

근육병환자와 정상인의 정량적 근전도를 이용한 간섭양상(interference pattern)의 비교

연세대학교 의과대학 재활의학교실 및 근육병재활연구소

류호현 · 박윤길 · 문재호 · 류중선 · 이윤정

– Abstract –

Comparison of Interference Pattern between Normal and Myopathy Group used by Quantitative EMG

Ho Hyun Ryu, M.D., Yoon Ghil Park, M.D., Jae Ho Moon, M.D.,
Joong Sun Ryu, M.D., Yoon Jeong Lee, M.D.

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

Objectives : The aim of this study was to compare with interference pattern of normal and myopathy group.

Methods : Sixteen control subjects and nine patients were included. Patients were diagnosed as myopathy by physical examination, history taking, muscle biopsy, laboratory studies including muscle enzyme and polymerase chain reaction for progressive muscular dystrophy. We recorded EMG interference pattern from the biceps muscle, vastus medialis muscle, tibialis anterior muscle. Interference pattern was measured at each electrode position while the subject contracted muscle at different levels of maximal force. The number of turns, mean amplitude, activity, envelope, number of small segments (NSS) were measured from interference pattern recorded at each force level at each site and calculated turns/amplitude ratio, envelope/activity ratio, NSS/activity ratio.

Results : The results of this study revealed statically significant difference in turns/amplitude ratio, envelope/activity ratio, NSS/activity ratio between 2 groups. Increased turns/amplitude ratio, decreased envelope/activity ratio, increased NSS/activity ratio were shown in myopathy group ($p < 0.01$).

Conclusion : Automatic interference pattern analysis may contribute to diagnose myopathy in incooperable patients such as young children.

Key Words : Quantitative electromyography, Myopathy, Interference pattern analysis, turns/amplitude ratio, envelope/activity ratio, NSS/activity ratio

서 론

침근전도를 정량적으로 표현하려는 시도는 Buchthal

등이 운동단위활동전위 (Motir unit action potential, MUAP)를 분석하여 근신경계 질환의 진단에 이용하면서 부터이다.^{1,2} 이후 Fuglsang-Frederiksen 등은 근육병에서,³ Hyaward 등은 신경병에서⁴ turns/amplitude ratio의 진단적 유용성에 대해 연구하였다. 침근전도에서

Address reprint requests to Yoon Ghil Park, M.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

적은힘을 주었을 때는 단지 몇 개의 운동단위(motor unit)에서 동원된 MUAP가 기록된다. 그리고, 어느 정도 이상 수축하면 활동하는 운동 단위수가 많아지고 발화율이 증가되어 MUAP가 겹치거나 중첩되어 각각의 MUAP가 더 이상 인식되지 않을 때 간섭양상(interference pattern)이라 하고, 이는 기록전극의 범위내의 모든 활동성 있는 운동단위(active motor units)의 MUAP의 수와 크기에 대한 정보를 제공한다.⁵ 즉, 간섭양상은 운동단위(motor units)의 수, 발화율(firing rate), 동원(recruitment)양상의 특징에 대한 정보를 포함하고 있다.⁶ 이러한 정보를 통상적 근전도에서는 fullness 정도로 불완전 혹은 완전 간섭양상 등으로 주관적 표현에 의존하였으나,^{7,8} 정량적 검사에서는 이를 수치화 하여 보다 객관적인 근거를 제시한다. 따라서, 정량적 간섭양상분석(interference pattern analysis, IPA)은 신경이나 근육의 질환에 의한 간섭양상 변화를 정량적으로 분석하여 진단에 도움을 줄뿐만 아니라, 근육활동성(muscle activity), 근육 피로, 만성 근육통, botulinum toxin으로 치료한 dystonic muscle의 평가 등에 유용하며, 검사자들 간에 오차를 줄일 수 있고, 각 검사실 사이 혹은 동일환자의 시간에 따른 비교를 할 수 있다.^{9,12}

Willson은 간섭양상 분석에서 전위(amplitude)는 연속된 전환(turn)사이의 정점과 정점(peak to peak)으로, 전환(turn)은 연속된 정점과 정점 사이(peak to peak) 전위(amplitude)가 적어도 100 μ V 이상의 차이를 보일 때로 정의하였다.⁷ 이는 근 섬유 활성화의 동시성을 반영하며 전극 근처에 위치한 근 섬유 활동전위에 의해 결정된다.¹³ 전환(turn)의 정의에 있어서 전위차를 50 μ V¹⁴ 혹은 30 μ V¹⁵ 이상으로 하면 간섭양상 분석시 근육 신경계 질환의 진단에 더욱 민감하다고 하였으나 이러한 전통적인 정의는 수년간 변하지 않았다.

