



V CONVEGNO INTERNAZIONALE L76-20
DELLA SOCIETÀ ITALIANA
DI INFORMATICA MEDICA

TECNICHE DI INVESTIGAZIONE DEL SISTEMA NEUROMUSCOLARE

F. Denoth; Istituto di Elaborazione della Informazione,
C.N.R. Pisa.

TORINO, 14-15-16-17 OTTOBRE 1976



TECNICHE DI INVESTIGAZIONE DEL SISTEMA NEUROMUSCOLARE

Franco DENOTH

Istituto di Elaborazione della Informazione, C.N.R. - Pisa

I significati clinici e neurofisiologici dell'EMG sono stati evidenziati ed ampiamente descritti da vari Autori [1 ÷ 16], i quali hanno anche suggerito i parametri più significativi per la descrizione e la valutazione del fenomeno nei suoi vari aspetti. Proprio da questa analisi nasce una crescente esigenza di quantizzare in maniera oggettiva i vari parametri e di valutarne quantitativamente la interdipendenza con l'EMG. Questi scopi vengono generalmente perseguiti utilizzando piccoli calcolatori per analizzare i segnali mioelettrici ricavati dall'unità motoria e dai sistemi che immediatamente la precedono e la seguono nell'organizzazione gerarchica del sistema neuromuscolare [17 ÷ 23] .

Il problema deve essere considerato da un duplice punto di vista: il punto di vista informatico volto ad individuare i parametri significativi ed a calcolarne il valore, e il punto di vista sistemistico volto alla definizione di modelli funzionali in grado di simulare parti del sistema neuromuscolare.

I due aspetti del problema sono particolarmente evidenti nella riabilitazione motoria dove è necessario valutare il recupero del tono muscolare e della capacità contrattile e, soprattutto, il recupero dello schema motorio, ossia dell'uso corretto dei meccanismi riabilitati.

Presso l'Istituto di Elaborazione dell'Informazione del C.N.R. di Pisa è attiva una Unità Operativa, facente capo al subprogetto SENS 4 del Programma Finalizzato per le Tecnologie Biomediche. L'Unità dispone di vari mezzi di calcolo (HP 2100 + HP 5451A e sistemi analogici e digitali per il condizionamento e la pre-elaborazione di segnali) ed ha affrontato vari aspetti della caratterizzazione e quantificazione dell'EMG.

Il problema informatico viene risolto convertendo l'EMG in forma numerica ed elaborando i dati così ottenuti con algoritmi per il calcolo di tempi di latenza, attività integrata, numero di attraversamenti di zero, spettro densità di potenza, istogrammi di ampiezze e di intervalli temporali, etc. Di queste grandezze viene fornito anche l'andamento nel tempo.

Una elaborazione di tipo particolare richiede l'EMG relativo a singole unità motorie dove interessa caratterizzare la forma del potenziale d'azione e le modalità della scarica (frequenza istantanea in funzione del tempo). Dall'andamento nel tempo della frequenza di scarica si traggono informazioni sui meccanismi di controllo a livello di struttura elementare.

I programmi per effettuare le elaborazioni sopra citate sono stati implementati su un sistema "Fast Fourier Analyzer" (HP 5451A + HP 2100) utilizzando parte del software di dotazione del sistema ed alcuni "user program" appositamente realizzati. Il risultato delle elaborazioni viene fornito sia sotto forma numerica, sia sotto forma grafica.

La fig. 1 mostra alcuni esempi di elaborazione relativi all'attività del bicipite e del tricipite durante variazioni isometriche di carico.

I grafici mostrano l'andamento nel tempo di varie grandezze su un intervallo di tempo di 43 secondi con la risoluzione di 0,5 secondi.

L'aspetto sistemistico del problema richiede in generale uno studio dinamico della parte di sistema neuromuscolare in esame. Una

richiesta fondamentale è quindi quella di poter dare al sistema delle eccitazioni (forze e/o spostamenti) di tipo noto ed adattabili alle varie esigenze. A questo scopo è stata realizzata una apparecchiatura elettropneumatica a controllo numerico, in grado di simulare i più svariati tipi di eccitazione approssimandoli con gradini successivi. L'apparecchiatura consiste in un generatore pneumatico di forze collegato ad un attuatore meccanico, di volta in volta adattato alle esigenze determinate dalla particolare parte del sistema muscolare oggetto di indagine.

Durante l'eccitazione del sistema viene rilevato l'andamento in funzione del tempo di varie derivazioni EMG e lo stato dei trasduttori di forza e posizione.

