



I N D I C E D E L C O N T E N U T O

Prefazione

Preface

Andrea Pininfarina Presidente Unione Industriale di Torino
Ruggero Lenti Presidente Piccolindustria dell'Unione Industriale di Torino

Introduzione

Introduction

R. Merletti, Direttore del LISiN

19

P R O G E T T I D I R I C E R C A
I N I N G E N E R I A
D E L S I S T E M A
N E U R O M U S C O L A R E

R E S E A R C H P R O J E C T S
O N N E U R O M U S C U L A R
S Y S T E M
E N G I N E E R I N G

Stima della frequenza di attivazione di singole unità motorie durante contrazioni volontarie tramite decomposizione incompleta di segnali EMG di superficie

Estimation of motor unit firing rate during voluntary contractions from surface EMG incomplete decomposition

C. Cescon, D. Farina, M. Gazzoni

23

Proprietà di singole unità motorie durante attivazione tramite "feedback" visivo del segnale EMG di superficie

Low threshold single motor unit properties during sustained activation by surface EMG visual feedback

F. Camelia¹, D. Farina, M. Gazzoni

26



Effetto dell'ischemia sulle proprietà di singole unità motorie durante attivazione sostenuta

Effect of ischemia on single motor unit properties during sustained activation

F. Camelia¹, D. Farina, M. Gazzoni

27

Stima della velocità di conduzione muscolare da prelievi bi-dimensionali di EMG di superficie

Estimation of average muscle fiber conduction velocity from bi-dimensional surface EMG recordings

D. Farina, R. Merletti

28

Influenza dell'accorciamento delle fibre muscolari sulla stima di velocità di conduzione da segnali EMG

Influence of muscle fiber shortening on estimates of conduction velocity from surface EMG signals

C. Disselhorst-Klug², D. Farina, R. Merletti, G. Rau², E. Schulte²

29

Confronto della selettività di filtri spaziali: influenza del modello di volume conduttore

Comparison of spatial filter selectivity: influence of the volume conductor model

D. Farina, S. Martina, R. Merletti, L. Mesin

30

Simulazione di segnali EMG di superficie da tessuti muscolari con non-omogeneità dovute alla pennazione delle fibre

Simulation of surface EMG signals generated by muscle tissues with in-homogeneity due to fiber pinnation

R. Merletti, L. Mesin



31

Simulazione del segnale EMG in volumi conduttori complessi con metodi di elementi finiti

EMG signal simulation in complex volume conductors by finite element approaches

D. Farina, S. Martina, L. Mesin

32

Stima del fattore di scalamento di onde M rilevate ad alte frequenze di stimolazione

Scale estimation from M-waves detected at high stimulation rate

D. Farina, L. Mesin

34

Un nuovo approccio alla rimozione dell'artefatto da stimolo con filtraggio adattativo

A novel approach to stimulus artifact removal using adaptive filtering

F. Assumma¹, K. Englehart³, D. Farina, F. Mandrile, R. Merletti, P. Parker³

35

Influenza della durata e dell'ampiezza di stimoli rettangolari monofasici sull'onda M

Influence of duration and amplitude of rectangular monophasic stimuli on the M-wave

D. Farina, F. Mandrile, V. Marchio⁴

37

**Cancellazione di ampiezza del segnale EMG di superficie: analisi dei fattori di influenza**

Surface EMG amplitude cancellation: analysis of factors of influence

R. Enoka⁵, D. Farina, K. Keenan⁵, K.S. Maluf⁵, R. Merletti

39

Interazione tra l'interferenza ECG e il segnale EMG in funzione della distanza interelettrodica.

Risultati preliminari

ECG interference and EMG signal interaction with respect to the interelectrode distance. Preliminary results

C. Dadone¹, A. Rainoldi

40

Sviluppo di un ecografo A-mode per la stima dello spessore degli strati sottocutanei

Development of an A-mode echograph for assessing subcutaneous tissue layer thickness

M. Cavaliere¹, E. Merlo, M. Pozzo

42

Software per il controllo e la programmazione dello stimolatore neuromuscolare programmabile St-PRO

Software for control and programming of St-PRO multichannel neuromuscular stimulator

E. Detoma⁶, M. Pozzo

44

Un GRID per il supporto della ricerca in Bioingegneria

A GRID infrastructure as support for Bioengineering research

G. Ballocca⁷, R. Borri⁷, M. Canonico⁷, M. Gazzoni , L. Lo Conte⁸

45



**APPlicazioni cliniche
e trasferimento
tecnologico alle
piccole aziende**

**CLINICAL APPLICATIONS
AND TECHNOLOGY
TRANSFER TO SMALL
COMPANIES**

Ripetibilità di stime di velocità di conduzione
muscolare con tecniche EMG multi-canale

*Reproducibility of muscle fiber conduction velocity
estimates using multi-channel surface EMG techniques*

D. Farina, M. Gazzoni, R. Merletti, D. Zagari¹

47

Ripetibilità delle stime di variabili EMG durante
stimolazione elettrica del muscolo vasto laterale

*Repeatability of EMG variables in electrical stimulation of the
vastus lateralis muscle*

C. Dadone¹, A. Rainoldi

49

Valutazione di fatica dei muscoli lombari di infermiere
anziane

Assessment of fatigue of low back muscles in elderly nurses

R. Bonfiglioli⁹, C. Cescon, M. Pozzo, R. Merletti, S. Venturi⁹, F. S. Violante⁹

50

**Effetto della forma d'onda sul reclutamento di unità motorie durante stimolazione elettrica transcutanea**

Effect of waveform shape on motor unit recruitment during transcutaneous electrical stimulation

D. Farina, F. Mandrile, M. Pozzo

51

Frequenza media e velocità di conduzione del segnale EMG di superficie nel trapezio superiore durante lavoro a tastiera

Upper trapezius surface EMG mean power spectral frequency and conduction velocity during typing tasks

D. Farina, E. Merlo, M. Pozzo, L. Scasso¹

53

Analisi delle strategie di controllo di unità motorie nel trapezio e deltoide di chitarristi e violinisti durante l'esecuzione di brani musicali

Analysis of motor unit control strategies in the upper trapezius and deltoid of guitar and violin players during playing

E. Merlo, G. Nuti¹⁰

54

Velocità di conduzione muscolare durante pedalata al variare della velocità, potenza e forza

Muscle fiber conduction velocity assessed during cycling at different speeds, powers, and forces

G. De Vito¹¹, D. Farina, R.A. Ferguson¹¹, A. Macaluso¹¹

55

Stima della velocità di conduzione delle fibre muscolari durante contrazioni dinamiche esplosive

Estimation of muscle fiber conduction velocity during explosive dynamic contractions

G. Antonutto¹², D. Farina, R. Merletti, E. Merlo, M. Pozzo, P.E. di Prampero¹²

56



Valutazione della fatica durante contrazioni cicliche eccentriche e concentriche su dispositivi a volano

Assessment of fatigue during cyclic concentric and eccentric contractions using flywheel devices

B. Alkner¹³, L. Jonsson¹³, M. Pozzo, P. Tesch¹³

59

Istanti di attivazione e ampiezza del segnale EMG in muscoli cervicali di soggetti sani durante alterazioni posturali

Onset time and EMG amplitude of neck muscles during postural perturbations in healthy subjects

D. Falla¹⁴, G. Jull¹⁴, R. Merletti, A. Rainoldi

61

Efficienza neuromuscolare dei muscoli sternocleidomastoideo e scaleno anteriore in soggetti con dolore cronico cervicale

Neuromuscular efficiency of the sternocleidomastoid and anterior scalene muscles in patients with chronic neck pain

D. Falla¹⁴, G. Jull¹⁴, A. Rainoldi

63

Correlazione tra la fatica EMG dei muscoli sternocleidomastoideo e scaleno anteriore e la durata dei sintomi in pazienti con dolore cervicale cronico

Correlation between fatigability of the sternocleidomastoid and anterior scalene muscles and duration of symptoms in chronic neck pain patients

D. Falla¹⁴, G. Jull¹⁴, A. Rainoldi

65



Proprietà di membrana e di controllo durante contrazioni affaticanti in pazienti affetti da fibromialgia

Muscle fiber membrane and motor unit control properties in fibromyalgia during fatiguing tasks

A. R. Casale¹⁵, M. Gazzoni, E. Magnani¹⁵, M. Montecucco¹⁶, A. Rainoldi

67

Stima della velocità di conduzione in muscoli della schiena

Conduction velocity estimation from back muscles

R. Bergamo¹⁷, A. Rainoldi

69

Variabili EMG e distribuzione del tipo di fibre in atleti di élite

EMG variables and fiber type distribution in elite athletes

I. Caruso¹⁸, M. Gazzoni, G. Melchiorri¹⁸, A. Rainoldi

71

Controllo in tempo reale della fatica muscolare durante contrazioni stimolate elettricamente

Real time fatigue monitoring during electrically elicited contractions

I. Caruso¹⁸, M. Gazzoni, G. Melchiorri¹⁸, A. Rainoldi

73

Analisi della simmetria della innervazione dello sfintere anale tramite EMG in contrazioni volontarie

