville state, USA)을 사용하였고, 전기진단 검사기기는 Synergy® (Oxford Medelec, Wiesbaden, Germany)를 이용하였다. 여과주파수의 범위는 10 Hz에서 10 KHz로 설정하였고, 스위프 지속시간(sweep duration)은 500 msec였다. 근전도 기록은 단극 침전극을 근육의 중앙부에 삽입한 후에 침전극의 위치를 조절한 후 단계적으로 근수축을 증가시켜 유도된 간섭양상을 얻었고, 각각의 근육에서 최소 20회의 간섭양상을 얻었다. 수축 사이에 근 피로를 줄이기 위해 수 초간의 휴식기를 가졌다.¹² 침의 위치를 달리하기 위해 전후 혹은 좌우로 적어도 5 mm 이상 진행시켜 한 근육당 3~5 부위에서 검사하여 같은 위치에서 간섭양상이 얻어지는 것을 피하였다.¹³

본 전기진단 검사기기에서 얻을 수 있는 지표로는 전환점, 진폭, 활성화도, 한계 진폭, 소분절수이었고 이들은 자동측정

되었다. 이러한 변수들로부터 진폭/전환점, 한계 진폭/활성도, 소분절수/활성도의 비를 구하였다.

(2) 정상 영역의 설정: 정량적 간섭양상분석에 의하여 얻어진 전환점, 진폭, 활성화도, 한계 진폭, 소분절수의 지표로 Stålberg 등⁷이 기술했던 동일한 방법을 이용하여 남녀 각각의 상완이두근, 전경골근에서의 정상 영역을 설정하였다. 먼저 전환점-진폭, 활성화도-한계 진폭, 활성화도-소분절수 각 변수간의 산포도를 구한 후, 보다 적합한 회귀분석을 하고자 각 변수를 상용로그값으로 치환하여 선형 회귀분석을 시행하였다. 이렇게 하여 얻어진 회귀방정식으로부터 회귀직선 및 이로부터 ±2 표준오차 내의 범위를 정상범위로 정하고, 이를 다시 지수함수로 변환하여 정상 영역을 설정하였다.

결 과

상완이두근에서는 남녀 각각 469례, 518례의 간섭양상(epoch)을, 전경골근에서는 각각 479례, 473례를 얻었으며 단극침전극으로 기록한 활성화도의 범위는 1 msec에서 999 msec이었고 한계 진폭의 범위는 67 μV에서 9,848 μV, 소분절수의 범위는 1/sec에서 996/sec, 전환점의 범위는 40/sec에서 1,008/sec, 진폭의 범위는 120 μV에서 1,872 μV이었다. 전환점-진폭의 상용로그값 간의 선형회귀방정식의 기울기는 남자의 경우, 상완이두근에서 0.7111, 전경골근에서 0.4754, 여자의 경우 상완이두근에서 0.6786, 전경골근에서 0.5013이었다. 활성화도와 한계진폭의 상용로그값 간의 선형회귀방정식의 기울기는 남자의 경우, 상완이두근에서 0.7837, 전경골근에서 0.7251, 여자의 경우 상완이두근에서 0.6431, 전경골근에서 0.6956이었다. 활성화도와 소분절수의 상용로그값 간의 선형회귀방정식의 기울기는 남자의 경우, 상완이두근에서 0.8939, 전경골근에서 0.8658, 여자의 경우 상완이두근에서 0.8612, 전경골근에서 0.8975이었다. 이때 모든 회귀방정식들은 p값이 0.05보다 작아 독립변수에 의한 종속변수의 회귀현상이 인정되었다(Table 1~3).