Esempi di funzionamento e applicazione dell'apparecchiatura sono mostrati nelle figure 2 e 3. La fig. 2 mostra come vari tipi di eccitazione possono essere approssimati con una sequenza di eccitazione di tipo a gradino mentre la fig. 3 mostra un esempio di applicazione.

L'apparecchiatura è tutt'ora in fase di sviluppo ed è previsto controllarla anche attraverso un minicalcolatore. Pertanto le modalità dell'esperimento potranno essere adattate in base all'evoluzione del sistema.

Riteniamo che l'impiego di questa apparecchiatura, caratterizzata da una grande flessibilità e dalla possibilità di fornire eccitazioni calibrate e ripetibili, possa portare un reale contributo alla valutazione quantitativa della riabilitazione motoria.

Bibliografia

- 1 Buchthal F. and Pinelli L. "Analysis of muscle action potentials as a diagnostic aid in neuro-muscular disorders" *Acta Med. Scand.*, 142 (suppl. 266), 1952, 315.
- 2 Pinelli P. "Premesse all'analisi clinica dei valori del singolo potenziale d'azione muscolare", *Riv. di Neurologia*, XXI, 1951, p.1.
- 3 Pinelli P. and Buchthal F. "Analysis of the duration, shape and amplitude of action potentials from human muscle in neuro-muscolare disorders"; II Inten. Poliomyelitis Conference, Copenhagen, Sep. 1951.
- 4 Buchthal F., Pinelli P. and Rosenfalck P. "Action potentials parameters in normal human muscle and their physiological determinants", *Acta Physiol. Scand.* 32, 1954, 220.
- 5 Buchthal F., Guld C. and Rosenfalck P. "Action potential parameters in normal muscle and their dependence on physical variables", *Acta Physiol. Scand.* 32, 1954, 200.
- 6 Buchthal F., Guld C. and Rosenfalk P. "Innervation zone and propagation velocity in human muscle", *Acta Physiol. Scand.* 35, 174, 1955.
- 7 Basmajian J.V. "Muscles alive: their revealed by electromyography" Ed. 3, Williams and Wilkins Co, Baltimore.
- 8 Plonsey R. "Bioelectric phenomena", McGraw-Hill, New York 1969.
- 9 Buchthal F. and Rosenfalck P., "On the structure of motor units", *New Develop. Electromyogr. and Clinical Neurophys.* Vol. 1 Ed. J.E. Desmedt, p.71, S.Karger, Basel 1973.

- 10 Desmedt J. (editor), New Devel. in EMG and Clin. Neuro., Vol.2, "Pathological conduction in nerve fibers" 1973, pp. 2-400.
- 11 De Luca J. and Forrest W.J. "Some properties of constant force isometric contractions in man" *Kybernetik* 12, 1973 pp. 160-168.
- 12 Ekstedt J. "Human single muscle fiber action potentials", *Acta Physiologica Scandinavica*, Vol. 61, Suppl. 226.
- 13 Ekstedt J. and Stahlberg E. "Single muscle fiber electromyography for the study of the microphysiology of the human muscle", in *New Developments in EMG and Clinical Neurophysiology*, Vol. 1, pp. 89-112, Desmedt, J.E., editor, Karger, Basel, 1973.
- 14 Gilliat R.W., "Recent advances in the pathophysiology of nerve conduction", in *New Devel. in EMG and Clin. Neuro.*, S. Karger, 1973, pp. 2-18.
- 15 Pinelli P. "Action potential parameters of motor units", *Studies on Neuromuscular Diseases, Proc. Int. Symp., Giessen, 1973*, Ed. Kunze K. and Desmed J.E., pp.92-93, Karger, Basel, 1975.
- 16 Pinelli P. "Contributi dell'istochimica allo sviluppo dell'elettromiografia: la genesi patologica della subunità e la eterogeneità di reclutamento delle unità motorie", *Riv. Istoch. Norm. Pat.*, XIX, 1975, 95-100.
- 17 Prochazka V.J, Conrad B. and Sindermann F. "Computerized single-unit interval analysis and its clinical application", in *New Developments in Electromyography and Clinical Neurophysiology* edited by J.E. Desmedt, Vol. 2, pp. 462-468, Karger, Basel 1973.
- 18 Lee R.G. and White D.G. "Computer analysis of motor unit action potentials in routine clinical electromyography", in *New Developments in Electromyography and Clinical Neurophysiology*, edited by J.E. Desmedt, Vol. 2, pp.454-461, Karger, Basel 1973.