Analysis of symmetry of the anal sphincter innervation from surface EMG in voluntary contractions

A. Bottin, C. Cescon, S. Martina

75



**Localizzazione della zona di innervazione degli sfinteri
anale e uretrale dall'analisi dei segnali EMG durante
stimolazione elettrica**

***Analysis of the anal and urethral sphincter innervation zone
location by means of EMG signal analysis during electrically
elicited contractions***

C. Cescon, R. Gerretsen¹⁹

76

**Attività EMG rilevata dal muscolo sfintere anale esterno
in soggetti sani e mialgici**

***EMG activity from the anal sphincter muscle of healthy
and myalgic subjects***

A. Bottin, G. Lamberti²⁰, S. Martina

78

**F O R M A Z I O N E P E R M A N E N T E ,
D I S S E M I N A Z I O N E D E I
R I S U L T A T I
S T A N D A R D I Z Z A Z I O N E**

***CONTINUING EDUCATION,
DISSEMINATION OF
RESULTS AND
STANDARDIZATION***

Disseminazione dei risultati: corsi e seminari

Dissemination of results: courses and seminars

S. Lecce, R. Merletti

79



P U B B L I C A Z I O N I

S C I E N T I F I C H E E

P R E S E N T A Z I O N I A

C O N G R E S S I (D A L 2 0 0 1)

S C I E N T I F I C P U B B L I C A T I O N S

A N D C O N G R E S S

P R E S E N T A T I O N S

(F R O M 2 0 0 1)

Libri, pubblicazioni su riviste internazionali,
presentazioni a congressi internazionali e nazionali,
pubblicazioni su riviste nazionali, altre pubblicazioni

*Books, publications on international journals, presentations
at national and international congresses, publications on
national journals, other publications*



Andrea Pininfarina President of Turin Employers' Association

Ruggero Lenti President of SME Committee of Turin Employers' Association

Andrea Pininfarina Presidente Unione Industriale di Torino

Ruggero Lenti Presidente Piccolindustria dell'Unione Industriale di Torino

Per molti decenni Torino è stata una città industriale la cui principale attività era focalizzata sulla produzione automobilistica. Negli ultimi anni nuove esperienze si sono aggiunte alla vocazione industriale della Città. Oggi la produzione automobilistica e il relativo indotto impiegano il 30% della forza lavoro dell'industria manifatturiera. Molte iniziative sono state avviate per promuovere e diversificare lo sviluppo delle Piccole e Medie Imprese (PMI) facilitando la formazione di ingegneri e imprenditori creativi e qualificati attraverso incubatori di aziende, borse di studio, e altri interventi di Università e di Istituzioni pubbliche e private come l'Unione Industriale di Torino, la Città di Torino, la Provincia e la Regione Piemonte, volte a integrare la ricerca innovativa di tipo accademico con l'attività delle imprese tecnologicamente avanzate.

Nel 2001 l'1.1% del Prodotto Nazionale Lordo Italiano è stato speso in ricerca, per il 50% proveniente dal settore privato. Nello stesso anno la Regione Piemonte ha speso in ricerca l'1.8% del Prodotto Regionale Lordo, per l'80% proveniente dal settore privato, superando l'obiettivo del 66% definito dalla Comunità Europea per il 2010.

Il Piano Strategico per lo sviluppo di Torino, preparato nel 2000, ha identificato sei principali obiettivi a breve termine. Il terzo riguarda la formazione permanente e la ricerca accademica al fine di diversificarle e integrarle con le imprese a tecnologia avanzata per migliorare la qualità e ridurre i tempi del processo idea-progetto-produzione-mercato.

For many decades Torino has been an industrial city whose main business was centered on the automobile manufacturing. In these years, many others experiences joined the main industrial vocation of the city. Today the automobile and related industries account for about 30% of the working force in the manufacturing sector. Several efforts to involve qualified and creative engineers and managers in Small and Medium Enterprises (SME) are under way and are supported by public and private institutions such as the Employers' Association of Turin, the administrations of the City and the Region of Piemonte in the form of incubators, fellowships and other initiatives to integrate innovation generated by academic research with technologically advanced business. In 2001 1.1% of the Italian GNP was spent for research, 50% of this amount came from the private sector. In the same year Piemonte spent for research 1.8% of the Gross Regional Product. About 80% of it came from the private sector, exceeding the target set at 66% by the European Union for 2010.

The strategic plan for the city development, prepared in the year 2000, identified six major objectives for the near future. The third concerns research and continuing education with the purpose of enhancing and diversifying academic research, integrating it with business enterprises with the objective of improving the quality and reducing the duration of the



L'obiettivo 3.2 si riferisce specificamente ai settori interdisciplinari dell'oncologia, biotecnologie, bioingegneria e neuroscienze. Questo approccio riflette le direttive del Quinto e del Sesto Programma Quadro Europeo e in questo filone programmatico si inquadra l'attività del LISiN.

Il Centro di Bioingegneria è stato fondato nel 1997 dal Politecnico di Torino e dal Consorzio per la Ricerca e l'Educazione Permanente (COREP) con finanziamenti della Camera di Commercio, della Fondazione CRT e della Compagnia di San Paolo. Presso il Centro è stato istituito il Laboratorio di Ingegneria del Sistema Neuromuscolare e della riabilitazione motoria (LISiN) seguito da una attività collaterale nel settore della bioinformatica. In sette anni di attività sono state presentate sette proposte per progetti Europei di cui quattro approvate nei settori della elettromiografia, delle patologie neuromuscolari da lavoro al videoterminale, della valutazione neuromuscolare del lavoratore anziano e della analisi degli sfinteri in relazione ai problemi di incontinenza. Due progetti finanziati dalla European Space Agency e due dalla Agenzia Spaziale Italiana portano a undici le proposte e a otto i progetti approvati. Inoltre, in collaborazione con la Regione Piemonte e con altre istituzioni sanitarie, il LISiN ha organizzato una dozzina di corsi per la disseminazione dei risultati di ricerca presso strutture sanitarie. IL LISiN opera oggi con dieci piccole aziende di cui quattro in Piemonte e due in Germania.

Questa esperienza dimostra la possibilità di raggiungere un successo internazionale unendo le tessere di un mosaico rappresentato dalle competenze di ingegneria e medicina, da istituzioni pubbliche e private, da amministrazioni locali e istituzioni Europee.

Il settore industriale delle tecnologie biomediche (con l'esclusione dei settori farmaceutico e biotecnologico) è diverso dagli altri settori dell'industria. Chi acquista (medico, ospedale, ASL) non paga direttamente, è vulnerabile alle pressioni commerciali perché dispone di una limitata competenza tecno-

idea-design-production-market process. Objective 3.2 specifically refers to the interdisciplinary fields of oncology, biotechnology, biomedical engineering and neurosciences. These approaches reflect European trends clearly indicated in the policy of the 5th and 6th Framework.

The Center for Biomedical Engineering was founded in 1997 by Politecnico di Torino and the Consortium for Research and Continuing Education (COREP), with the support of the Chamber of Commerce and two local Bank Foundations. It established its first Laboratory for Engineering of the Neuromuscular System (LISiN) together with a secondary activity in protein research. In these seven years LISiN submitted seven European Proposals and had four of them approved in the fields of electromyography, neuromuscular disorders in users of computer input devices, neuromuscular assessment of elderly workers, and asymmetry of sphincters in relation to incontinence. Two proposals submitted to the European Space Agency and two to the Italian Space Agency in related fields were approved, totaling eleven submissions, eight approvals and three rejections. In addition, in collaboration with the Regional Administration and Health Delivery Institutions, LISiN organized a dozen short courses for dissemination of results and training of users. LISiN now operates in collaboration with ten SME, four of which are in Piemonte and two are in Germany. This experience demonstrates the possibility of achieving success by joining the pieces of a mosaic represented by engineering and medical competences, academic institutions and private companies, local administrations and European organizations.

The medical technology field (with the exclusion of pharmaceuticals and biotechnology) is different from other industrial businesses. In health delivery the buyer (physician, hospital, health struc-



logica, è sommerso dalla attività clinica di routine e non sempre coincide con l'utente finale (che è di solito il paziente). Le tecniche del marketing nel settore sono diverse da quelle classiche del "business-to-business" o del "business-to-consumer" e non sono parte della formazione del ricercatore. Per queste e altre ragioni il passaggio dalla ricerca accademica al prodotto commerciale è sempre stato estremamente critico in Italia. Il LISiN dispone ora di numerosi potenziali "prodotti" e sta affrontando questa fase delicata. La necessità di una partnership con le PMI e i loro rappresentanti per un efficiente trasferimento tecnologico è sempre più sentita. Come è responsabilità delle istituzioni accademiche evitare la fuga di cervelli offrendo sbocchi adeguati ai ricercatori migliori, così è compito delle PMI assumere il rischio di portare sul mercato i prodotti più promettenti risultanti dalle nuove idee e dai progetti di ricerca internazionali.