여성의 경우 상완이두근의 전환점-진폭의 정상영역 설정 시 먼저 전환점-진폭 각 변수 간의 산포도를 구한 후(Fig. 1A), 각 변수의 상용로그값 간의 회귀방정식을 기준으로 삼

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

Muscle	Sex	Number of data (epoch)	Slope*	Intercept	SD
Biceps brachii	Male	469	0.7111	2.2009	0.3576
	Female	518	0.6786	2.2875	0.3166
Tibialis anterior	Male	479	0.4754	3.6812	0.3982
	Female	473	0.5013	3.4437	0.3009

MA: Mean amplitude, NT: Number of turns, SD: Standard deviation

*p<0.05

Table 2. Summary of Linear Regression Analysis between Log (E) and Log (A)

Muscle	Sex	Number of data (epoch)	Slope*	Intercept	SD
Biceps brachii	Male	469	0.7837	2.9972	0.3657
	Female	518	0.6431	3.7534	0.3442
Tibialis anterior	Male	479	0.7251	3.4444	0.3993
	Female	473	0.6956	3.5404	0.3357

E: Envelope amplitude, A: Activity, SD: Standard deviation

*p<0.05

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

Muscle	Sex	Number of data (epoch)	Slope*	Intercept	SD
Biceps brachii	Male	469	0.8939	0.3142	0.2095
	Female	518	0.8612	0.5860	0.2039
Tibialis anterior	Male	479	0.8658	0.5636	0.2611
	Female	473	0.8975	0.4013	0.1988

NSS: Number of small segment, A: Activity, SD: Standard deviation

*p<0.05

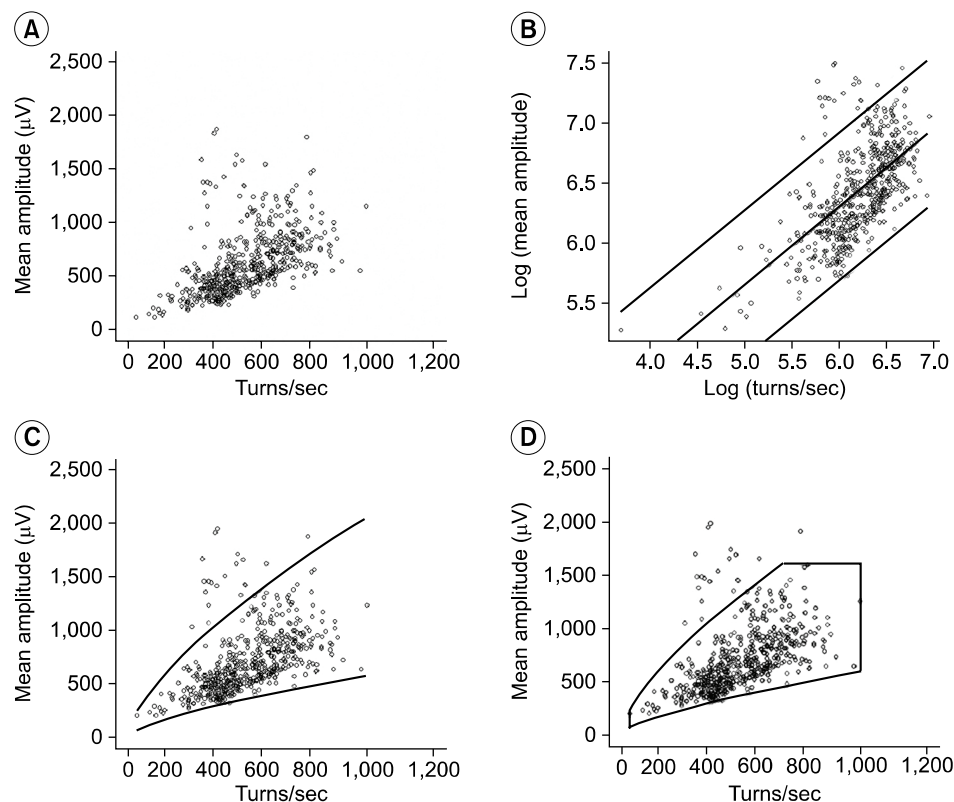


Fig. 1. The figures show development of the normal turns-amplitude cloud using data from the biceps brachii muscle of female subjects. (A) Scatter plot of turns and amplitude data, (B) Linear regression and ± 2 standard deviation of log amplitude versus log turns, (C) The ± 2 standard deviation lines in B are redrawn on the normal material in A, (D) Normal limits obtained by setting upper limits on turns and amplitudes.