- 19 Bergmans J. "Computer-assisted measurement of the parameters of single motor unit potentials in human electromyography", in *New Developments in Electromyography and Clinical Neurophysiology* edited by J.E. Desmedt, Vol.2, pp.482-488, Karger, Basel 1973.
- 20 Lindström L. "A model describing the power spectrum of myoelectric signals, part I: single fiber signal", Technical Report 5-75, Res. Lab. Med. Electr., Göteborg, 1974.
- 21 Lindström L. "Contribution to the interpretation of myoelectric power spectra", *Akademisk Avhandling*, Göteborg, 1974.
- 22 Agarwal G.C. and Gottlieb G.L. "An analysis of the electromyogram by Fourier, simulation and experimental techniques", *IEE*, Vol. BME-22, n.3, 1975 pp. 225-229.
- 23 Lee R.G., Ashby P., White D.G. and Agvayo A.J. "Analysis of motor conduction velocity in the human median nerve by computer simulation of compound muscle action potentials", *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, Vol. 39, 1975, pp. 225-237.

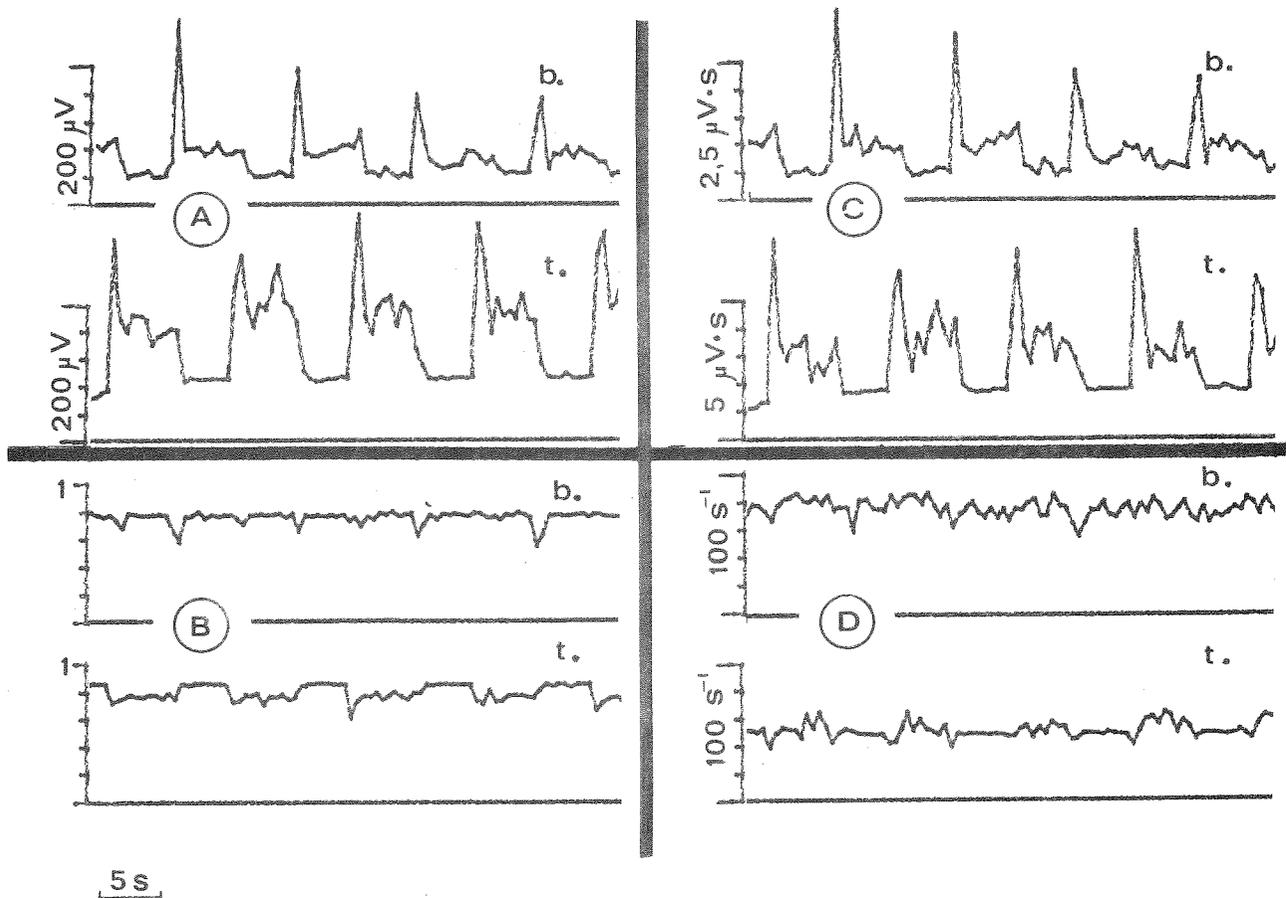


Fig. 1

Esempio di elaborazione di segnali EMG. Andamento in funzione del tempo delle grandezze