Tuttavia, a causa delle peculiarità sopracitate e del ruolo fondamentale che la formazione assume nel settore delle tecnologie biomediche, questo compito non può essere svolto con successo da singole PMI o dalle loro associazioni. Esso richiede il contributo importante delle Scuole di Medicina e delle Strutture Sanitarie. I Rettori dell'Università e del Politecnico di Torino, il Presidente della Regione Piemonte e l'Assessore alla Sanità hanno ripetutamente riconosciuto e lodato i risultati del LISiN a livello Europeo e ne hanno sottolineato l'importanza per la Città e la Regione nelle prefazioni ai volumi precedenti. E' ora necessario, in parallelo alla ricerca, unire le forze di queste Istituzioni per portare le informazioni e trasferire le tecnologie alla comunità clinica e i prodotti agli utenti finali. Questo sforzo non incrementerà soltanto la produzione nel settore, ma consentirà soprattutto di raggiungere una maggiore efficienza del servizio sanitario e una più attenta valutazione delle sue prestazioni.

ture) does not directly pay for what is purchased, has limited technological knowledge, is vulnerable to salesmen and overwhelmed by routine work, and is often not the final user (in general this is the patient). Marketing rules are different from the classical business-to-business or business-to-consumer rules and are not part of the training and job of a scientist. For this and other reasons, moving the products of academic research to the market has always been a critical point in Italy. LISiN is now at this critical point, with a number of products ready for clinical trials and market assessment. The need for SME partnership is deeply felt. As it is the responsibility of academic institutions to prevent the "brain drain" of well trained researchers toward other countries by offering stable positions, it is the duty of the SMEs to take up some risk in training the users, producing and marketing the research results. Because of the peculiarities of the medical technology market and the fundamental role of training and continuing education, this cannot be done by companies or industry associations without the collaboration of the medical schools and the health delivery system. The Rectors of the University and Politechnic of Torino, the President of the Regional Administration and the Health Councillor have praised the European success and achievements of LISiN and underlined its importance for the City and the Region in previous editions of this report. It is now time to join forces and begin a new effort, in parallel to continuing research, to inform and train the clinical community and bring the products to the users. This will generate not only new business, but also better and more efficient assessment of the health delivery services.



Ringraziamenti

Acknowledgements

All'attività del Centro di Bioingegneria hanno significativamente contribuito:

The following persons have significantly contributed to the activity of the Center:

F. Brugnoli, S. Scaravelli	Compagnia di San Paolo
M. Leddi, S. boccardo	Fondazione CRT – Cassa di Risparmio di Torino
G. Del Tin	Politecnico di Torino
S. Cosuccia, M. Patrissi	COREP -- Politecnico di Torino
M. Valpreda	Assessorato alla Sanità, regione Piemonte
I.Caruso	Dip. Medicina Fisica e Riabilitazione, Università di Tor Vergata e fondazione Don Gnocchi, Roma
Rodolfo Panatta	Panata Sport, Apilo Macerata

Affiliazioni dei collaboratori esterni al LISiN

1 Politecnico di Torino

2 Helmholtz Institute for Biomedical Engineering (HIA), Aachen, Germany

3 Institute for Biomedical Engineering, Dept. Electrical and Computer Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, Canada

4 IUSM, Università degli Studi di Catanzaro

5 Department of Integrative Physiology, University of Colorado, Boulder

6 Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Torino

7 CSP – Innovazione nelle ICT, Torino

8 MRC, Laboratory of Molecular Biology, Cambridge, United Kingdom

9 Servizio di Medicina del Lavoro, Policlinico Sant'Orsola Malpighi, Bologna

10 Scienze dell'Educazione, Università della Valle d'Aosta, Fondazione Istituto Musicale della Valle d'Aosta, Aosta

11 Applied Physiology Group, Strathclyde Institute for Biomedical Science University of Strathclyde, Glasgow, United Kingdom

13 Department of Physiology and Pharmacology, Karolinska Institute, Stockholm, Sweden

14 Department of Physiotherapy, The University of Queensland, Brisbane, Australia

15 Servizio di Neurofisiopatologia, Fondazione Maugeri, Montescano, Pavia

16 Unità Operativa di Reumatologia, Policlinico S. Matteo IRCCS, Pavia

17 Fisioterapista, consulente LISiN

18 Scienze Motorie, Università di Tor Vergata – Fondazione Don Gnocchi, Roma

19 UMC St. Radboud Urology Department in Nijmegen, The Netherlands

20 Servizio di Fisiatria, ASL 15 – Ospedale di Caraglio, Caraglio, Cuneo



Introduzione

Introduction

R. Merletti

Nella sua prefazione al Rapporto Annuale 2002, il presidente della Regione Piemonte, On. Enzo Ghigo auspicava che "...un tale laboratorio, ormai "europeo", dopo sei anni di prestigiosa attività, possa trovare una meritata strutturazione fuori dall'universo del precariato universitario". Sfortunatamente, il suo auspicio non si è ancora avverato e il LISiN sta diventando, a livello Europeo, un simbolo delle difficoltà che sono associate, in molte strutture accademiche italiane, al raggiungimento di livelli di eccellenza e successo riconosciuti a livello internazionale.

Nonostante queste difficoltà, l'anno 2003 è stato molto produttivo, con 32 lavori sulle migliori riviste internazionali del settore (di cui 12 pubblicati e 20 in corso di stampa), il capitolo "Electromyography: detection processing and applications" nel Biomedical Technology and Devices Handbook (CRC Press), 13 presentazioni a congressi internazionali, 11 lezioni e seminari organizzati in Italia oltre a un congruo numero di lezioni invitate presso istituzioni straniere. Un manoscritto inviato al Journal of Applied Physiology è stato valutato "eccezionale" e sarà pubblicato, con un editoriale, nella sezione Highlighted Topics della rivista. Ma l'evoluzione più importante del LISiN è stata certamente relativa al progressivo coinvolgimento di Piccole e Medie Industrie (PMI) come indicato nella prefazione gentilmente redatta quest'anno dal Presidente della Unione Industriale, Dott. A. Pininfarina, e dal Presidente di Piccolindustria, Dott. R. Lenti.

In effetti, nel 2003, il LISiN ha sostanzialmente incrementato gli sforzi di disseminazione dei risultati e il trasferimento tecnologico verso le PMI. Il workshop organizzato nel Maggio 2003, con la Camera di Commercio di Torino e la partecipazione

In his preface to the 2002 Annual Report the President of the Regional Administration of Piemonte, Hon. Enzo Ghigo, was wishing that LISiN "...after six years of high level activity, will find a stable support and structure, free of the uncertainties that plague Italian academic research". It is unfortunate that his wish did not yet come true and LISiN actually is becoming a European symbol of the difficulties associated, in many Italian academic institutions, to internationally recognized excellence and success.

Despite these difficulties, the year 2003 has been very productive with 32 papers in peer reviewed international journals (12 have been published and 20 are in press), 13 presentations at international congresses, the chapter "Electromyography: detection processing and applications" in the Biomedical Technology and Devices Handbook,— and 11 lecturers seminars organized in Italy, in addition to a number of invited lectures given abroad. One manuscript submitted to the Journal of Applied Physiology was considered "outstanding" and will be classified in the Highlighted topics with a special editorial. But the most significant evolution is the growing involvement of Small and Medium Enterprises (SME) as outlined in the preface of this Report kindly written this year by the President of the Employers' Association, Dott. A. Pininfarina, and the President of Piccolindustria, Dott. R. Lenti.

Indeed, in 2003, LISiN has substantially increased its efforts in dissemination and transfer of knowledge and results as well as its involvement with SMEs. The workshop organized in May 2003, with the Chamber of Commerce of Torino and three SMEs, on "Bioengineering of the neuromuscular system" has been a suc-



di tre aziende, su "Bioingegneria del sistema neuromuscolare", è stato un successo. Il corso di dottorato di 30 ore su "Ingegneria del sistema neuromuscolare" è stato seguito da 10 studenti. I due corsi di "Elettromiografia non invasiva", offerti dal LISiN presso l'Università di Tor Vergata (Roma) e presso l'Università di Savona, hanno avuto rispettivamente 90 e 50 partecipanti. Il tema del XVI Congresso della Società Internazionale di Elettrofisiologia e Kinesiologia (ISEK) che si terrà a Torino nel 2006 sarà la disseminazione delle conoscenze acquisite, il trasferimento tecnologico e la formazione degli utenti finali.

I progetti europei ed ESA *Neuromuscular assessment in the Elderly Worker (NEW)* e *Microgravity Effects on Skeletal Muscles investigated by surface EMG and mechanomyogram (MESM)*, di cui il LISiN è coordinatore, e *On ASymmetry In Sphincters (OASIS)* e *Resistance training using flywheel technology for crew stationed in space*, di cui il LISiN è partner, termineranno nel 2004. La presentazione dei risultati del progetto NEW avverrà nell'ambito di un congresso internazionale a Torino il 20 e 21 Febbraio 2004. Un progetto finanziato dal Ministero per l'Università e la Ricerca è stato appena avviato con l'obiettivo di studiare la relazione tra le variabili del segnale EMG e i dosaggi di fattori ormonali durante esercizi muscolari affaticanti. Due progetti della Regione Piemonte finanzieranno la collaborazione tra il LISiN e due PMI locali. Il Progetto Integrato Technology for Evidence Based Motor Rehabilitation (TEBMORE), proposto alla UE nel 6° Programma Quadro, non è stato approvato e sarà modificato e rinviato nell'autunno 2004. Una proposta per la continuazione del progetto ESA MESM è in fase di preparazione.

