

정상 성인의 전환점-진폭 cloud 설정

연세대학교 의과대학 재활의학교실 및 근육병 재활연구소

이상철 · 박윤길 · 강성웅 · 문재호 · 김한승 · 박기덕 · 최원아

– Abstract –

Establishment of Turns-Amplitude Cloud of Normal Adults

Sang Chul Lee, M.D., Yoon Ghil Park, M.D., Ph.D.,
Seong-Woong Kang, M.D., Ph.D., Jae Ho Moon, M.D.,
Han Seung Kim, M.D., Ki Deok Park, M.D., Won Ah Choi, M.D.

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

Objectives: The automatic analysis of the EMG interference pattern reflects motor units induced all range of power. Therefore, comparing to MUAP analysis, it has many advantages including much easier to apply to incorporable patients, minimal errors by practitioners, and faster to obtain results and process informations. The aim of this study is to establish the turns-amplitude clouds of normal adults with using interference pattern.

Methods: Healthy adults whose age from 20 to 59 years old participated in this study. The interference patterns were analyzed of the biceps brachi, vastus medialis, and tibialis anterior muscle. The interference patterns were measured at 20 sites in each muscle and turns-mean amplitude was analyzed. With turns/amplitude ratio, normal clouds of gender related turns-amplitude were obtained.

Results: The turns amplitude ratio of the biceps brachi, vastus medialis, and tibialis anterior muscle were obtained in male and female. The establishment of normal clouds of gender related -turns-amplitude were obtained.

Conclusion: By using normal cloud patterns of turns-amplitude, automatic interference pattern analysis may contribute to diagnose myopathy and neuropathy in incorporable patients.

Key Words: Turns-amplitude, Normal cloud, Interference pattern, Quantitative EMG

서 론

운동단위 활동전위 분석(motor unit action potential, MUAP)은 신경-근 질환의 진단에 있어서 유용한 도구로 사용되고 있으나, 진폭과 지속기간의 정상치의 범위가 넓고, 다상성 전위(polyphasic potential)의

수도 정상근육에서 상당량 나타날 수 있어서 여러 개의 운동단위의 활동에 의한 근전도 간섭양식(interference pattern)을 적절하게 판별, 측정할 수 없다는 문제가 있다.¹

이러한 운동단위 활동전위 분석의 제한점 때문에 정량적 검사방법이 개발되었다. 정량적 검사방법은 결과

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

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

TEL : 82-2-3497-3493, FAX : 82-2-3463-7585, E-mail : drtlc@yumc.yonsei.ac.kr

를 객관적으로 해석하고, 검사자간의 오차를 최소화하고 검사방법이나 검사실, 시간에 따른 결과를 비교하고 통계처리를 하는 데 유용하게 사용될 수 있다. 또한 비정상 소견을 찾아낼 뿐 아니라 병변의 심한 정도나 상태, 기간 및 예후를 판단하는데도 도움이 된다.²

침근전도를 정량적으로 표현하려는 노력은 Buchthal 등이 운동단위 활동전위를 분석하여 신경-근 질환의 진단에 이용하면서 시작되었다.³ 이제까지의 여러 가지 제시된 정량적 근전도 방법(quantitative electromyography, Q EMG) 중 대표적인 것이 근전도 간섭양상 분석(interference patterns, IP)의 전환점-진폭분석 방법(turns-amplitude analysis)으로 Willison이⁴ 전환점을 정의한 후, 많이 사용되었으며 이에 대한 변형된 여러 가지 방법들이 시도되어 졌다.^{5,6} 강한 근 수축에서는 활동하는 운동단위 수가 많아지고 발화율이 증가되어 각각을 구별할 수 없게 되는데,⁷ 근육병증에서는 약한 근 수축에서 많은 운동단위 활동전위가 조기 동원되어 완전 간섭양상을 보이나, 신경병증에서는 운동단위 활동전위의 숫자가 감소되어 간섭양상이 감소된다.²