Buchthal 등은 간섭양상에서 전위(amplitude)에 대한 간단한 방법으로 envelope를 설명하였는데 이는 모든 양성 정점(positive peak)을 이은 선과, 모든 음성 정점(negative peak)를 이은 선으로 정의하였고, 500 msec동안의 간섭양상에서 다섯 번째 양성 정점(5th most positive peak)과 다섯 번째 음성 정점(5th most negative peak)의 전위차를 envelope amplitude라고 하였다.¹⁶

Nandekar 등은 IPA의 진단적 민감도와 특이도를 높이기 위해 3가지의 변수를 제시하였는데 이는 upper centile amplitude(UCA), activity, number of small segment(NSS)이다.¹⁷ 근 수축력이 증가하면 activity, UCA, envelope amplitude 모두 증가하게 되며, UCA와 envelope amplitude 사이에 매우 큰 상관관계를 보였다.^{16,17}

Upper centile amplitude(UCA)는 간섭양상을 구

성하는 운동단위 활동전위들(MUAPs)의 정점간 전위(peak to peak amplitude)의 상한선을 정의하며 서로 중첩된 MUAP 영향을 배제하기 위해, 가장 큰 양성 및 음성 전환을 배제하고 측정하는 전위를 사용하며 UCA는 amplitude와 강한 양의 상관관계를 나타낸다.^{5,16,17}

Nandekar는 간섭양상을 보다 객관화하기 위해 activity를 정의하였는데, 이는 1초 동안 나타난 특정 MUAP의 지속시간(duration)의 합으로 정의하였다. 즉, 간섭양상의 밀도를 의미하며, 이 값이 500 msec 이상이면 눈으로 볼 때 완전 간섭양상으로 나타난다.^{5,18} 여기에서 특정 MUAP란 전위 및 지속시간에 따라 나누게 되며, MUAP의 전위가 2 mV 이상일 때는 지속시간이 5 msec 이하인 것만, 0.5~2 mV일 때는 3 msec 이하인 것만, 0.5 mV 이하일 때는 1.5 msec 이하인 MUAP의 지속시간을 합하였다.^{5,19} 정상에서 activity는 힘과 강한 상관관계를 보이며, 전환수(turns)는 강하진 않지만 힘과 상관관계를 보였다.⁵

NSS는 특정 지속시간이하인 분절(segment)의 합으로 정의하였고, 이는 간섭양상에서 운동단위 활동전위의 다상성을 포함한 복잡성(complexity)를 표현한다.^{5,19} 힘이 어느 정도 증가하게 되면 높은 전위의 MUAP의 동원으로 small segment가 making되어 NSS는 비교적 일정해진다.⁵

이러한 정량적인 변수를 이용하면, 근육병에서는 평균 진폭에 대한 전환수의 최대비(Peak ratio of turns to mean amplitude) 및 평균비(mean ratio)가 증가하고, 신경병에서는 감소하여 둘 사이의 진단에 도움을 줄 수 있고,^{5,20,21} NSS-activity cloud, UCA-activity cloud 역시 진단에 의미가 있었다.¹⁹

우리나라에서는 김 등이 신경-근 질환군에서 전환점-진폭분석방법을 통해 두 군간 높은 민감도를 보임을 밝혔다.²²

국내에서는 정상인과 근육병 환자 사이에 IPA에 관한 연구 및 NSS, envelope, activity를 이용한 연구가 없는 실정이다. 따라서, 본 연구는 MUAP 분석에 비해 비교적 근 수축력에 영향을 덜 받는 IPA를 통하여 각 근육별 정상치 및 전환점-진폭 분석(turns-amplitude analysis)뿐만 아니라, NSS, envelope, activity를 이용한 IPA이 근육병 진단에 도움이 되는지 보고자 하였다.

연구 대상 및 방법

1) 연구 대상

근육 및 신경계 질환이 없는 것으로 확인된 7세에서 29세의 16명(남자 12명, 여자 4명, 평균연령 18.8세)을 대조군으로 하였고, 환자군은 2001년 3월부터 5월

까지 영동세브란스병원 재활의학과에서 근전도 검사를 시행한 환자중 문진 및 이학적 검사, 유전자검사, 혈액 검사, 통상적 근전도 검사 등에서 근육병으로 진단된 6세에서 21세까지의 8명(남자 7명, 여자 1명, 평균 연령 9.1세)을 대상으로 하였다.