Il LISiN ora ospita quattro studenti di dottorato, sette ricercatori con contratto a termine e una dozzina di laureandi che lavorano alla loro tesi. Il co-finanziamento concesso dalle Fondazioni Bancarie

cess. The 30 hours doctoral course on "Engineering of the neuromuscular system" has been followed by 10 students. The two courses on Non Invasive EMG, offered with the University of Tor Vergata (Rome) and the University of Savona, attracted respectively 90 and 50 participants. The theme of the XVI Congress of the International Society for Electrophysiology and Kinesiology, to be held in Torino in 2006, will be on dissemination of knowledge, transfer of technology and training of end users.

The European and ESA projects Neuromuscular assessment in the Elderly Worker (NEW) and Microgravity Effects on Skeletal Muscles investigated by surface EMG and mechanomyogram (MESM), coordinated by LISiN, and On ASymmetry In Sphincters (OASIS) and Resistance training using flywheel technology for crew stationed in space, of which LISiN is a partner, will come to their end in 2004. The Final Event of NEW will be an international congress held in Torino on February 20-21, 2004. A research program, supported by the Italian Ministry for University and Research, just started with the goal of investigating the relation between EMG and hormonal factors observed during fatiguing exercises. Two projects sponsored by the Administration of the Region of Piemonte will support the interaction between LISiN and two local industries. The Integrated Project proposal on Technology for Evidence Based Motor Rehabilitation (TEBMORE) was not approved by the EU Commission and will be modified and re-submitted at the next call in 2004. A proposal for continuation of the ESA MESM project is being prepared.

LISiN now involves four PhD candidates, seven researchers and a dozen students working on their thesis. The continuing support of the Bank Foundations "Compagnia di San Paolo" and "Fondazione Cassa di Risparmio di Torino",



"Compagnia di San Paolo" e "Fondazione Cassa di Risparmio di Torino" e della Regione Piemonte è stato essenziale alla attività del LISiN che è grato a questi Enti che ne hanno consentito l'attività. Sul versante negativo, nessuna persona dello staff del LISiN ha ancora ottenuto una posizione permanente e l'interesse della Facoltà di Medicina su questi temi di ricerca rimane ancora piuttosto limitato, in contrasto con il crescente interesse a livello Europeo ed extra Europeo e il continuo e crescente scambio di ricercatori con altri Paesi.

Oltre a una decina di visitatori provenienti dalle Istituzioni partners in progetti EU ed ESA, nel 2003 il LISiN ha ospitato uno studente argentino e una ricercatrice algerina. Nel 2004 il LISiN ospiterà due ricercatrici sud-africane e un ricercatore australiano.

and that of the Regional Administration of Piemonte is gratefully acknowledged. On the negative side are the fact that no member of the LISiN staff has yet a permanent position and that the interest of the School of Medicine in this field of research is still rather limited. This contrasts with the growing interest at the European and extra-European level and the increasing exchange of researchers with other Countries.

In addition to ten visitors from the EU partners, in 2003 LISiN hosted a student from Argentina and a researcher from Algeria. In 2004 it will host two researchers from the Republic of South Africa and one from Australia and probably one from India.



Ricercatori e collaboratori

Researchers and collaborators

Nel Centro sono attualmente impegnati:

The following persons are involved at this time in the activity of the Center:

Prof. Roberto Merletti	Professor of Biomedical Instrumentation at Politecnico di Torino and Boston University (E-mail: roberto.merletti@polito.it)
Ing. Andrea Bottin	Graduate in Electronic Engineering at Politecnico di Torino (E-mail: andrea.bottin@eln.polito.it)
Ing. Corrado Cescon	Graduate in Electronic Engineering at Politecnico di Torino and PhD Student in Biomedical Engineering (E-mail: corrado.cescon@polito.it)
Ing. Dario Farina	Graduate in Electronic Engineering at Politecnico di Torino and PhD in Electronic Engineering at Politecnico di Torino and at the Ecole Centrale de Nantes (E-mail: dario.farina@polito.it)
Ing. Marco Gazzoni	Graduate in Informatic Engineering at Politecnico di Torino and PhD Student in Biomedical Engineering (E-mail: marco.gazzoni@polito.it)
Ing. Francesco Mandrile	Graduate in Informatic Engineering at Politecnico di Torino and PhD Student in Biomedical Engineering (E-mail: francesco.mandrile@polito.it)
Ing. Simone Martina	Graduate in Informatic Engineering at Politecnico di Torino and PhD Student in Biomedical Engineering (E-mail: simone.martina@eln.polito.it)
Ing. Enrico Merlo	Graduate in Electronic Engineering at Politecnico di Torino (E-mail: enrico.merlo@eln.polito.it)
Ing. Luca Mesin	Graduate in Informatic Engineering at Politecnico di Torino and PhD in Applied Mathematics at Politecnico di Torino (E-mail: marco.gazzoni@polito.it)
Ing. Marco Pozzo	Graduate in Electronic Engineering at Politecnico di Torino (E-mail: marco.pozzo@eln.polito.it)
Dott. Alberto Rainoldi	Graduate in Physics at Università di Torino and PhD candidate in Physical Medicine and Rehabilitation at the Faculty of Medicine, Università di Roma "Tor Vergata" (E-mail: alberto.rainoldi@eln.polito.it)
Sara Lecce	Technical and Administrative Management (E-mail: sara.lecce@eln.polito.it)
Marco Bellanti	Hardware Laboratory Technician (E-mail: marco.bellanti@eln.polito.it)

Il sito Internet del Centro è <http://www.lisin.polito.it>



**P R O G E T T I D I R I C E R C A
I N I N G E G N E R I A
D E L S I S T E M A
N E U R O M U S C O L A R E**

**R E S E A R C H P R O J E C T S
O N N E U R O M U S C U L A R
S Y S T E M
E N G I N E E R I N G**

Stima della frequenza di attivazione di singole unità motorie durante contrazioni volontarie tramite decomposizione incompleta di segnali EMG di superficie

Estimation of motor unit firing rate during voluntary contractions from surface EMG incomplete decomposition

C. Cescon, D. Farina, M. Gazzoni

Lo scopo di questo lavoro era il progetto e la validazione sperimentale di un metodo non invasivo per l'estrazione della frequenza di attivazione di singola unità motoria (MU) dall'analisi del twitch di forza. I potenziali d'azione di unità motoria (MUAPs) sono stati identificati dai segnali EMG multicanale di superficie con un metodo di estrazione e classificazione recentemente messo a punto. La classificazione dei potenziali di azione come appartenenti a differenti MU è stata effettuata tramite una rete neurale multicanale. Il metodo non identifica i potenziali di azione sovrapposti tra loro, così è stato ottenuto soltanto un firing pattern incompleto per ogni MU riconosciuta. Da questo parziale firing pattern non era possibile valutare in modo attendibile la frequenza media di attivazione. Gli istanti di attivazione dei MUAPs appartenenti alla MU riconosciuta sono stati quindi usati come trigger per estrarre la risposta media di forza della MU. Il segnale ottenuto dalla media della forza contiene le informazioni sulla frequenza di attivazione della MU (figura). I muscoli studiati sono stati l'abduttore del

The aim of this work was to propose and experimentally validate a non-invasive method for estimating single motor unit (MU) firing rate by the analysis of MU twitch force signals.

Single MU action potentials were identified from surface EMG signals by a recently developed detection and classification method. The classification of the action potentials as belonging to different MUs was performed by a multi-channel neural network. The method does not identify action potentials superimposed to each other, thus, for each detected MU, only an incomplete firing pattern was obtained. From this incomplete firing pattern it was not possible to reliably estimate the average firing frequency. The occurrences of the MUAPs belonging to the detected MUs were used as a trigger to evaluate the average value of the single MU force signal. The averaged force signal contains the information on the firing rate (Figure).