Willison은 간섭양상 분석에서 진폭은 연속된 전환사이의 정점과 정점(peak to peak)으로, 전환은 연속된 정점과 정점 사이 진폭이 적어도 100 μV 이상의 차이를 보일 때로 정의하였다.⁴ 이는 근 섬유 활성의 동시성을 반영하며 전극 근처에 위치한 근 섬유 활동전위에 의해 결정된다.⁸ 전환의 정의에 있어서 진폭차를 50 μV 혹은 30 μV 이상으로 하면 간섭양상 분석 시 근육 신경계 질환의 진단에 더욱 민감하다고 하였으나 이러한 전통적인 정의는 수년간 변하지 않았다.^{9,10} 국내에서는 김 등¹¹이 신경-근 질환군에서 전환점-진폭분석방법을 통해 두 군간 높은 민감도를 보임을 밝힌바 있다.

이 전환점-진폭분석방법은 여러 가지 변형된 방법간에 많은 논란이 있었는데, 그 중 간섭양상을 얻을 때의 근력 유지의 정도에 대해서 점차 고정된 일정수준의 근력을 유지하는 것보다는 규정되지 않는 임의의 근력에서 근전도 간섭양상을 얻는 방법이 보편화되는 추세이다.^{12,14}

근 수축 정도를 고려하지 않고 전환점-진폭분석을 할 수 있는 방법으로 cloud의 개념이 있는데, 이는 정상 대조군 근육의 여러 부위에서 3~5단계의 근수축을 하면서 전환에 대한 평균진폭의 산점도(scatter plot)를 작성하여 90% 이상이 속하는 면적을 정상 cloud라 정의하고, 20~30번 검사에서 10% 이상 정상 cloud를 벗어나면 비정상적으로 간주 하였다.^{12,14,15} 근육병증에서는 정상 cloud의 아래 쪽으로, 신경병증에서는 위쪽으로 산점하게 된다. 이는 신경병증과 근육병증의 진단에서 운동단위 활동전위 분석보다 더 예민하다.¹⁶

국내 연구에서 김 등¹¹이 20~60세의 정상 성인을 대상으로 상완이두근 및 대퇴근막장근에서의 초당 전환점

수와 초당전환점 총진폭간의 개별자료 분포의 정상범위를 구하였으나, 이는 평균진폭이 아닌 총진폭을 사용하였고, 또한 명확한 cloud를 설정하지 않아 실제 정량적 근전도 검사 시의 참고 자료로는 제한점을 가지고 있었다. 따라서 본 연구에서는 정상 성인군의 성별, 근육별 전환점-진폭 cloud를 설정하여 이후 정량적 근전도 간섭양상분석을 통한 신경-근 질환의 정확한 진단이나 질환의 진행 및 치료에 대한 반응을 평가하고, 고식적 검사에서 협조가 어려운 환자의 근전도 검사에 이용하고자 하였다.

연구대상 및 방법

1. 연구대상

20세에서 59세까지의 이학적 검사, 신경전도검사 및 침근전도검사서 이상 소견이 없는 정상 성인들로서, 남자 상완이두근(biceps brachi)의 경우 27명, 남자 내측 대퇴광근(vastus medialis)의 경우 21명, 남자 전경골근(tibialis anterior)의 경우 26명, 여자 상완이두근의 경우 23명, 여자 내측 대퇴광근의 경우 22명, 여자 전경골근의 경우 25명을 대상으로 하였다.

2. 연구방법

1) 근전도 검사방법

정량적 간섭양상검사는 피검자가 침상에 누워서 시행되었으며, 내측 대퇴광근 검사의 경우 쿠션을 대어 무릎을 약간 구부린 상태에서 검사하였다.¹⁷

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 지표인 전환수(number of turns), 평균 진폭(mean amplitude)은 자동측정되었다. 전환은 연속된 정점과 정점 사이 진폭이 적어도 100 μV 이상의 차이를 보일 때로 정의하였다.