아 이로부터 ± 2 표준오차 내의 범위를 정상범위로 정하였고(Fig. 1B), 이를 다시 지수함수로 변환하여 전환점-진폭 정상 영역을 설정하여 도면에 나타내었다(Fig. 1D). 전환점,

진폭의 값이 클수록 회귀방정식으로부터 흩어진 정도가 심하였다(Fig. 1B). 전환점과 진폭 값의 지수함수를 표시한 후 (Fig. 1C), 전환점 값의 상한선을 전체 전환점 값의 99%에

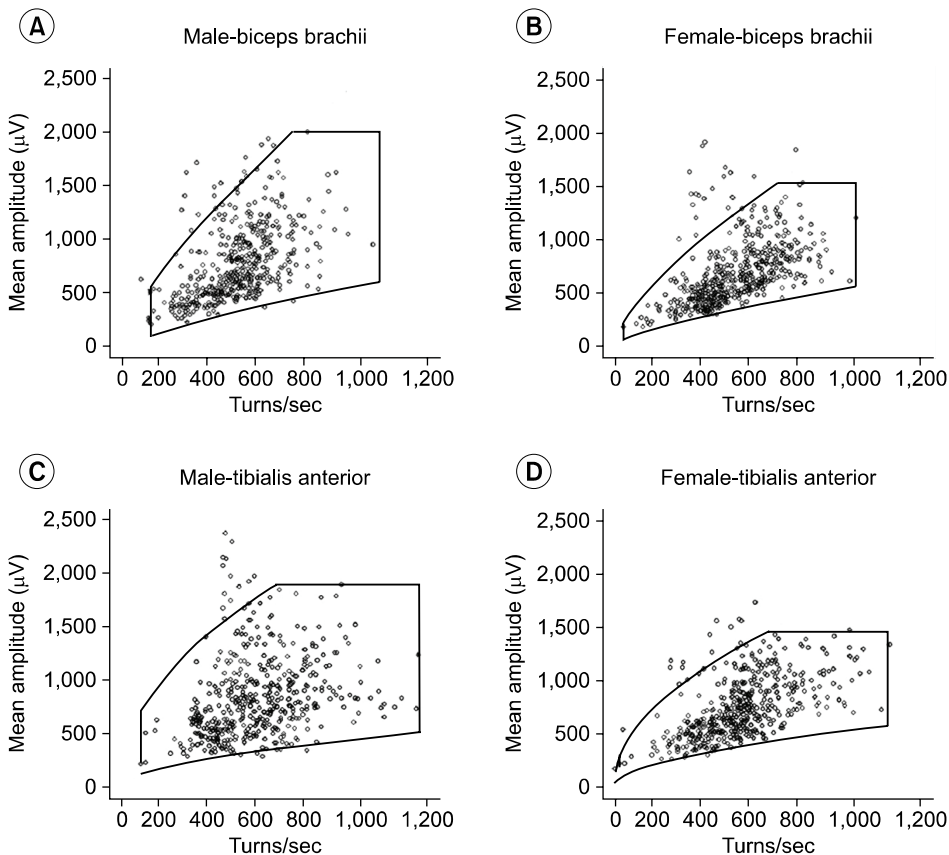


Fig. 2. The figures are clouds of normal values of mean amplitude versus turns for male and female subjects. (A) Male biceps brachii, (B) Female biceps brachii, (C) Male tibialis anterior, (D) Female tibialis anterior.

해당하는 값(최대값-최소값)×99/100)으로 정하여 도면에 수직선으로 표시하였다. 진폭 값의 상한선은 정상범위에 해당하는 가장 높은 값으로, 하한선은 역시 정상범위에 해당하는 가장 작은 값으로 정상 영역의 경계를 정하였으며 (Fig. 1D) 이는 모두 Stålberg 등⁷이 정상 영역을 설정한 방법과 동일하게 행하여졌다.