A : V_{eff} dell'EMG

B : Fattore di forma ($V_{\text{eff}} / |\bar{V}|$)

C : Indice $V_{\text{eff}} / \text{att.}\phi$

D : n° di attraversamenti di ϕ al secondo

(b : bicipite ; t : tricipite)

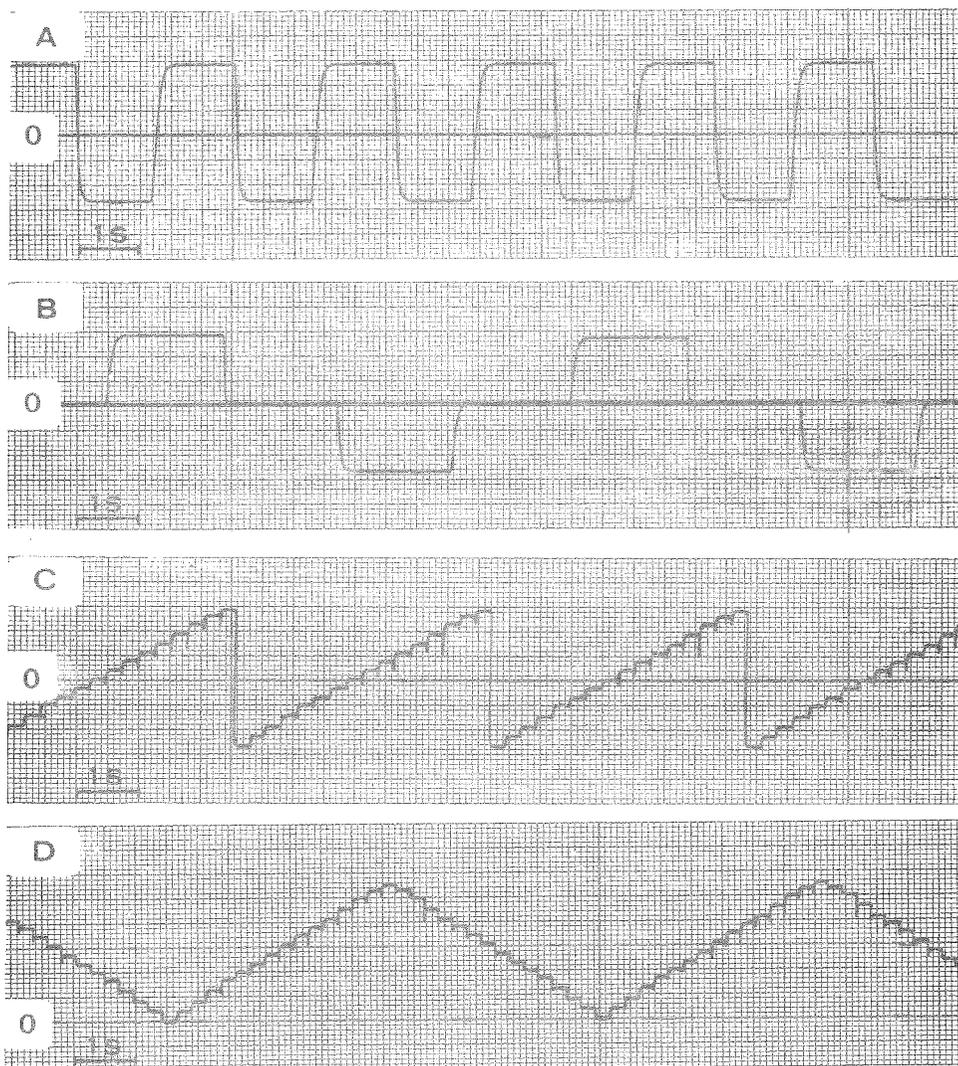


Fig. 2

Esempi di eccitazioni generate dal sistema elettropneumatico (per tutti gli esempi: coppia = 3 kg.m_{pp});

A : Onda quadra;

B : Onda quadra con ritorno a zero;

C : Dente di sega;

D : Onda triangolare.