근전도 기록은 단극침전극을 근육의 중앙부에 삽입한 후에 loud speaker로 crisp sound가 들리도록 침전극의 위치를 조절한 후 단계적으로 근수축을 증가시켜 간섭양상을 얻었고, 각각의 근육에서 최소 20회의 간섭양상을 얻었다. 근수축의 단계는 환자가 생각하는 최소에서 최대의 힘으로 정하였다. 수축사이에서 근 피로를 줄이기 위해 수초 간 휴식기를 가졌다.¹³ 침의 위치를 달리하기 위해 전후 혹은 좌우로 적어도 5 mm 이상

진행시켜 한 근육당 5~6부위에서 검사하여 같은 위치에서 간섭양상이 얻어지는 것을 피하였다.¹⁸

2) 정상 cloud의 설정

상완이두근에서는 남녀 각각 564례, 622례의 간섭양상(epoch)을, 내측 대퇴광근에서 각각 421례, 584례를, 전경골근에서는 각각 501례, 631례를 얻었다 (Table 1).

정량적 간섭양상분석에 의하여 얻어진 전환수 및 평균 진폭으로 Stålberg 등이 기술했던 동일한 방법을 이용하여 남녀 각각의 상완이두근, 내측 대퇴광근, 전경골근에서의 정상 cloud를 설정하였다.¹⁴

3) 자료 분석

먼저 전환점-진폭간의 보다 적합한 회귀분석을 하고자 상용 로그값으로 치환하여 선형 회귀분석을 시행하였다(Fig. 1. A). 이렇게 하여 얻어진 회귀방정식으로부터 회귀 직선 및 이로부터 ±2 표준오차내의 범위를 전환점-진폭의 정상범위로 정하고(Fig. 1. B), 이를 다시 지수함수로 변환하여 전환점-진폭간의 cloud를 설정하였다(Fig. 1. D).

결 과

단극침전극으로 기록한 전환점의 범위는 16/sec에서 1108/sec이었고, 평균 진폭의 범위는 66 μV에서 2.719 μV이었다.

전환점과 평균 진폭의 상용 로그값 간의 선형 회귀방정식의 결정계수(R²)는 남자의 경우, 상완이두근에서 0.4332, 내측 대퇴광근에서 0.4509, 전경골근에서 0.4103, 여자의 경우 상완이두근에서 0.3027, 내측 대퇴광근에서 0.5409, 전경골근에서 0.2671이었다. 이때 모든 회귀 방정식들은 P값이 0.05보다 작아 독립변수에 의한 종속변수의 회귀현상이 인정되었다. 따라서 전환점과 평균진폭의 상용 로그값 간의 회귀 방정식을 기

준으로 삼아 이로부터 ±2 표준오차내의 범위를 정상범위로 정하였고(Fig. 1. B), 이를 다시 전환점과 평균 진폭의 지수 함수로 변환하여 정상 전환점-진폭 cloud를 설정하여 도면에 나타내었다(Fig. 1. D). 전환점 수가 크고, 평균 진폭 값이 클수록 회귀방정식으로부터 풀어진 정도가 심하였다(Fig. 1. B). 전환점과 평균 진폭의 지수함수를 표시한 후(Fig. 1. C), 전환점 값의 상한선을 전체 전환점 값의 99%에 해당하는 값으로 정하여 도면에 수직선으로 표시하였다. 평균 진폭 값의 상한선은 정상 범위에 해당하는 가장 높은 값으로, 하한선은 역시 정상범위에 해당하는 가장 작은 값으로 cloud의 경계를 정하였으며(Fig. 1. D), 이는 모두 Stålberg 등이 cloud를 설정한 방법과 동일하게 행하여 졌다.¹⁴ 상기 방법으로 남녀 각각의 상완이두근, 내측 대퇴광근, 전경골근에서의 정상 cloud를 설정하였다(Fig. 2. F).