상기 방법으로 남녀 각각의 상완이두근, 전경골근에서의 전환점-진폭, 활성화도-한계 진폭, 활성화도-소분절수 정상 영역을 설정하였다(Fig. 2~4). 각각의 정상영역 설정 시 사용된 상한선, 하한선 값은 다음과 같았다(Table 4).

고 찰

간섭양상분석은 모든 힘의 범위에서 유도된 운동단위를 반영한다.³ 즉, 모든 종류의 운동단위 활동전위가 작용하여 형성된 신호를 기록할 수 있고, 환자의 협조가 그렇게 중요한 인자가 아니며 비교적 빠르게 신호를 얻을 수 있고 정보를 처리할 수 있다는 장점이 있다.¹⁴ 따라서, 검사에 협조가 충분하지 않아 적은 힘을 유도하기가 어려운 소아 환자의 검사에 도움이 될 수 있다.^{9,10} 유소년 연령대의 환자 중 특히 인지저하를 보이거나 마비의 정도가 심한 환자의 전기진단 검사 시 협조를 얻기가 용의치 않고 따라서 근력을

통제하기가 어려우며 피검자가 잠깐잠깐 근육의 수축을 보이는 짧은 시간 동안 나타나는 활동도를 분석해야 하기 때문에 기존의 고식적인 운동단위 분석 및 간섭양상 분석에는 제한점이 있었다. 하지만 본 연구에서 이용한 정량적 전환점-진폭, 활성화도-한계 진폭, 활성화도-소분절수 분석은 500 msec의 비교적 짧은 시간 동안의 활동도를 평가하기 때문에 보다 손쉽게 검사를 진행할 수 있다. 본 연구에서는 피검자의 근력을 통제하지 않은 상태로 임의의 근력을 적용하였으며 이는 서론에서 언급되었듯이 규정되지 않은 임의의 근력에서 근전도 간섭양상을 얻는 방법이 보편화되는 추세일 뿐 아니라,^{5,7,12} 검사의 편리성을 추구하는 본 연구의 목적에 부합하기 위해서이며 이러한 방법으로 설정된 정상영역은 Stålberg 등⁷의 정상 영역과 마찬가지로 아래로 볼록(downward concave)의 모양을 형성하였다.

전환점-진폭 분석 방법은 간섭양상을 이용한 검사 중에서 가장 많이 연구되어 왔고 가장 널리 사용되고 있는 방법이다.^{7,11,14-17} Rose와 Wilson¹⁸은 상완이두근의 간섭양상 분석에서 일정 힘의 수축 시 근육병에서 전환수가 증가한다고 하였다. Hayward와 Willison¹⁹은 신경병증 환자의 간섭양상 분석에서 평균전위의 변화는 증가하고, 전환수는 변하지 않는다고 하였다. 따라서 근육병증에서는 정상영역의 아래쪽으로 신경병증에서는 위쪽으로 산점하게 된다. 이는 신