환자군이 이환된 근육병의 종류를 보면 뒤시엔느 근 디스트로피는 6례였고, 다른 2명은 Becker형 진행성 근 이영양증 환자와 근육병 종류가 확진 되지않은 6세 여자 환자였다

2) 연구 방법

정량적 간섭양상은 상완이두근(Biceps muscle), 내측 대퇴광근(Vastus medialis muscle), 전경골근(Tibialis anterior muscle)에서 얻었다. 협응도가 떨어지는 소아의 경우에는 전경골근 검사에서는 발바닥을 자극하여 수축을 유도하였고, 내측 대퇴광근 검사에서는 쿠션을 대어 무릎을 약간 구부린 상태에서 검사하였다.²³

기록전극은 단극 침전극(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)로는 전환수(number of turns), 평균 진폭(mean amplitude), envelope, number of small segment, activity였고 이들은 자동 측정되었다. 이러한 변수들로부터 turns/amplitude ratio, envelope/activity ratio, NSS/activity ratio를 구하였다.

근전도 기록은 단극 침전극을 근육의 중앙부에 삽입한 후에 loud speaker로 crisp sound가 들리도록 침전극의 위치를 조절한후 4단계의 근수축으로 유도된 간섭양상을 얻었고, 각각의 근육에서 최소 20회의 간섭양상을 얻었다. 수축사이에 근 피로를 줄이기 위해 수초간 휴식기를 가졌다.^{24,25} 침의 위치를 달리하기 위해 전후 혹은 좌우로 적어도 5 mm 이상 진행시켜 한 근육당 5~6부위에서 검사하여 같은 위치에서 간섭양상이 얻어지는 것을 피하였다.

상완이두근에서는 환자군과 정상군 각각 8명과 11명에서 자료의 수는 171례, 252례의 간섭양상(epoch)을, 내측 대퇴광근에서는 각각 4명, 11명에서 각각 95례, 256례를, 전경골근에서는 각각 8명과 10명에서 165례 및 218례를 얻었다.

3) 통계처리

자료의 통계처리는 상용프로그램인 SPSS 10.0 for Windows를 이용하여 두 군간의 t-test를 이용하여 유

의성을 검증하였다.

결 과

환자군과 대조군의 상완이두근에서 시행한 간섭양상을 산포도로 나타낸 것으로 두 군의 비교를 위해 비(기울기)를 구하였다(Fig. 1~3). 환자군의 turns/amplitude ratio, envelope/activity ratio, NSS/activity ratio는 각각 $1.19 \pm 0.59^*$, $5.68 \pm 7.22^†$, $1.01 \pm 0.30^†$ 이었고, 대조군에서는 0.65 ± 0.27 , 7.10 ± 3.54 , 0.81 ± 0.20 이었다.

내측 대퇴광근에서 시행한 간섭양상을 산포도로 나타낸 것으로 환자군의 turns/amplitude ratio, envelope/activity ratio, NSS/activity ratio는 $0.95 \pm 0.58^*$, $7.16 \pm 4.80^*$, $0.94 \pm 0.22^†$ 인 반면 대조군에서는 각각 0.45 ± 0.116 , 10.76 ± 5.80 , 0.73 ± 0.16 을 보였다(Fig. 4~6).

전경골근에서 얻은 산포도로 환자군과 대조군의 turns/amplitude ratio, envelope/activity ratio, NSS/activity ratio를 구하였으며, 환자군에서는 각각 $1.30 \pm 0.59^*$, $4.71 \pm 3.13^†$, $1.14 \pm 0.68^†$ 이었고, 대조군에서는 0.57 ± 0.18 , 8.05 ± 5.61 , 0.81 ± 0.16 이었다(Fig. 7~9).

즉, 근육병 환자군의 정량적 간섭양상 분석은 정상군보다 turns/amplitude ratio의 증가, envelope/activity ratio의 감소, NSS/activity ratio의 증가를 보였고, 이 모든 결과들은 통계학적으로 유의하였다(* $p < 0.01$, $^†p < 0.05$) (Table 1).