고 찰

정량적 간섭양상의 분석은 신경이나 근육의 질환에 의한 간섭양상 변화를 정량적으로 분석하여 진단에 도움을 줄뿐만 아니라, 근육 활동성(muscle activity), 근육 피로, 만성 근육통, botulism toxin으로 치료한 이상긴장근의 평가 등에 유용하며, 검사자들 간에 오차를 줄일 수 있고, 각 검사실 사이 혹은 동일 환자의 시간에 따른 비교를 할 수 있다.^{19,20} 또한 운동단위 활동전위 분석은 단지 적은 힘(weak effort)으로 유도된 운동 단위의 생리학적 변화 등을 알 수 있는 반면, 간섭양상 분석은 모든 힘의 범위(whole force range)에서 유도된 운동 단위를 반영한다.²¹

이러한 정량적 근전도 방법의 장점에도 불구하고 이의 진단적 가치에 대한 논란은 지속되고 있다.²¹ Nirikko 등¹⁶은 신경근질환의 정상 Cloud에 의한 간섭양상의 분석은 운동단위 활동전위 분석에 비해 민감도가 높고, 특이도는 차이가 없다고 하였다. Barkhaus 등^{22,23}은 염증성 근육질환을 대상으로한 연구에서 간섭

Table 1. Summary of Linear Regression Analysis between log (MA¹) and log (NT²)

Muscle	Sex	Number of Data (Epoch)	Slope	Intercept
Biceps	Male	564	0.60773	2.88030
	Female	622	0.48470	3.53970
Vastus medialis	Male	421	0.54383	3.55194
	Female	584	0.55243	3.28115
Tibialis anterior	Male	501	0.46613	3.86959
	Female	631	0.39553	4.03803

1. MA: Mean amplitude

2. NT: Number of turns

양상분석은 대상의 78%에서 근육병에 부합하는 소견을 보였으나, 운동단위 활동전위 분석에서는 67%만이 근육병 소견을 보였다. Sporadic inclusion body myositis 환자를 대상으로 한 연구에서도 간접양상의 분석에서 더욱 높은 민감도를 보였다고 하였다. 그러나 근육병 환자의 경우에는 정량적 검사에서 위음성 결과를 초래할 수 있는데, Fuglsang-Frederiksen 등²⁴은 검사 시 힘의 정도(force level)가 cloud의 민감도에 영향을 주어 대상 근육병환자의 반수에서 최대 근력의(maximum force) 10~30% 범위에서는 근육병에 합당한 소견이 최대 근력의 50%가 넘으면서는 정상 범위 안으로 편입되어 이상 소견이 모호해지는 것을 관찰하였고, Nandedkar 등²⁵은 최대 근력에 가까워지면 전환수-진폭값이 애초에 Stålberg 등¹⁴이 정의한 cloud의 범위를 넘어서게 되어 신경병변으로 해석될 수 있을

을 보고하였다.

전환점과 평균진폭의 개별자료(raw data)들은 진폭은 근력에 비례하여 증가하지만, 전환점의 경우, 근력이 최대근력의 일정 분율 이상의 근력에 도달할 때까지는 근력에 비례하여 증가하나 그 이상의 근력에서는 더 이상 증가하지 않는 경향을 보인다. 따라서 전환점과 진폭간의 2차원 도면은 직선형 분포가 아닌 곡선 분포를 하며, 각 전환점에서 진폭들의 분산이 전환점 수에 따라 모두 다르므로 개별 자료들의 분석으로 얻어지는 단일척도(전환점에 대한 평균진폭의 비)를 이용한 단순 통계처리가 적합하지 않음이 알려지면서 이들의 정상 cloud 개념이 각광받게 되었다.^{11,14,26}

Nandedkar 등은 정상 cloud의 모양이 개별자료의 분포 및 cloud 설정 시 사용되는 수학적 함수의 종류에 의해서 달라진다면, Stålberg 등¹⁴이 기술했던