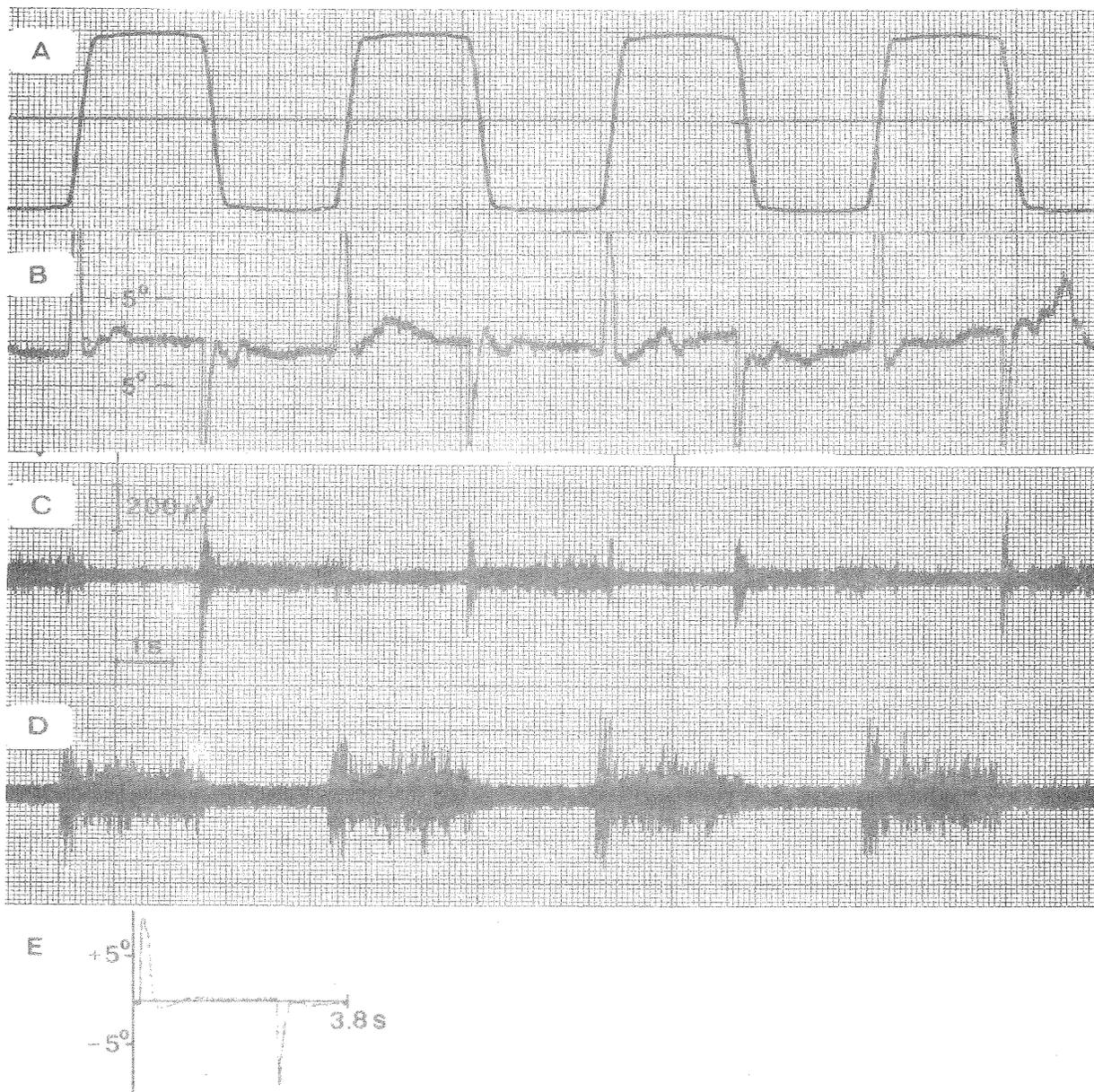


Fig. 3

Esempio di registrazione ottenuta dall'arto superiore:

- A : eccitazione; coppia applicata ± 2 Kgm.;
- B : andamento dell'angolo avambraccio-braccio in funzione del tempo;
- C : EMG superficiale del bicipite;
- D : EMG superficiale del tricipite;
- E : andamento medio del movimento angolare (media su 9 cicli).