The muscles studied were the abductor digiti minimi (ADM) and first dorsal interosseous (FDI) of the dominant



dito mignolo (ADM) ed il primo dorsale interosseo (FDI) della mano dominante. I segnali EMG di superficie sono stati prelevati con schiere adesive lineari di 8 elettrodi, con distanza interelettrodica di 5 millimetri durante un minuto di contrazione volontaria a basso livello (2% MVC). La forza è stata misurata con due celle di carico (Burster, modello 8523-50N ed Interface, modello SM-50N), una per ogni muscolo, funzionanti linearmente nell'intervallo 0 – 50 N. Le celle di carico facevano parte di due ergometri che permettevano la misura della forza durante le contrazioni isometriche dei muscoli della mano analizzati. Il segnale di forza filtrato con un passa basso dal primo amplificatore era fornito ai soggetti durante le contrazioni, come feedback visivo. I singoli MUAPs sono stati identificati dai segnali EMG, come descritto precedentemente. Il segnale di forza è stato filtrato a posteriori con un filtro passa banda del secondo ordine (1-80 Hz) per eliminare la componente continua corrispondente al livello di forza della contrazione. Il twitch di forza è stato quindi ottenuto come media delle risposte ai singoli spari in una finestra di tempo di 1 s. Tutti i MUAPs riconosciuti nelle contrazioni di 60 s sono stati utilizzati per ottenere i twitch medi. Per ogni contrazione, soltanto le MUs per cui almeno 30 potenziali di azione erano stati identificati sono state considerate per l'analisi. Nella maggior parte dei casi, il segnale ottenuto come media del segnale di forza presentava una componente con frequenza fondamentale corrispondente alla frequenza di sparo della MU rilevata.

Ciò era dovuto alla parziale sovrapposizione dei twitch di forza relativi a quella MU. La tecnica di spike triggered averaging ha evidenziato l'effetto di tale sovrapposizione delle risposte meccaniche.

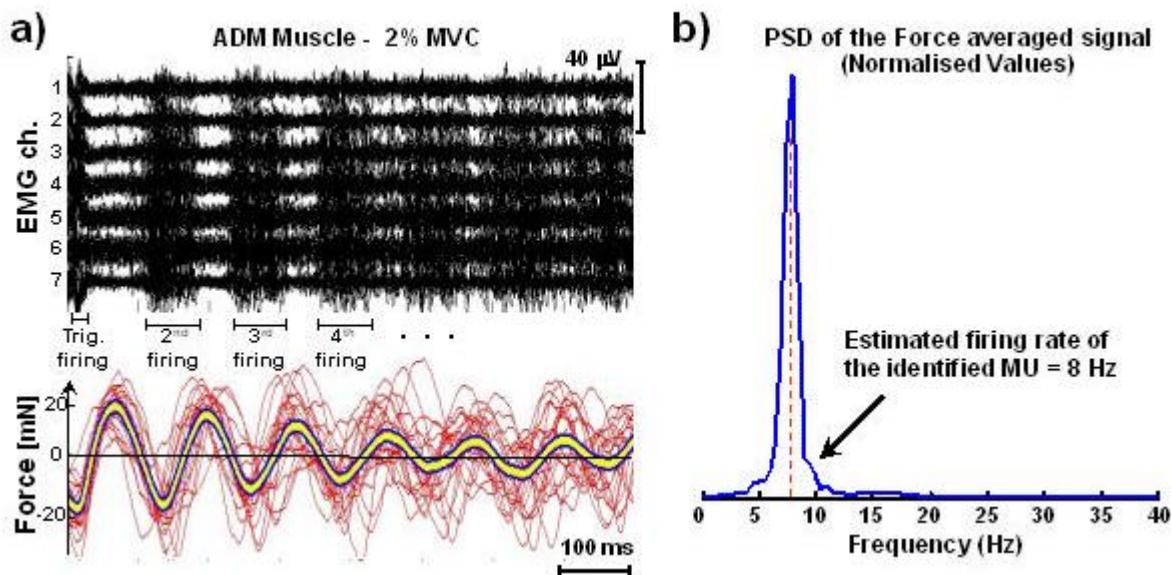
hand.

Surface EMG signals were detected with a linear 8 electrodes, 5 mm inter-electrode distance adhesive array during one minute at low level (2% MVC) voluntary contractions.

Force was measured with two load cells (Burster, model 8523-50N and Interface, model SM-50N), one for each muscle, that operate linearly in the range 0 – 50 N. The load cells were part of two ergometers that allowed force measurements during isometric contractions of the analysed hand muscles. The low pass filtered force signal from the first amplifier was provided to the subjects during the contractions, as a visual biofeedback.

Single MU action potentials (MUAPs) were identified from the EMG signals, as described above. The force signal was filtered off-line with a 2nd order band pass filter (1-80 Hz) in order to remove the offset corresponding to the force level of the contraction. The force response was then obtained by triggered averaging a 1 s time window from the raw force signal. All the detected occurrences in the 60 s long contractions were used for the averaging. In each contraction, only the MUs for which at least 30 action potentials were identified were considered for the analysis.

In most cases, the averaged force signal presented a sinusoidal component at the firing frequency of the detected MU. This was due to the superimposition of the twitches of consequent firings of the MU and the spike triggered averaging technique highlighted the effect of such twitch superimposition.



a) Esempi di EMG di singola MU e segnali di forza per una contrazione rappresentativa. Il twitch di forza è stato ottenuto come media dei segnali allineati rispetto agli istanti di attivazione dei singoli potenziali di azione della MU. Tutti gli spari rilevati nella contrazione di 60 s sono stati utilizzati per ottenere la media. Il segnale medio di forza è sovrapposto ai segnali grezzi. b) Esempio di densità spettrale di potenza (PSD) del segnale ottenuto come media della forza. Il picco corrisponde alla frequenza di attivazione della MU identificata, in questo caso circa a 8 Hz.

a) Examples of single MU EMG and force signals for a representative contraction of the abductor digiti minimi (ADM) muscle. The force response was obtained by averaging the signals with the time instants of occurrence of single MU action potentials as triggers. All the detected occurrences in the 60 s long contractions were used for the averaging. The average force twitch signal is superimposed on the raw signals. b) Example of power spectral density (PSD) of the averaged force signal. The peak corresponds to the firing frequency of the identified MU, in this case around 8 Hz.



Proprietà di singole unità motorie durante attivazione tramite "feedback" visivo del segnale EMG di superficie

Low threshold single motor unit properties during sustained activation by surface EMG visual feedback

F. Camelia, D. Farina, M. Gazzoni

L'attività di singole unità motorie è stata studiata nei muscoli abduttore del pollice e abduttore del quinto dito fornendo ai soggetti un feedback visivo sul segnale EMG di superficie generato. Dopo un periodo di allenamento, i soggetti hanno potuto modulare la forza sviluppata in modo da osservare sulle registrazioni di superficie una sola unità motoria dominante e modulare la sua frequenza di attivazione per contrazioni della durata di 300 s. La frequenza di attivazione è stata mantenuta a circa 8 impulsi al secondo (contrazioni LF) o 12 impulsi al secondo (contrazioni HF). La velocità di conduzione di singole unità motorie è diminuita in modo significativo nel tempo ed è stato possibile identificare una diminuzione relativa significativamente maggiore durante le contrazioni HF rispetto a quelle LF. Il valore iniziale della velocità di conduzione è aumentato con la frequenza di attivazione media e i valori di velocità di conduzione erano correlati con la frequenza di attivazione istantanea (R da 0.21 a 0.39). Durante le contrazioni si è osservato sia reclutamento di nuove unità motorie, sia sostituzione. Lo studio ha indicato che 1) è possibile seguire la stessa unità motoria in muscoli della mano a due differenti intensità di contrazione (HF e LF) per 300 s tramite feedback visivo del segnale EMG di superficie, 2) la velocità di conduzione di singole unità motorie a bassa soglia di reclutamento cambia nel tempo e 3) è possibile distinguere tra cambiamenti relativi della velocità di conduzione per frequenze di attivazione molto vicine tra loro. La tecnica fornisce un metodo non-invasivo per lo studio delle proprietà di controllo e di membrana di singole unità motorie

Single motor unit (MU) activities were detected from the abductor pollicis and abductor digiti minimi muscles providing the subjects with visual feedback of multi-channel surface EMG signals. After training, the subjects could modulate the force in order to observe on the surface recordings a single dominant MU and modulate its firing rate for contractions of 300 s with a non-invasive EMG feedback. The firing rate was either maintained at approximately 8 pulses per second (LF contraction) or at approximately 12 pulses per second (HF contraction). Single MU conduction velocity (CV) decreased slightly but significantly over time and it was possible to identify a significantly larger rate of decrease of CV during the HF with respect to the LF contractions. CV initial value significantly increased with the average firing rate and CV values were significantly correlated to the instantaneous firing rate (R ranging from 0.21 to 0.39). Both additional MU recruitment and substitution were observed during the contractions. The study provides evidence that 1) it is possible to track the same MU in a hand muscle at two different intensities (HF and LF) for 300 s durations using visual feedback of surface EMG, 2) low threshold single MU CV changes over time since the beginning of the contraction, and 3) it is possible to distinguish between CV changes of the same MU at slightly different firing rates. The technique provides a practical method for the non-invasive assessment of both control and membrane properties of single MUs.