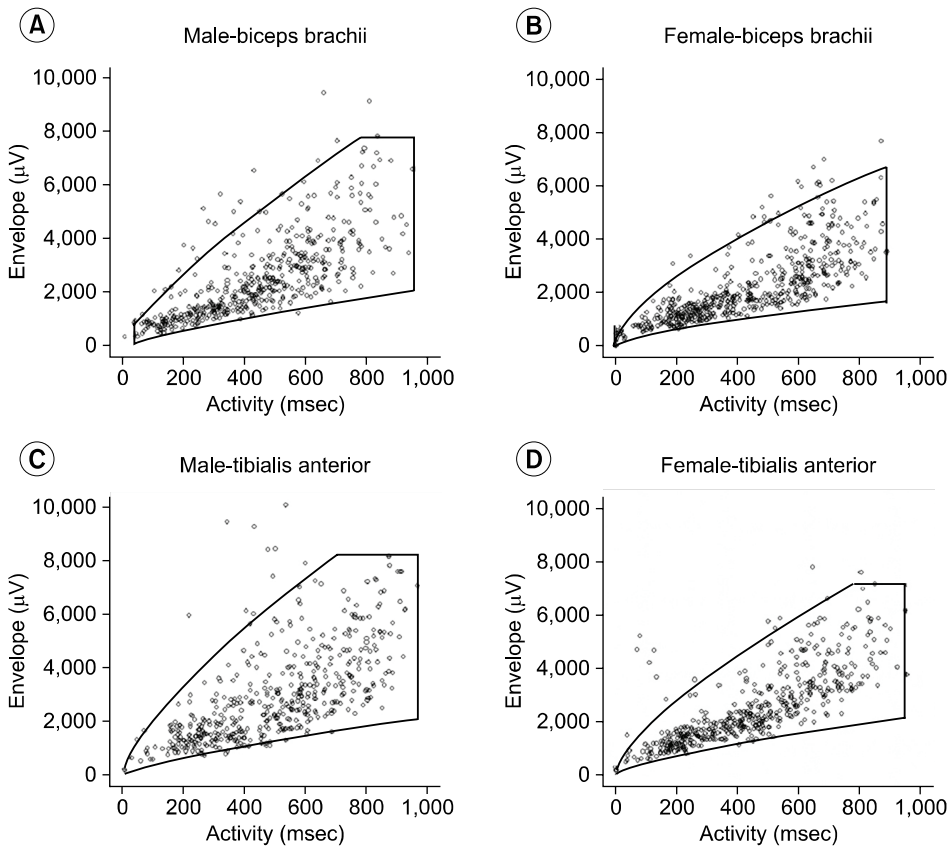


Fig. 3. The figures are clouds of normal values of envelope amplitude versus activity for male and female subjects. (A) Male biceps brachii, (B) Female biceps brachii, (C) Male tibialis anterior, (D) Female tibialis anterior.

경병증과 근육병증의 진단에서 운동단위 활동전위 분석보다 더 예민하다고 하였다.¹³ 또한 활성화-한계 진폭, 활성화-소분절수 정상 영역을 이용한 간섭양상분석은 전환점-진폭 정상 영역보다 신경병증이나 근육병증의 진단에 더 예민하다고 하였다.^{8,20} 따라서 본 연구에서는 전환점-진폭 뿐만 아니라 활성화-한계 진폭, 활성화-소분절수의 정상영역을 함께 구하였다.

간섭양상을 보다 객관화하기 위해 활성도를 정의하였는데, 이는 간섭양상의 밀도를 측정하는 변수로 1초 동안에 나타난 특정 운동단위 활동전위의 지속시간(duration)의 합을 의미하며, 이 값이 500 msec 이상이면 눈으로 볼 때 완전 간섭양상으로 나타나고 이때 최대 힘의 80% 정도를 나타낼 때이며 정상에서 활성도는 힘과 강한 상관관계를 보였다.^{17,21} 소분절수는 특정 지속시간 이하인 분절의 합으로 정의하였고 주로 2 mV 이하의 저진폭, 고주파수 영역의 신호를 측정하는 방법으로 간섭양상에서 운동단위 활동전위의 다상성을 포함한 복잡성을 표현하는 지표이며 이는 신경근 질환에서 특이적이지는 않으나 민감한 지표라고 밝혀진 바 있다.¹⁷ Buchthal⁴은 간섭양상에서 진폭에 대한 간단한 방법으로 한계 진폭을 설명하였는데 이는 모든 양성 정점을 이은 선과, 모든 음성 정점을 이은 선으로 정의하였고, 500 msec 동안의 간섭양상에서 다섯 번째 양성 정점(5th most

positive peak)과 다섯 번째 음성 정점(5th most negative peak)의 전위차를 한계 진폭이라고 정의하였다.