고 찰

운동단위 활동전위 분석(motor unit potential analysis, MUPA)은 적은 힘(minimal contraction)으로 유도된 운동단위(motor unit)의 생리학적 변화 등을 알 수 있는 반면, 간섭양상분석은 모든 힘의 범위(whole force range)에서 유도된 운동단위(motor unit)를 반영한다.⁹ 즉, 모든 종류의 MUAP이 작용하여 형성된 신호를 기록할 수 있고, 환자의 협조가 그렇게 중요한 인자가 아니며 비교적 빠르게 신호를 얻고 정보를 처리할 수 있다는 장점이 있으나 각 MUAP의 모양에 따른 변수나 발화율(firing rate)을 직접 측정할 수 없어 간섭양상의 증가가 점증, 발화율 또는 MUAP의 모양의 변화 중 어느 것에 의한 것인지는 알 수 없는 단점이 있다.²⁶ 따라서, 검사에 협조가 충분하지 않아 적은 힘을 유도하기가 어려운 소아 환자의 검사에 도움이 될 수 있다.^{18,22}

IPA는 MUP 분석에 비해 민감도가 높고(각각 74%, 49%) 특이도는 차이가 없으며(각각 80%, 81%), 검사

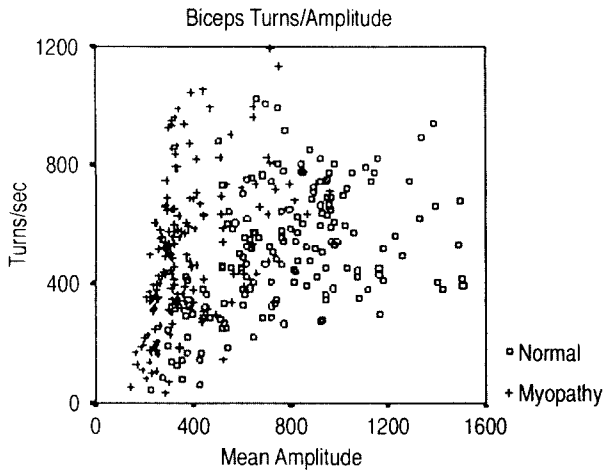


Fig. 1. Scattergraph of Amplitude and Turns in Biceps Muscle.

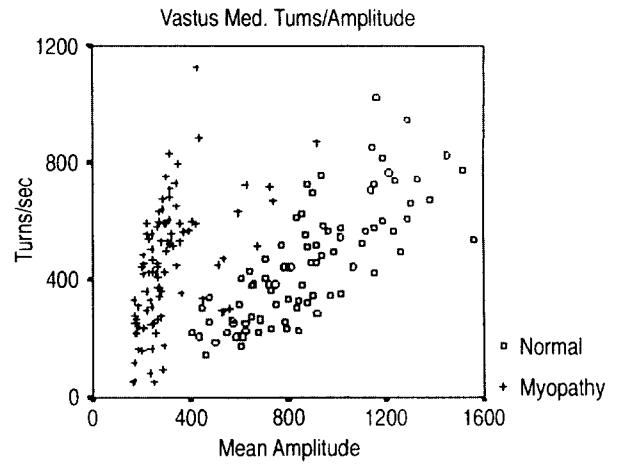


Fig. 4. Scattergraph of Amplitude and Turns in Vastus Medialis Muscle.

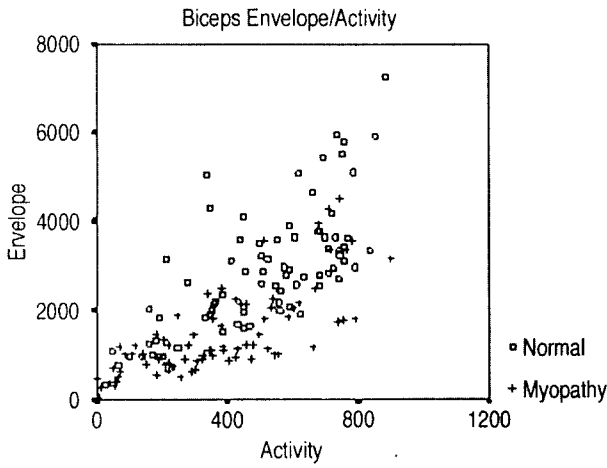


Fig. 2. Scattergraph of Envelope and Activity in Biceps Muscle.