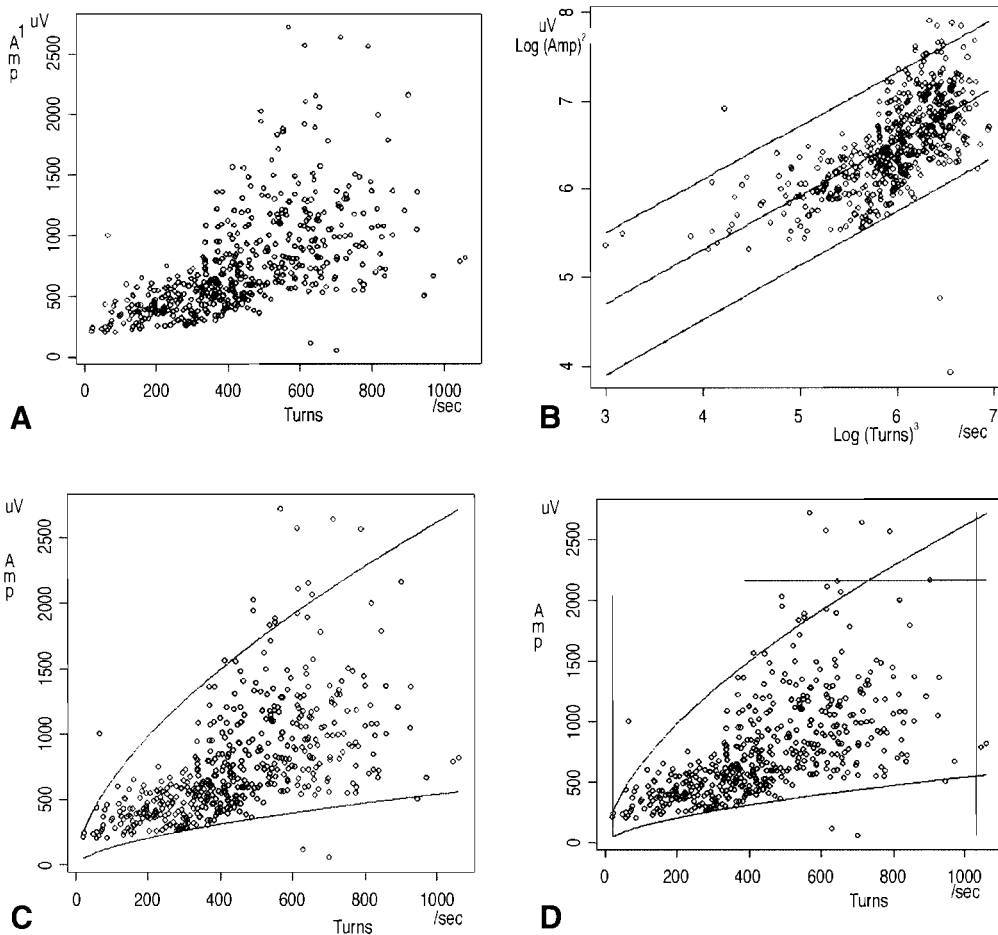


Fig. 1. Development of the cloud. (A) Scatter plot of turns and amplitude data. (B) Linear regression and ± 2 standard deviation of log amplitude versus log turns. (C) The ± 2 standard deviation lines in B are redrawn on the normal material in A. (D) Normal limits obtained by setting upper limits on turns and amplitudes.

1. Amp: Amplitude
2. Log(Amp): Logarithm of Amplitude
3. Log(Turns): Logarithm of Turns

cloud의 모양과 자신들이 설정한 cloud 모양의 차이에 대하여 검사 시 적용했던 근력을 Stålberg 등이 임의로 설정한데 비하여, 근력의 최대값이 포함되도록 객관적 통제 하에 측정된 데 원인이 있다고 분석하였다.¹⁵ 본 연구에서는 피검자의 근력을 통제하지 않은 상태로 임의의 근력을 적용하였으며 이는 서론에서 언급되었듯이

규정되지 않는 임의의 근력에서 근전도 간섭양식을 얻는 방법이 보편화되는 추세일 뿐 아니라,¹²⁻¹⁴ 검사의 편리성을 추구하는 연구의 본 목적에 부합하기 위해서이며, 설정된 cloud는 Stålberg 등¹⁴의 cloud와 마찬가지로 concave downward한 모양을 형성하였다. 또한 Nandedkar 등이 설정한 정상 cloud의 모양과 비교