Effetto dell'ischemia sulle proprietà di singole unità motorie durante attivazione sostenuta

F. Camelia, D. Farina, M. Gazzoni

L'obiettivo di questo lavoro era lo studio dell'effetto dell'ischemia sulle proprietà di membrana di unità motorie e sulle loro variazioni in contrazioni sostenute nel muscolo abduttore del pollice. I segnali EMG di superficie sono stati registrati con una schiera lineare di 16 elettrodi (distanza inter-elettrodica 2.5 mm) da 10 soggetti maschi sani. Le proprietà di membrana delle fibre muscolari sono state studiate tramite la velocità di conduzione. Ad ogni soggetto è stato chiesto di modulare la frequenza di attivazione di un'unità motoria con feedback visivo del segnale EMG (si faccia riferimento al contributo "Proprietà di singole unità motorie durante attivazione tramite feedback visivo del segnale EMG di superficie"). L'ischemia è stata indotta con uno sfigmomanometro applicato all'avambraccio (pressione 180-mmHg). Si è effettuata una contrazione pre-ischemica di 3 minuti. Dopo 5 minuti di riposo è stata indotta la condizione ischemica e dopo 5 minuti in ischemia si sono effettuate due contrazioni della durata di 3 minuti, separate da 5 minuti di riposo. A 5 minuti dalla cessazione della condizione ischemica si è svolta un'ultima contrazione della durata di 3 minuti. I risultati hanno mostrato che la velocità di conduzione diminuisce in modo significativo durante la seconda (13 minuti in ischemia) contrazione ischemica (da, media \pm dev. std., 2.94 ± 0.64 m/s a 2.66 ± 0.64 m/s) ma non durante la prima. Durante i 5 minuti di riposo in ischemia la velocità di conduzione non è cambiata. Si è concluso che la condizione ischemica per sé non influenza le proprietà di membrana delle fibre muscolari mentre queste proprietà cambiano rispetto alla condizione non ischemica durante attivazione in condizioni di ischemia.

Effect of ischemia on single motor unit properties during sustained activation

The aim of this work was to investigate the effect of ischemia on motor unit (MU) membrane properties and their changes over time due to fatigue in the abductor pollicis. Surface EMG signals were detected by a linear array of 16 silver electrodes (2.5 mm inter-electrode distance) from ten healthy male subjects. Membrane properties were assessed by the MU conduction velocity (CV). Each subject was asked to activate a MU and modulate its firing rate using the surface EMG signals as feedback (see contribution "Low threshold single motor unit properties during sustained activation by surface EMG visual feedback"). Ischemia was induced by a sphygmomanometer applied to the forearm (180-mmHg pressure). A pre-ischemic contraction of 3 minutes duration was performed. After 5 minutes rest, the ischemic condition was induced and after 5 minutes in ischemia, two contractions, 3 minutes long, were performed, with 5 minutes rest in between. A final contraction of 3 minutes was performed, 5 minutes after reperfusion. Results showed that CV did not decrease during the first ischemic contraction while a significant decrease (from, mean \pm standard deviation, 2.94 ± 0.64 m/s to 2.66 ± 0.64 m/s) was observed during the second ischemic contraction (after 13 minutes of occlusion). During the 5 minutes rest in ischemia, no CV modifications were observed. It was concluded that the ischemic condition per se does not affect the membrane muscle fiber properties but that these properties change significantly with respect to the non-ischemic condition during sustained ischemic activation.



Stima della velocità di conduzione muscolare da prelievi bi-dimensionali di EMG di superficie

Estimation of average muscle fiber conduction velocity from bi-dimensional surface EMG recordings

D. Farina, R. Merletti

In questo lavoro proponiamo un nuovo metodo per la stima della velocità di conduzione muscolare da prelievi EMG di superficie. L'approccio è basato sull'analisi di segnali prelevati da due o più schiere lineari di elettrodi parallele alla direzione delle fibre muscolari, quindi registrati da una schiera bi-dimensionale (matrice) di elettrodi. L'informazione ottenuta dalla registrazione con la matrice è utilizzata per derivare uno stimatore a massima verosimiglianza che può essere applicato a un numero qualsiasi di segnali della matrice. La stima del ritardo di propagazione è svolta tramite una tecnica iterativa nel dominio della frequenza che riduce il tempo computazionale ed elimina il limite di risoluzione dovuto al campionamento del segnale. Il metodo proposto è stato applicato a segnali rilevati dal bicipite brachiale di otto soggetti sani durante contrazioni isometriche, a forza costante (50% della massima coppia). Si è osservato che la deviazione standard di stima della velocità di conduzione e la sensibilità della stima a piccole variazioni della posizione degli elettrodi diminuiscono significativamente con il metodo proposto rispetto a stime classiche della velocità di conduzione. Il metodo è promettente per la stima della velocità di conduzione media per l'analisi delle proprietà muscolari e per fini diagnostici. Il miglioramento della qualità della stima ha tuttavia lo svantaggio di richiedere sistemi di prelievo complessi (prelievo EMG in due dimensioni spaziali).

We propose a novel method for the estimation of muscle fiber conduction velocity (MFCV) from surface EMG recordings. The approach is based on the analysis of signals detected along a number of linear electrode arrays parallel to the fiber direction, thus collected by a bi-dimensional (2-D) array (matrix) of electrodes. The information provided by the 2-D array is used to derive a maximum likelihood estimator which can be applied to any number of signals and which may account for missing channels in the matrix. An iterative technique in the frequency domain for the estimation of the propagation delay is proposed to reduce the computational time and avoid the limit of resolution due to signal sampling. The method proposed was applied to signals collected from the biceps brachii muscle of 8 healthy subjects during isometric, constant force contractions at 50% of the maximal voluntary contraction torque. It was shown that CV estimation standard deviation and sensitivity to electrode displacements significantly decrease by the application of the method proposed with respect to classic CV estimation techniques. The method promises to be a useful tool when average CV is estimated for muscle assessment and diagnostic purposes. The improvement in estimation quality has however the disadvantage of the more complex recording system required (2-D surface EMG recordings).



Influenza dell'accorciamento delle fibre muscolari sulla stima di velocità di conduzione da segnali EMG

Influence of muscle fiber shortening on estimates of conduction velocity from surface EMG signals

C. Disselhorst-Klug, D. Farina, R. Merletti, G. Rau, E. Schulte

Lo studio del segnale EMG di superficie durante contrazioni dinamiche assume un'importanza crescente. Le conoscenze dei problemi metodologici di questa analisi sono tuttavia ancora limitate. L'obiettivo di questo studio era di analizzare l'effetto dell'accorciamento delle fibre muscolari e dello spostamento tra elettrodi e muscolo sulle stime di velocità di conduzione e sulla frequenza media del segnale EMG di superficie. Si sono simulati potenziali d'azione di singole fibre muscolari (a diverse lunghezze delle fibre) prelevati in superficie da filtri spaziali comunemente applicati nella pratica. Nelle simulazioni non si sono introdotte modificazioni di tipo fisiologico con la lunghezza delle fibre, quindi solo gli artefatti di tipo geometrico, relativi all'accorciamento delle fibre, sono stati analizzati. Il modello utilizzato descrive il volume conduttore come un mezzo anisotropo, non-omogeneo, a strati piani. Le conclusioni sono state 1) la stima di velocità di conduzione e la frequenza media dello spettro del segnale sono influenzate allo stesso modo dall'accorciamento delle fibre, 2) posizioni degli elettrodi vicine alla zona di innervazione minimizzano la sensibilità all'accorciamento ma aumentano quella agli spostamenti relativi tra elettrodi e muscolo e 3) la sensibilità all'accorciamento dipende dal filtro spaziale applicato per il prelievo del segnale. Siccome la velocità di conduzione e la frequenza media dello spettro mostrano simili sensibilità all'accorciamento delle fibre, la stima di velocità di conduzione, parametro fisiologico diretto, dovrebbe essere preferita all'analisi in frequenza.

The study of surface EMG signals under dynamic contractions is becoming increasingly important. However, the knowledge about the methodological issues which may affect such analysis is still limited. The aim of this study was to analyze the effect of fiber shortening and of a shift between electrodes and muscles on estimates of conduction velocity (CV) and mean power spectral frequency (MNF) from surface EMG signals. Single fiber action potentials were simulated as detected by commonly used spatial filters for different fiber lengths. No physiological modifications were included with changes in fiber length, thus only geometrical artifacts related to fiber shortening, affecting EMG features, were investigated. The model used describes the volume conductor as an anisotropic, non-homogeneous, layered medium. The main conclusions were 1) CV and MNF are almost equally affected by changes in fiber length, 2) electrode locations close to innervation zone minimize the sensitivity to fiber shortening but show large sensitivity to electrode-muscle shifts, and 3) sensitivity to fiber shortening depends on the spatial filter adopted for signal detection. Since CV and MNF showed similar sensitivity to fiber shortening, CV may be preferred for muscle assessment during dynamic contraction because, contrary to characteristic spectral frequencies, it is a direct physiological parameter.