근육병증에서는 정량적 근전도 검사에서 특징적으로 근섬유의 소실이나 섬유화로 운동단위 활동전위의 진폭의 감소로 인해 정상적인 혹은 감소된 한계 진폭과 함께 소분절수 감소의 정도가 증가하는 소견을 보인다. 반면에 신경병증에서는 특징적으로 정상이거나 감소된 소분절수와 함께 한계 진폭의 증가소견을 보인다. 증가된 한계 진폭은 신경재생으로 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 정상 영역의 위쪽, 활성화-소분절수 정상 영역의 아래쪽에 분포하게 된다.¹⁷

침전극의 종류가 간섭양상 정량적 분석에 영향을 줄 수 있는데, 이는 침전극의 종류에 따라 운동단위 활동전위의 여러 정량적 변수에 영향을 줄 수 있기 때문이다. 단극 침전극으로 기록한 운동단위 활동전위의 진폭, 면적, 극파면적, 위상수가 동심성 침전극에 의한 경우보다 통계적으로 유의하게 컸고, 지속시간 및 전환수는 큰 차이는 없으며²² 침전극의 종류에 의한 간섭양상 분석의 영향은 단극 침전극 사용 시 동심성 침전극보다 전환수가 증가한다고 하였다.⁷ 따

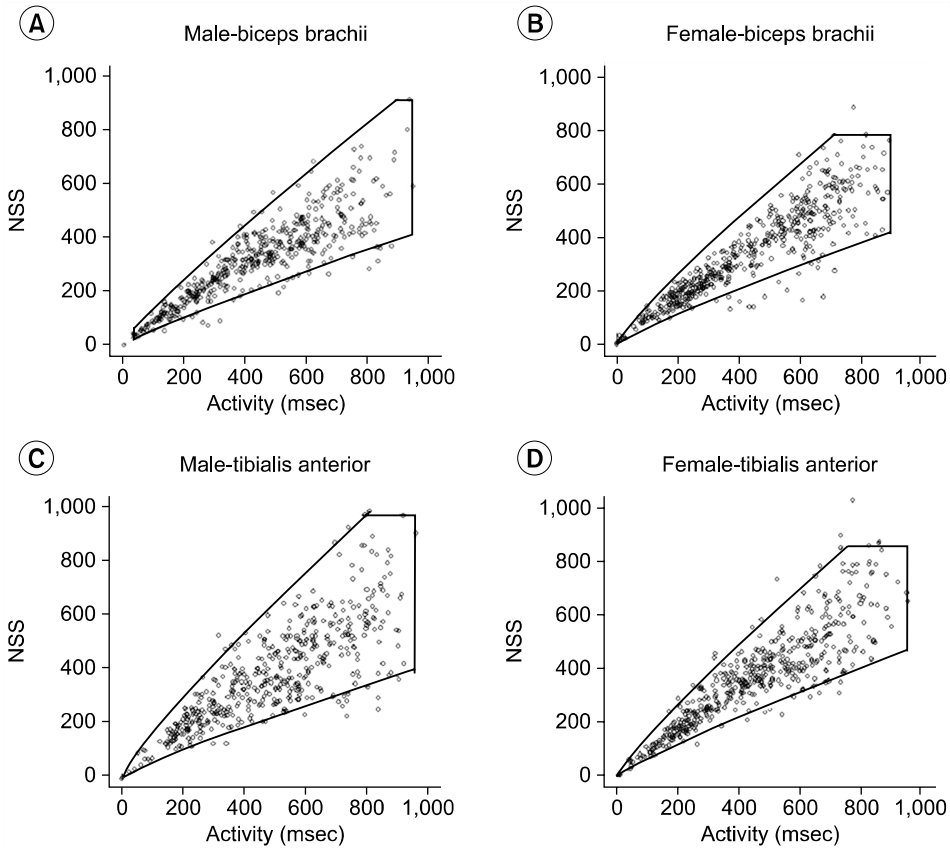


Fig. 4. The figures are clouds of normal values of NSS versus activity for male and female subjects. (A) Male biceps brachii, (B) Female biceps brachii, (C) Male tibialis anterior, (D) Female tibialis anterior. NSS: Number of small segment.