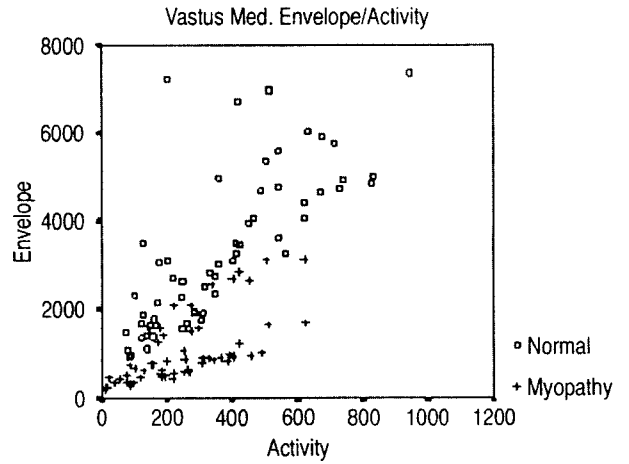


Fig. 5. Scattergraph of Envelope and Activity in Vastus Medialis Muscle.

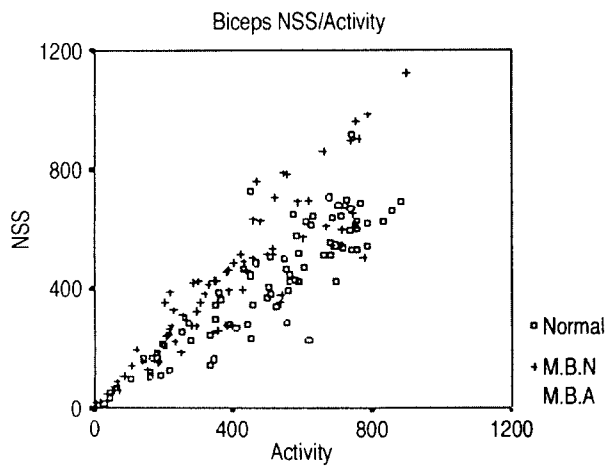


Fig. 3. Scattergraph of NSS and Activity in Biceps Muscle.

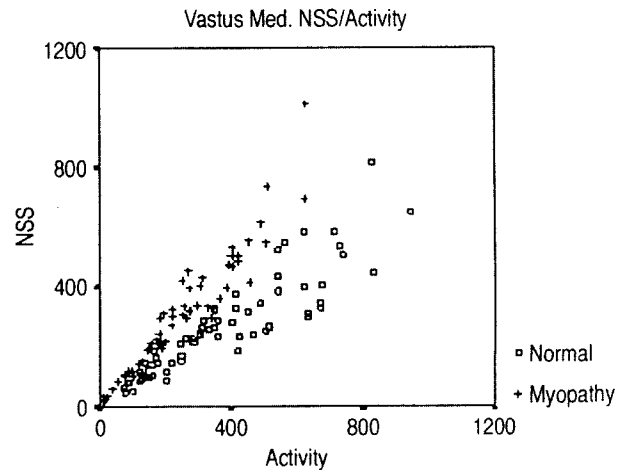


Fig. 6. Scattergraph of NSS and Activity in Vastus Medialis Muscle.

시간이 각 근육당 5분이내 이며, 검사자에의한 오차가 적다는 장점이 있다. 따라서, 근신경계 질환이 의심되는 경우 검사하고자 하는 근육에대한 정상 참고치만 있다면 일차적 진단방법으로 MUP 분석 보다 IPA를 권유하였다.²⁵ IPA가 진단적 장점이 있는 이유로는 첫째, 근육질환에서 MUP의 지속시간 감소보다 진폭의 감소가 먼저

일어난다는 점, 둘째, MUP 분석은 low threshold motor unit 즉 small fiber 위주로 검사를 하게되지만 병변은 higher threshold motor unit에서 더 많이 일어난다는 점, 셋째, 민감도는 더 높고, 특이도 차이는 거의 없다는 점이다.

turns-amplitude analysis방법은 간섭양상을 이용한 검사 중에서 가장 많이 연구되어왔고, 가장 널리 사용되고있는 방법이다.^{6,10,19,24,27,28} Rose와 Willison은 상완이두근의 간섭양상 분석에서 일정 힘의 수축에서 근육병(primary muscle disease)에서 전환수가 증가한다고 하였다.²⁹ Hayward와 Willison은 신경병증(neuropathy) 환자의 간섭양상 분석에서 전환 사이에 평균 전위의 변화는 증가하고, 전환수는 변하지 않는다고 하였다.⁴