Confronto della selettività di filtri spaziali: influenza del modello di volume conduttore

D. Farina, S. Martina, R. Merletti, L. Mesin

I filtri spaziali sono utili per aumentare la selettività del prelievo del segnale EMG di superficie. Questo lavoro ha l'obiettivo di analizzare l'importanza della descrizione del volume conduttore nella valutazione della selettività dei filtri basata su studi in simulazione. Per le simulazioni condotte in questo studio è stato adottato un modello cilindrico multistrato, con il quale è stato possibile simulare diverse configurazioni anatomiche e confrontare la selettività di alcuni filtri spaziali tra i più usati nel prelievo EMG: il singolo differenziale longitudinale (LSD), il doppio differenziale longitudinale (LDD) e il doppio differenziale normale o Laplaciano (NDD). Il confronto della selettività dei diversi filtri spaziali ha determinato conclusioni molto diverse a seconda del modello di volume conduttore utilizzato. Per esempio, mentre con un modello con solo osso e muscolo e fibre attive superficiali, il rapporto tra i valori picco-picco della componente propagante e di quella non propagante è risultato pari a circa il 220% per l'LDD e l'LSD e a circa il 290% per l'NDD, con un modello con osso, muscolo, grasso e pelle il filtro LSD si comportava peggio (150%) di LDD e NDD, i quali presentavano prestazioni simili (circa 300%). Allo stesso modo, aumentando la distanza laterale del prelievo di 10°, in un caso l'ampiezza del segnale era ridotta al 2% con LSD e LDD e al 4% con l'NDD, mentre con una diversa anatomia LSD e LDD riducevano l'ampiezza al 20-25% e l'NDD al 4%. Anche lo studio di altri indici di selettività ha portato a considerazioni analoghe. Quindi, l'approccio della modellistica deve essere usato con cautela per trarre conclusioni sulla selettività dei filtri spaziali e per suggerire la scelta di un particolare filtro.

Comparison of spatial filter selectivity: influence of the volume conductor model

Spatial filters are used for increasing selectivity in surface EMG signal detection. This study investigated the importance of the description of the volume conductor for inferring conclusions on filter selectivity based on simulation analyses. A cylindrical multi-layer description of the volume conductor was used for the simulation analysis. Different anatomies were analyzed with this model and results on filter selectivity compared. The longitudinal single (LSD), double (LDD) and normal double differential (Laplacian, NDD) filters were investigated. Largely different conclusions could be drawn when comparing filter selectivity resulting from simulations with different volume conductor models. A filter which performed best with a particular anatomy could be the poorest with another anatomy. While with a bone/muscle model and superficial active fibers, the ratio between peak-to-peak values of the propagating and non-propagating signal components was approximately 220% for LDD and LSD and approximately 290% for NDD, with a bone/muscle/fat/skin model LSD performed significantly worse (150%) than both LDD and NDD, which showed similar performances (approximately 300%). Similarly, increasing the lateral distance of the recording by 10°, signal amplitude was reduced to 2% with LSD and LDD and to 4% with NDD. With another anatomy, LSD and LDD reduced signal amplitude to 20-25% while NDD reduced it to 4%. Similar considerations could be drawn for other selectivity indexes. Thus, modeling should be used carefully to infer conclusions on spatial selectivity and to indicate particular selections of spatial filters.



Simulazione di segnali EMG di superficie da tessuti muscolari con non-omogeneità dovute alla pennazione delle fibre

Simulation of surface EMG signals generated by muscle tissues with in-homogeneity due to fiber pinnation

R. Merletti, L. Mesin

La modellistica del segnale EMG di superficie ha importanti applicazioni nell'interpretazione di dati sperimentali. La maggior parte dei modelli di generazione del segnale EMG hanno considerato volumi conduttori omogenei nella direzione di propagazione dei potenziali d'azione. Nei casi pratici questo non si verifica a causa di non-omogeneità locali o del fatto che un muscolo può avere gruppi di fibre con diversi orientamenti.

Questo studio si occupa della descrizione analitica di segnali EMG di superficie generati da muscoli bi-pennati in geometria planare; quindi muscoli che hanno due gruppi di fibre con due diversi orientamenti.

L'approccio proposto è stato anche adattato al caso di muscolo con fibre inclinate nella direzione della profondità. Nel caso di non-omogeneità nella direzione di propagazione del potenziale d'azione il sistema non può essere descritto come spazio invariante in questa direzione, per cui i potenziali rilevati sulla cute propagano con variazioni di forma. Questo richiede una soluzione del problema per ogni posizione della sorgente. Per il muscolo bi-pennato la soluzione soddisfa alcune proprietà di scala che possono essere utili per ridurre il carico computazionale.

Questo studio ha fornito la soluzione analitica del problema non-omogeneo e anisotropo del muscolo bi-pennato e del muscolo con fibre inclinate nella direzione della profondità. Nello studio si sono discusse alcune proprietà generali della soluzione, si sono implementate le tecniche proposte in modelli EMG completi e si sono mostrati risultati rappresentativi dell'applicazione dei modelli proposti

Surface EMG signal modeling has important applications in the interpretation of experimental EMG data. Most models of surface EMG generation considered volume conductors homogeneous in the direction of propagation of the action potentials. However, this may not be the case in practice due to local tissue in-homogeneities or to the fact that a muscle may have groups of muscle fibers with different orientations.

Our study addresses the issue of analytically describing surface EMG signals generated by planar bi-pinnate muscles, i.e., muscles which have two groups of fibers with two orientations.

The approach is also adapted to the case of a muscle with fibers inclined in the depth direction. In case of muscle in-homogeneities in the direction of propagation of the action potentials, the system can not be described as space invariant in the direction of source propagation, thus the detected potentials at the skin surface do not travel without shape changes. This requires a solution of the problem for all positions of the propagating source. In the case of a bi-pinnate muscle, the solution satisfies some scale properties, which can be useful to reduce computational time.

The study provides the analytical solution of the non-homogenous, anisotropic problem of a bi-pinnate muscle and a muscle with fibers inclined with respect to the detection surface, discusses some general properties of the solution, proposes an implementation of the results in complete surface EMG generation models, and shows representative results of the application of the model proposed.



Simulazione del segnale EMG in volumi conduttori complessi con metodi agli elementi finiti

D. Farina, S. Martina, L. Mesin

La modellistica del segnale EMG di superficie è importante per l'interpretazione dei segnali, il test di algoritmi, il progetto di filtri spaziali e per la didattica. Numerosi modelli per l'EMG di superficie sono stati proposti in letteratura. Questo studio si è focalizzato su 1) un metodo generale per la modellistica del segnale EMG di superficie con descrizioni sia di tipo analitico, sia di tipo numerico del volume conduttore per sistemi spazio invarianti, 2) lo sviluppo di modelli avanzati del volume conduttore con tecniche numeriche, in grado di descrivere accuratamente non solo la geometria del volume conduttore, come principalmente è stato fatto in passato, ma anche il tensore di conduttività del tessuto muscolare. Per volumi conduttori di tipo spazio invariante nella direzione di propagazione delle sorgenti, i potenziali superficiali generati da qualsiasi tipo di sorgente possono essere calcolati tramite convoluzioni in una sola dimensione, una volta ottenuta (analiticamente o con metodi numerici) la funzione di trasferimento del volume conduttore. Questo approccio riduce notevolmente il tempo di calcolo.

Volumi conduttori più complessi richiedono invece un approccio di tipo numerico. In modelli complessi il tensore di conduttività del tessuto muscolare dovrebbe seguire la direzione delle fibre. In alcuni casi (per esempio in muscoli multi-pennati) una descrizione accurata del tensore di conduttività può risultare molto complessa, ma potrebbe rivelarsi più importante per la definizione delle caratteristiche del segnale che una descrizione precisa della geometria del volume conduttore. Un metodo per adattare il tensore di conduttività alla curva che rappresenta la direzione delle fibre muscolari è stato presentato e applicato allo studio di un muscolo bi-pennato con fibre