Table 4. Normal Limits on Turns/Amplitude, Activity/Envelope and Activity/NSS

Muscle	Sex	Upper limit of turns	Upper limit of amplitude	Lower limit of amplitude
Biceps brachii	Male	930.6	2,084	180
	Female	926.6	1,513	165
Tibialis anterior	Male	1,102.9	1,926	203
	Female	1,095.9	1,498	168
		Upper limit of activity	Upper limit of envelope	Lower limit of envelope
Biceps brachii	Male	925.7	7,908	180
	Female	877.9	6,515	98
Tibialis anterior	Male	939.2	8,093	141
	Female	930.8	7,108	82
		Upper limit of activity	Upper limit of NSS	Lower limit of NSS
Biceps brachii	Male	925.7	910	40
	Female	877.9	784	34
Tibialis anterior	Male	939.2	988	24
	Female	930.8	832	20

NSS: Number of small segment

라서 검사실마다 근전도 장비뿐만 아니라 침전극을 표준화한 간섭양상분석에 대한 참고치가 확보되어야 하겠으나 주로 단극 침전극을 사용하는 국내의 상황에서는 이를 이용

한 정상 참고치가 더욱 필요하며 고식적 근전도 검사 실시 중에 정량적 분석이 필요할 경우 침전극을 바꾸지 않고도 바로 실시할 수 있기 때문에 임상에서 훨씬 쉽게 이용할

수 있어 본 연구에서는 단극 침전극을 이용하였다.

근디스트로피 중 뒤시엔느(Duchenne) 형을 제외한 대부분의 경우 임상증상이 10대 초기에 발현되는 것으로 알려져 있으며 척수근위축증의 일부 유형(type III, IV) 역시 10대 초기에 증상이 나타나는 소아질환(juvenile disease)으로 알려져 있다.²³ 따라서 본 연구에서 설정한 10대 초반 정상 유소년의 정량적 근전도의 간섭양상을 통한 정상 영역은 위와 같은 질환의 진단에 특히 도움이 될 수 있을 것으로 생각한다.

연령, 근육의 종류 그리고 성별에 따라 운동단위 활동전위의 여러 정량적 변수, 즉 지속시간, 진폭, 면적, 위상 및 전환수 등이 달라져 간섭양상의 정량적 분석에 영향을 줄 수 있기 때문에¹¹ 각 연령별, 근육별, 성별 정상영역의 설정이 필요하다고 하겠다. Nandedkar 등⁶은 동일한 근육에서 전환점-진폭의 정상영역 설정에 있어서 성별에 따라 각 변수의 상용로그값 간의 선형회귀방정식의 기울기에 차이가 있었으며 따라서 남녀 성별에 따른 정상영역의 모양에 차이가 있음을 확인한 바 있다. 이는 연령에 따라서도 같은 이유로 정상영역의 차이를 나타낼 수 있다. 연령대별로 본 연구에서 설정한 각 변수의 선형회귀방정식에 어느 정도의 차이를 보이는지 이로 인한 정상영역의 모양에 어떤 차이가 나타나는지에 대한 추가적인 비교분석이 필요하다고 생각한다.

향후 본 연구를 통하여 설정된 전환점-진폭 정상 영역 외에 활성화-한계 진폭 정상 영역, 활성화-소분절수 정상 영역으로 실제 유소년 연령층의 신경근 질환에 대한 일차적 진단적 도구로서의 가치가 있는지에 대한 연구가 지속되어야 할 것이며 앞으로 보다 다양한 연령별, 성별, 근육별 정상 영역 설정을 포함한 간섭양상 분석의 연구가 이루어져야 할 것으로 생각한다.

결 론

객관적이며 편리한 근전도 분석방법의 하나로 제시될 수 있는 정량적 근전도 방법의 일환으로 정상 유소년의 성별, 근육별 전환점-진폭 정상 영역, 활성화-한계 진폭 정상 영역, 활성화-소분절수 정상 영역을 설정하였으며, 이는 유소년 환자에서 진단적 도움이 되리라 판단된다. 또한 신경근육계 질환의 정확한 진단이나 질환의 진행 및 치료에 대한 반응을 평가하는 방법으로 유용하게 사용될 수 있을 것으로 보인다.