간섭양상이 근 수축 정도에 따라 달라지므로 초기 연구에는 일정한 힘, 예를 들면 상완 이두근에는 2 kg, 대퇴 사두근에는 5 kg를 가하여 간섭양상을 분석하였다. Fuglsang-Frederiksen 등은 최대우력(maximum force)의 30%로 유도된 간섭양상에서 측정된 turns/amplitude ratio가 신경-근육질환의 진단에 가장 민감하다고 했다.^{3,30}

근 수축 정도를 고려하지 않고 turns-amplitude analysis를 할 수 있는 방법으로 cloud의 개념을 이용하

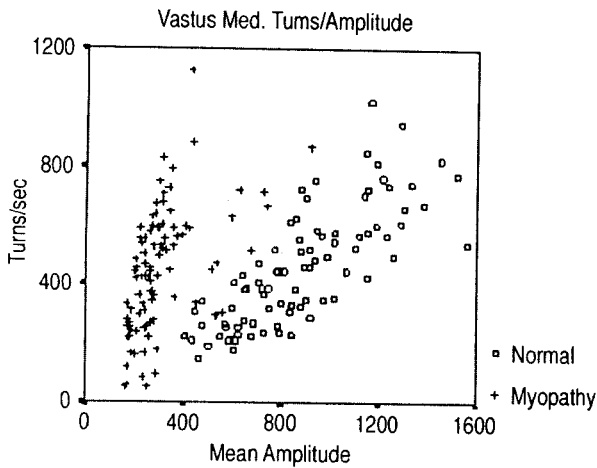


Fig. 7. Scattergraph of Amplitude and Turns in Tibialis Anterior Muscle.

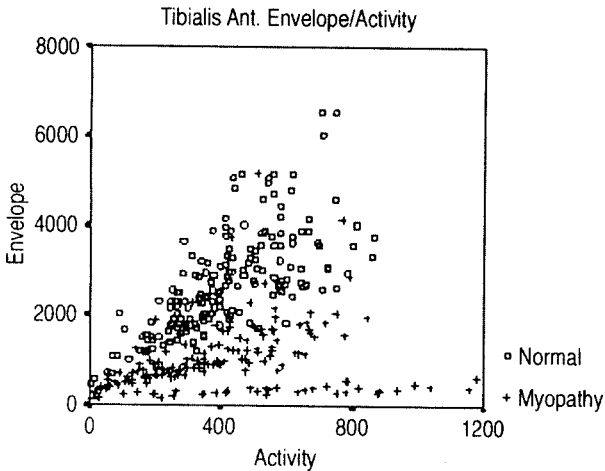


Fig. 8. Scattergraph of Envelope and Activity in Tibialis Anterior Muscle.

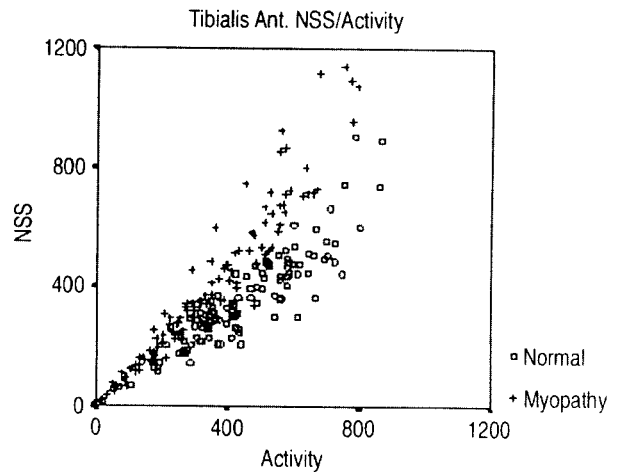


Fig. 9. Scattergraph of NSS and Activity in Tibialis Anterior Muscle.

Table 1. Comparison of Calculated Ratios between Myopathy and Normal Groups.