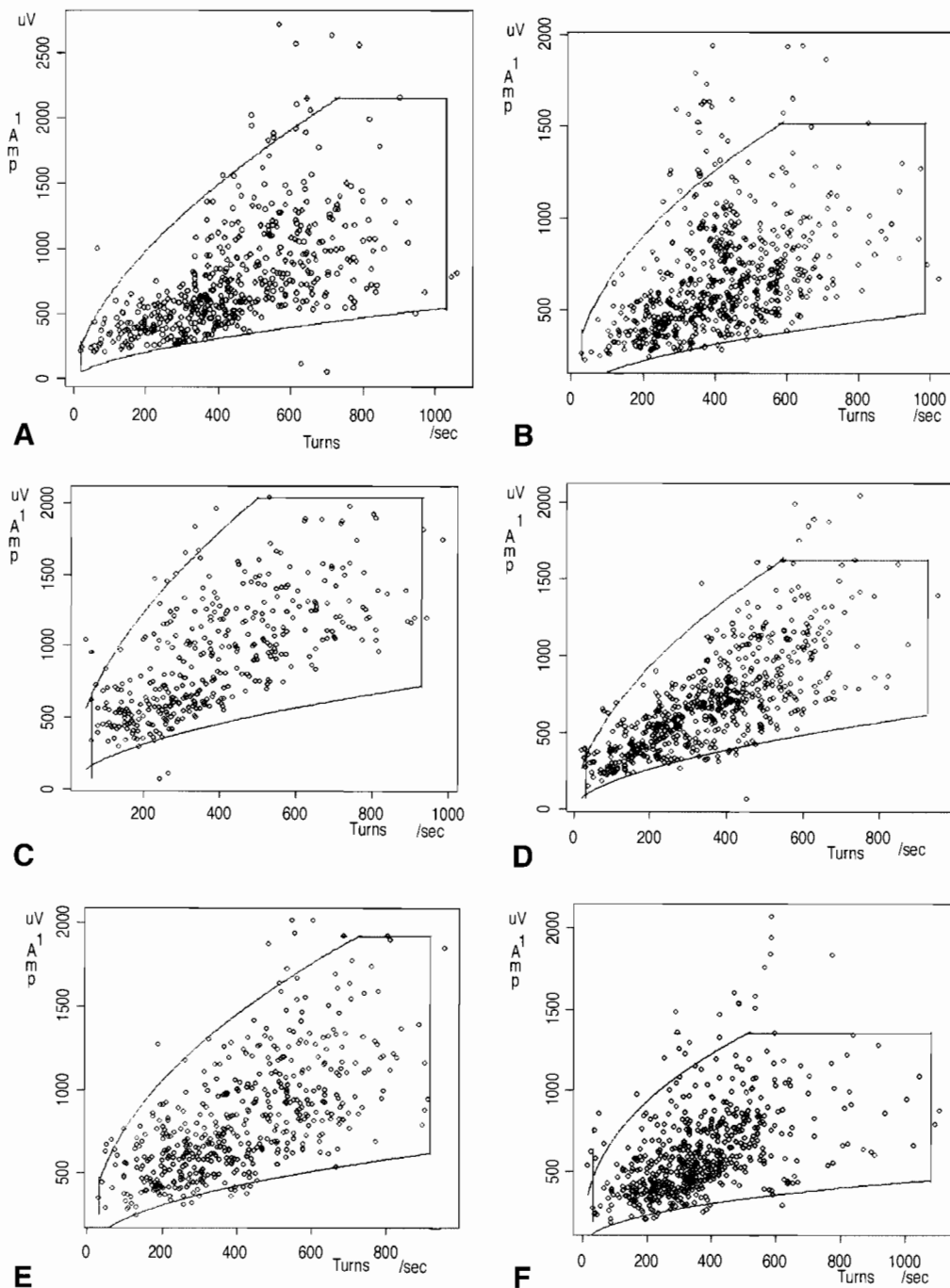


Fig. 2. Turns-amplitudes normal cloud. (A) Male biceps. (B) Female biceps. (C) Male vastus medialis. (D) Female vastus medialis. (E) Male tibialis anterior. (F) Female tibialis anterior.
1. Amp: amplitude