향후 운동단위 활동전위 분석과의 비교 연구를 통하여 고식적인 검사의 대체 또는 두 검사의 병용을 통한 검사의 타당성과 민감도를 높이는 방법이 모색되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1) Kerman K, Shahani B. Pediatric electromyography. Indian J

- Pediatr 1990; 57: 469-479
- 2) Ryu HH, Park YG, Moon JH, Ryu JS, Lee YJ. Comparison of interference pattern between normal and myopathy group used by quantitative EMG. J Korean EMG Electrodiag Med 2001; 3: 13-19
 - 3) Fuglsang-Frederiksen A. The utility of interference pattern analysis. Muscle Nerve 2000; 23: 18-36
 - 4) Buchthal F. Electromyography in the evaluation of muscle diseases. Methods Clin Neurophysiol 1991; 2: 25-45
 - 5) Fuglsang-Frederiksen A, Scheel US, 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
 - 6) Nandedkar SD, Sanders DB, Stålberg EV. On the shape of the normal turns-amplitude cloud. Muscle Nerve 1991; 14: 8-13
 - 7) Stålberg E, Chu J, Bril V, Nandedkar S, Stålberg S, Ericsson M. Automatic analysis of the EMG interference pattern. Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1983; 56: 672-681
 - 8) Cao J, Sanders DB. Multivariate discriminate analysis of the electromyographic interference pattern: a statistical approach to discrimination among controls, myopathies and neuropathies. Med Biol Eng Comput 1996; 34: 469-474
 - 9) Kim JH, Han TR, Sung DH. Automatic quantitative analysis of EMG interference pattern in the neuropathy and myopathy. J Korean Acad Rehab Med 1991; 15: 22-33
 - 10) Sohn MK. Quantitative analysis of electromyography. J Korean EMG Electrodiag Med 2000; 2: 79-82
 - 11) Sanders DB, Stålberg EV, Nandedkar SD. Analysis of the electromyographic interference pattern. J Clin Neurophysiol 1996; 13: 385-400
 - 12) Garcia HA, Milner-Brown HS, Fisher MA. "Turns" analysis in the physiological evaluation of neuromuscular disorders. J Neurol Neurosurg Psychiatry 1980; 70: 534-540
 - 13) Nirikko AC, Rosler KM, Hess CW. Sensitivity and specificity of needle electromyography: a prospective study comparing automated interference pattern analysis with single motor unit potential analysis. Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1995; 97: 1-10
 - 14) McGill KC, Lau K, Dorfman LJ. A comparison of turn analysis and motor unit analysis in electromyography. Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1991; 81: 8-17
 - 15) Fuglsang-Frederiksen A. Interference EMG analysis. In: Desmedt JE, editor. Computer-aided electromyography and expert system, 1st ed, Amsterdam: Elsevier, 1989, pp161-179
 - 16) Gilai A. Analysis of turns and amplitude in EMG. In: Desmedt, editor. Computer-aided electromyography and expert system, 1st ed, Amsterdam: Elsevier, 1989, pp143-160
 - 17) Nandedkar SD, Sanders DB, Stålberg EV. Automatic analysis of the electromyographic interference pattern: part II. Findings in control subjects and in some neuromuscular diseases. Muscle Nerve 1986; 9: 491-500

- 18) 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
 - 19) Hayward M, Willison RG. Automatic analysis of the electromyogram in patients with chronic partial denervation. *J Neurol Sci* 1977; 33: 415-423
 - 20) Gilchrist JM, Nandedkar SD, Stewart CS, Massey JM, Sanders DB, Barkhaus PE. Automatic analysis of the electromyographic interference pattern using the turns: amplitude ratio. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1988; 70: 534-540
 - 21) Nandedkar SD, Sanders DB, Stålberg EV. Automatic analysis of the electromyographic interference pattern: part I. Development of the quantitative features. *Muscle Nerve* 1986; 9: 431-439
 - 22) Sohn MK. Comparison of individual motor unit action potentials recorded with concentric and monopolar electrodes. *J Korean Acad Rehab Med* 1996; 34: 469-474
 - 23) Nelson MR. Rehabilitation concerns in myopathies. In: Braddom RL, editor. *Physical medicine and rehabilitation*, 2nd ed, Philadelphia: Saunders, 2000, pp1045-1072
-