	Biceps muscle		Vastus medialis muscle		Tibialis anterior muscle	
	Myopathy	Normal	Myopathy	Normal	Myopathy	Normal
turns/amplitude ratio	1.40±0.62*	0.65±0.27	1.49±0.60*	0.45±0.12	1.38±0.48*	0.57±0.18
envelope/activity ratio	3.98±1.71 [†]	7.10±3.54	4.43±2.30*	10.76±5.80	3.10±1.99	8.05±5.61
NSS/activity ratio	1.15±0.30 [†]	0.81±0.20	1.26±0.22 [†]	0.73±0.16	1.15±0.24	0.81±0.16

Values are mean±S.D. *p<0.01, †p<0.05

였는데, 이는 정상 근육에서 검사하여 산점으로 나타낼때 90% 이상이 속하는 범위를 cloud라 정의하였고, 20~30 번 검사에서 10% 이상 정상 cloud를 벗어나면 비정상적으로 간주 하였다.^{24,31,32} 근육병증에서는 정상 cloud의 아래 쪽으로 신경병증에서는 위쪽으로 산점하게 된다. 이는 신경병증과 근육병증의 진단에서 MUP분석보다 더 예민하다고 하였다.³³ 또한, amplitude-activity cloud와 NSS-activity cloud를 이용한 IPA는 turns-amplitude cloud 보다 신경병증이나 근육병증의 진단에 더 예민하다고 하였다.^{34,35}

본 연구 역시 근수축의 정도를 고정하지 않고 검사를 시행하였으며 두군간 통계적으로 유의 있는 결과를 얻었다.

침전극의 종류가 간섭양상의 정량적 분석에 영향을 줄 수 있는데, 이는 침전극의 종류에 따라 MUAP의 여러 정량적 변수에 영향을 줄 수 있기 때문이다. 단극 침전극으로 기록한 MUAP의 진폭, 면적, 극과면적, 위상수가 동심성 침전극에 의한 경우보다 통계적으로 유의하게 컸고, 지속시간 및 전환수는 큰 차이는 없었다.³⁶ 그리고, IPA의 침전극의 종류에 의한 영향은 단극 침전극 사용시 동심성 침전극보다 전환수가 증가한다고 하였다.³⁷ 따라서, 검사할 마다 근전도 장비뿐만아니라 침전극을 표준화한 IPA에 대한 참고치가 확보 되어야 하리라 생각된다.

결 론

근육병 진단을 위한 근전도 검사중 간섭양상의 정량적 검사가 도움이 되며, 특히 나이 어린 소아처럼 검사의 순응도가 떨어지는 환자에서 도움이 되리라 생각된다.

향후, 연령, 성, 근육별로 turns-amplitude cloud, NSS-activity cloud, envelope-activity cloud에 대한 연구 뿐만 아니라 침전극에 따른 간섭양상의 정량적 평가가 필요하리라 생각된다.

참고문헌

1. Buchthal F, Pinelli P, Rosenfalck P: Action potential parameters in normal human muscle and their physiological determinants. *Acta Physiol Scand* 1954; 22: 219-229
2. Sanjeev D. Nandekar, Donald B. Sanders, Erik V. Stalberg: Stimulation and analysis of the electromyographic interference pattern in normal muscle. Part I. turns and amplitude measurements. *Muscle Nerve* 1986; 9: 423-430
3. 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

4. Hayward M, Willison RG: Automatic analysis of the electromyogram in patients with chronic partial denervation. *J Neurol Sci* 1977; 33: 415-423
5. Sanjeev D. Nandekar, Donald B. Sanders, Erik V. Stalberg: Automatic analysis of the electromyographic interference pattern: Part I. Development of the quantitative parameters. *Muscle Nerve* 1986c; 9: 431-439
6. Donald B. Sanders, Erik V. Stalberg, Sanjeev D. Nandekar: Analysis of the electromyographic interference pattern. *J of Clin Neurophysiol* 1996; 13: 385-400
7. Willison RG: Analysis of the electrical activity in healthy and dystrophic muscle in man. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1964; 27: 386-394
8. Buchthal F, Kamieniecka Z: The diagnostic yield of quantified electromyography and quantified muscle biopsy in neuromuscular disorder. *Muscle Nerve* 1982; 5: 265-280
9. Anders Fuglsang-Fredricsen, MD, DMSc: The utility of interference pattern analysis. *Muscle & Nerve*. 2000; 23: 18-36
10. Rocco Liguori, Kristian Dahl, Anders Fuglsang-Frederiksen : Turns-amplitude analysis of the electromyographic recruitment pattern disregarding force measurement. I. Method and reference values in healthy subjects. *Muscle Nerve* 1992; 15: 1314-1318
11. 박은숙, 전중선, 전세일, 박승현, 장성호, 서혜정: 경추부 척추추위근에서 단극침전극 검사시 운동단위활동전위의 특성. *대한재활의학회지* 1996; 20: 945-951
12. Dorfman LJ, McGill KC: Automatic quantitative electromyography. *Muscle Nerve* 1988; 11: 804-818
13. Sanjeev D. Nandekar, Donald B. Sanders, Erik V. Stalberg Andreassen S: Stimulation of concentric needle EMG motor unit action potentials. *Muscle Nerve* 1988; 11: 151-159
14. Haridasan G, Sanghvi SH, Jindal GD, Joshi VM and Desai AD: Quantitative EMG using automatic analysis. *J. Neurol. Sci.* 1979; 42: 53-64
15. J. Stempel, S. Vielhaber, H. Tschernitschek, H. Hinrichs, F. Awiszus, H. Feistner: Effects of the amplitude threshold on the separability of neuropathic and myopathic from normal EMG using parameters of the turns/amplitude analysis. *Clin Neurophysiol.* 1999; 110: 1139-1143
16. Sanjeev D. Nandekar, PhD. et al: Measurement of the amplitude of the EMG envelope. *Muscle Nerve* 1990; 13: 933-938
17. Sanjeev D. Nandekar, Donald B. Sanders, Erik V. Stalberg: Stimulation and analysis of the electromyographic interference pattern in normal muscle. Part II: Activity, upper centile amplitude, and number of small segments. *Muscle Nerve* 1986; 9: 486-490