하였을 때, 형성된 cloud의 범위가 좁게 나타났는데, 이는 환자의 근력을 통제하지 않음으로 해서 개별자료가 최대근력에 해당하는 진폭과 전환점의 범위를 포함하지 않았기 때문이며 이는 근력이 매우 강한 정상인의 경우, 최대근력을 주면 신경성 병변으로 위양성결과가 나올 가능성이 있지만, 대부분의 검사에서 타당성과 높은 민감도를 보이는 것으로 알려져 있다.¹⁵

본 연구에서는 근전도검사 시 단극침전극을 사용하였는데, 이는 동심침전극(concentric needle)을 사용 시와 비교하면, 전환점 및 진폭값이 다름으로 인하여 cloud 설정 시 동일하지 않은 결과가 산출될 것으로 예상된다. Stålberg 등¹⁴은 간섭양상 분석 시, 주어진 전환수에서 단극침전극을 사용 하는 경우에 동심침전극에 비하여 진폭값이 평균 1.3배 높아 cloud의 진폭 상하한 값이 더 높다고 하였다. Howard 등²⁷은 단극침전극, 동심침전극을 사용하여 측정된 운동단위활동전위의 특성을 분석한 연구에서 진폭, 상승시간, 전환수 등은 단극침전극에서 더 크지만 지속시간과 firing rate는 차이가 없다고 하였다. 한편 Nandedkar와 Sanders²⁸는 진폭, 면적, 위상수, 전환수 등은 단극침전극에서 더 크지만 지속시간과 진폭 대 면적의 비는 두 전극 간에 차이가 없다고 하였고, 비록 단극침전극의 기록면적이 더 크지만 지속시간이 동일한 것으로 미루어 볼 때, 멀리 있는 근섬유일수록 활동전위의 진폭이 급격히 감소되어 측정되기 때문에 동심침전극보다 더 선택적이라고 주장하였다. 박 등²⁹은 사용된 침전극의 종류에 따라 운동단위 활동전위의 각 지표 값이 달라지기 때문에 정량 분석 시 침전극의 종류에 특정한 정상치를 참조하여야 하나, 주로 단극침전극을 사용하는 국내의 상황에서는 이를 이용한 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 있다고 주장하였다.

전환점-진폭간의 cloud 외에, amplitude-activity cloud와 NSS-activity cloud를 이용한 간섭양상의 분석이 신경병증이나 근육병증의 진단에 더 예민하다는 보고가 있는데,^{5,30} 향후 설정된 cloud로 실제 민감도와 특이도에 대한 연구가 지속되어야 할 것이다. 소아의 경우 검사 시 순응정도가 더욱 떨어짐을 고려할 때, 앞으로 연령별 정상 cloud 설정을 포함한 간섭양상분석의 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

결 론

객관적이며 편리한 근전도 분석방법의 하나로 제시될 수 있는 정량적 근전도 방법의 일환으로 정상 성인의 성별, 근육별 전환점-진폭 cloud를 설정하였으며, 이는

심화 연구를 통하여 소아를 포함한 검사의 순응도가 떨어지는 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.

참고문헌

1. Brown WF: The physiologic and technical basis of electromyography, 1st ed, Butterworth Publisher, 1984, pp 287-316.
2. 손민균: 대한재활의학회 춘계 학술대회 연수강좌, 서울: 대한재활의학회: 의학문학사, 2005, pp 21-34.
3. Sanjeev D, Nandedkar, Donald B, Sanders, Erik V, Stålberg: Stimulation and analysis of the electromyographic interference pattern in normal muscle. Part I. turns and amplitude measurements. Muscle Nerve 1986; 9: 423-430.
4. Willison RG: Analysis of electrical activity in healthy and dystrophic muscle in man. J Neurol Neurosurg Psychiatry 1964; 27: 386-394.
5. Gilchrist JM, Nandedkar SD, Stewart CS: Automatic analysis of the electromyographic interference pattern using the turns amplitude ratio. Electromyogr Clin Neurophysiol 1988; 70: 534-540.
6. Dorman LJ, McGill KC: AAEE minimono graph# 29: Automatic quantitative electromyopathy. Muscle Nerve 1988; 11: 804-818.
7. Sanders DB, Stålberg EV, Nandedkar SD: Analysis of the electromyographic interference pattern. J Clin Neurophysiol 1996; 13: 385-400.
8. Sanjeev D, Nandedkar, Donald B, Sanders, Erik V, Stålberg, Andreassen S: Stimulation of concentric needle EMG motor unit action potentials. Muscle Nerve 1988; 11: 151-159.
9. Haridasan G, Sanghvi SH, Jindal GD, Joshi VM, Desai AD: Quantitative EMG using automatic analysis. J Neurol Sci 1979; 42: 53-64.
10. J. Stempel, S. Vielhaber, H. Tschernitschek, H. Hinrichs, F. Awiszus, H. Feistner: Effects of neuropathic and myopathic from normal EMG using parameters of the turns/amplitude analysis. Clin Neurophysiol 1999; 110: 1139-1143.
11. 김진호, 한태륜, 성덕현: 신경병증과 근육병증에서의 근

- 전도 간섭양식의 자동정량분석. 대한재활의학회지 1991; 15: 22-33.
12. 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 Pshchiatry* 1976; 39: 742-750.
 13. Garcia HA, Milner-Brown HS, Fisher MA: "Turns" analysis in the physiologic evaluation of neuromuscular disorders. *J Neurol Neurosurg Pshchiatry* 1980; 70: 534-540.
 14. Stålberg E, Chu J, Bril V, Nandedkar S, Stålberg S, Ericsson M: Automatic analysis of the EMG interference pattern. *EEG Clin Neurophysiol* 1983; 56: 672-681.
 15. Sanjeev D, Nandedkar, Donald B, Sanders, Erik V, Stålberg: On the shape of the normal turns-amplitude cloud. *Muscle Nerve* 1991; 14: 8-13.
 16. Nirkko 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.
 17. Diane PL, Smyth RG, Willison; Quantitative electromyography in babies and young children with no evidence of neuromuscular disease. *J Neurological Science* 1982; 56: 209-217.
 18. Arto C, Nirkko, 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. *Electroencephalography Clin Neurophysiol* 1995; 97: 1-10.
 19. Fuglsang-Fredricsen A: The utility of interference pattern analysis. *Muscle Nerve* 2000; 23: 18-36.
 20. 류호현, 박윤길, 문재호, 류중선, 이윤정: 근육병환자와 정상인의 정량적 근전도를 이용한 간섭양상의 비교. 대한 근전도·전기진단의학회지 2001; 3: 13-19.
 21. Buchthal F: Electromyography in the evaluation of muscle diseases. *Methods Clin Neurophysiol* 1991; 2: 25-45.
 22. Barkhaus PE, Nandedkar SD, Sanders DB. Quantitative EMG in inflammatory myopathy. *Muscle Nerve* 1990; 13: 247-253.
 23. Barkhaus PE, Periquet MI, Nandedkar SD. Quantitative electrophysiologic studies in sporadic inclusion body myositis. *Muscle Nerve* 1999; 22: 480-487.
 24. Fuglsang-Frederiksen A, Dahl K, Lo-Monaco M. Electrical muscle activity during a gradual increase in force in patients with neuromuscular diseases. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1984; 57: 320-329.
 25. Nandedkar SD, Sanders DB, Stålberg EV. On the shape of the normal turns- amplitude cloud. *Muscle Nerve* 1991; 14: 8-13.
 26. Gilai A. Continuous EMG interference pattern analysis. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1987; 27: 534-540.
 27. Howard JE, McGill KC, Dorfman LJ: Properties of motor unit action potentials recorded with concentric and monopolar needle electrodes: ADEMG analysis. *Muscle Nerve* 1988; 11: 1051-1055.
 28. Nandedkar SD, Sanders DB: Recording characteristics of monopolar EMG electrodes. *Muscle Nerve* 1991; 14: 108-112.
 29. 박은숙, 전중선, 전세일, 박승현, 장성호, 서혜정: 경추부 척추주위근에서 단극침전극 검사 시 운동단위활동전위의 특성. 대한재활의학회지 1996; 20: 945-951.
 30. 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.