18. 손민균: 근전도 검사의 정량적 분석: 대한근전도전기진단의 학회지 2000; 2(2): 79-82
19. 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* 1986d; 9: 491-500
20. J. Finster, B. Mamoli, A. Fuglsang-Frederiksen: Peak-ratio interference pattern analysis in the detection of neuromuscular disorders. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1988; 70: 534-540
21. Paul E. Barkhaus, Sanjeev D. Nandedkar, Donald B. Sanders: Quantitative EMG in inflammatory myopathy. *Muscle Nerve* 1990; 13: 247-253
22. 김진호, 한태륜, 성덕현: 신경병증과 근육병증에서의 근전도 간섭양식의 자동정량분석. 대한재활의학회지 1991; 15: 22-33
23. Diane PL, Smyth RG, Willison: Quantitative electromyography in babies and young children with no evidence of neuromuscular disease. *J of neurological science* 1982; 56: 209-217
24. Stalberg 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
25. 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 and Clin Neurophysiology* 1995; 97: 1-10
26. McGill KC, Lau K, Dorfman LJ: A comparison of turn analysis and motor unit analysis in electromyography. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1991; 81: 8-17
27. Fuglsang-Frederiksen A: Interference EMG analysis, in Desmedt JE(ed): *Computer-Aided Electromyography and Expert System*. Amsterdam, Elsevier, 1989. pp 161-179
28. Gilai A: Analysis of turns and amplitude in EMG, in Desmedt JE(ed): *Computer-Aided Electromyography and Expert System*. Amsterdam, Elsevier, 1989, pp 143-160.
29. Rose AL, Willison RG: Quantitative electromyography using automatic analysis: studies in healthy subjects and patients with primary muscle disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1967; 30: 403-410
30. Fuglsang-Frederiksen A, Scheel U, Buchthal F: Diagnostic yield of the analysis of the pattern of electrical activity of muscle and of individual motor unit potentials in neurogenic involvement. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1977; 40: 544-554
31. Sanjeev D. Nandedkar, Donald B. Sanders, Erik V. Stalberg.: On the shape of the normal turns-amplitude cloud. *Muscle Nerve* 1991; 14: 8-13
32. Sanjeev D. Nandedkar, Donald B. Sanders, Erik V. Stalberg: Stimulation and analysis of the electromyographic interference pattern in normal muscle. Part I: turns and amplitude measurement. *Muscle Nerve* 1986; 9: 419-426
33. 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
34. Gilchrist JM, Nandedkar SD, Stewart CS, Massesey JM, Sanders DB, Barkhaus PE: Automatic analysis of the electromyographic interference pattern using the turns: amplitude ratio. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1988; 70: 534-540
35. 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
36. 손민균: 동심성침전극과 단극침전극으로 기록한 운동단위활동전위의 정량적 비교. 대한재활의학회지 1996; 20: 207-214
37. E. Stalberg, J. Chu, V. Bril, S. Nandedkar, S. Stalberg, M. Ericsson: Automatic analysis of the EMG interference pattern. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1983; 56: 672-681