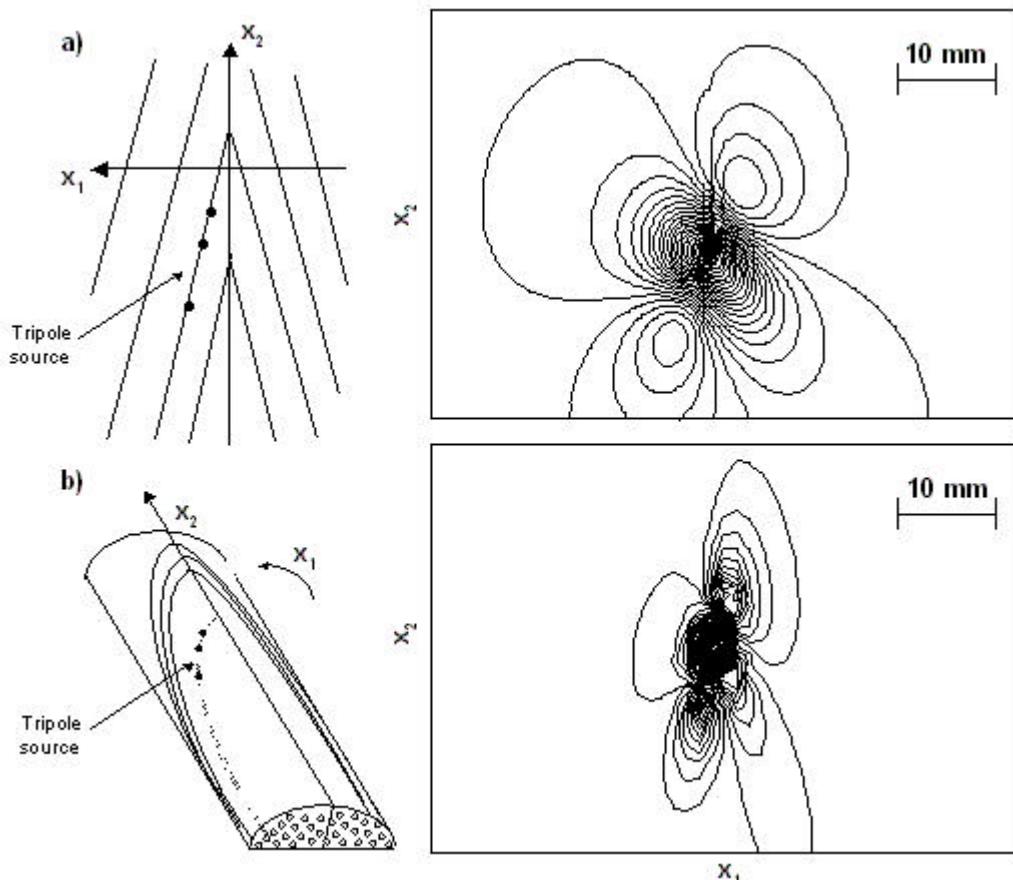
EMG signal simulation in complex volume conductors by finite element approaches

Surface EMG signal modeling is important for signal interpretation, testing of algorithms, detection system design, and didactic purposes. Various surface EMG signal models have been proposed in the literature. In this study we focused on 1) a general method for modeling surface EMG signals by either analytical or numerical descriptions of the volume conductor for space-invariant systems, and 2) the development of advanced models of the volume conductor by numerical approaches, accurately describing not only the volume conductor geometry, as mainly done in the past, but also the conductivity tensor of the muscle tissue. For volume conductors that are space-invariant in the direction of source propagation, the surface potentials generated by any source can be computed by simple one-dimensional convolutions, once the volume conductor transfer function is derived (analytically or numerically). This approach significantly reduces the computational time.

Conversely, more complex volume conductors require a complete numerical approach. In a numerical approach, the conductivity tensor of the muscle tissue should be matched with the fiber orientation. In some cases (e.g., multi-pinnate muscles) accurate description of the conductivity tensor may be very complex but may result more relevant for describing the signal features than a detailed description of the volume conductor geometry. A method for relating the conductivity tensor of the muscle tissue, to be used in a numerical approach, to the curve describing the muscle fibers was presented and applied to representatively investigate a bi-pinnate muscle with curvilinear fibers. The study thus provided a

curvilinee. Questo studio quindi fornisce un metodo generale per la simulazione del segnale EMG di superficie e presenta nuovi modelli di volumi conduttori basati su tecniche numeriche. La figura riporta un esempio di volume conduttore analizzato con i metodi proposti in questo studio.

general approach for surface EMG signal simulation as well as new models of the volume conductor using numerical methods. The Figure reports examples of volume conductors which have been investigated with the methods proposed in this study.



a) Rappresentazione schematica di un volume conduttore infinito che simula un muscolo bi-pennato. Il potenziale prodotto da un tripolo di corrente sulla superficie è rappresentato con un contour plot. La soluzione riportata è stata ottenuta in modo analitico con il metodo presentato nel contributo "Simulazione di segnali EMG di superficie da tessuti muscolari con non-omogeneità dovute alla pennazione delle fibre". b) Rappresentazione schematica e contour plot del potenziale generato sulla superficie esterna di un volume conduttore emicilindrico che simula un muscolo bi-pennato con fibre curvilinee. In questo caso era possibile solo una formulazione numerica del problema.

a) Schematic representation of an infinite volume conductor simulating a bi-pinnated muscle. The potential produced by a current tripole source on the surface is shown by a contour plot. The reported solution was obtained analytically with the method proposed in the contribution "Simulation of surface EMG signals generated by muscle tissues with in-homogeneity due to fiber pinnation". b) Schematic representation and contour plot of the potential generated at the external surface of an emi-cylindrical volume conductor simulating a bi-pinnate muscle with curvilinear fibers. In this case only a numerical formulation of the problem was possible.



Stima del fattore di scalamento di onde M rilevate ad alte frequenze di stimolazione

Scale estimation from M-waves detected at high stimulation rate

D. Farina, L. Mesin

La stimolazione elettrica del sistema neuromuscolare ha molte applicazioni cliniche, ad esempio in medicina della riabilitazione, per ridurre la spasticità, per la prevenzione di atrofia dovuta a ridotto uso o denervazione, per migliorare il controllo volontario in pazienti che hanno subito traumi, come stimolazione funzionale, per la stima della distribuzione delle velocità di conduzione di fibre nervose.

La stimolazione elettrica associata al prelievo del segnale EMG di superficie è stata utilizzata per lo studio della fatica muscolare.

Alcuni dei metodi utilizzati per analizzare le onde M in contrazioni affaticanti sono stati confrontati e un nuovo metodo è stato proposto in questo studio. I metodi basati su parametri spettrali (frequenze media e mediana) presentano problemi per contrazioni ad alta frequenza di stimolazione. La stima del fattore di scala nel dominio temporale ha prestazioni migliori rispetto ad altri metodi ma è influenzato dal troncamento dell'onda M quando la frequenza di stimolazione aumenta oltre un certo limite (> 30 Hz). Il metodo proposto in questo studio evita questi limiti, fornendo stime affidabili del fattore di scala tra onde M per frequenze di stimolazione anche dell'ordine di 60 Hz. La tecnica è basata sul troncamento del segnale di riferimento per ottenere una migliore somiglianza di forma con il segnale scalato ottenuto durante il progredire della fatica muscolare. Il metodo proposto è stato confrontato con altri approcci sia su segnali simulati che su segnali sperimentali e ha mostrato prestazioni migliori di quelle ottenibili in passato.

Electrical stimulation of the neuromuscular system finds a number of clinical applications. Examples of applications are found in rehabilitation medicine, to reduce spasticity, for the prevention of disuse or denervation atrophy, to improve voluntary control in stroke patients, for functional electrical stimulation, for the detection of the distribution of nerve fiber conduction velocities.

Electrical stimulation associated with the detection of the EMG signals has been applied to fatigue research.

Some of the methods proposed to study M-waves under fatiguing contractions are compared, and a new method is proposed in this study. Methods based on spectral parameters (mean and median frequency) present problems for elicited contractions at high frequency of stimulation. The time scale factor estimation presents performance better than other methods but is still affected by the truncation of the M-wave as the stimulation frequency increases above a certain limit (> 30 Hz). The new method proposed in this study overcomes such a limit, giving good estimates of the M-wave scaling factor up to stimulation frequencies of 60 Hz. It is based on the truncation of the reference signal in order to obtain a better matching of the reference signal with the scaled versions obtained during fatigue. Both simulated and experimental signals have been used to test the proposed method and to compare it with previous approaches. The proposed method proved to be superior to other techniques.



Un nuovo approccio alla rimozione dell'artefatto da stimolo con filtraggio adattativo

F. Assumma, K. Englehart, D. Farina, F. Mandrile, R. Merletti, P. Parker

I segnali EMG possono essere registrati durante contrazioni indotte elettricamente. L'analisi del segnale evocato (onda M) fornisce preziose informazioni sulle proprietà periferiche del sistema neuromuscolare. L'artefatto da stimolo (SA) generato dallo stimolatore, è un segnale indesiderato sovrapposto all'onda M che può polarizzare fortemente le stime delle variabili estratte dal segnale EMG. In questo studio viene proposto un algoritmo per la rimozione dell'artefatto da stimolo da onde M registrate con schiere lineari di elettrodi. Esso è basato su un elemento adattativo (rete neurale TDNN) che apprende la relazione esistente tra un segnale di riferimento (onda M estratta da un canale distale rispetto al punto di stimolazione, dove la sovrapposizione con l'artefatto da stimolo è trascurabile) e un canale primario (onda M corrotta da artefatto da stimolo su un canale prossimale, dove la sovrapposizione può essere significativa). Il segnale viene segmentato in due porzioni. L'addestramento della rete neurale avviene sul secondo segmento del segnale, dove è presente solo l'onda M. L'elemento adattativo generalizza la relazione trovata alla prima parte del segnale, ricostruendo l'onda M nella zona in cui essa è sovrapposta all'artefatto. Durante la propagazione, a causa del filtraggio passo basso dei tessuti e alla distribuzione di velocità di conduzione delle unità motorie, il supporto temporale dell'onda M cresce e le sue caratteristiche morfologiche cambiano. Vengono pertanto stimati sia il fattore di scala sia il ritardo tra il canale di riferimento e il canale primario. Il metodo

A novel approach to stimulus artifact removal using adaptive filtering

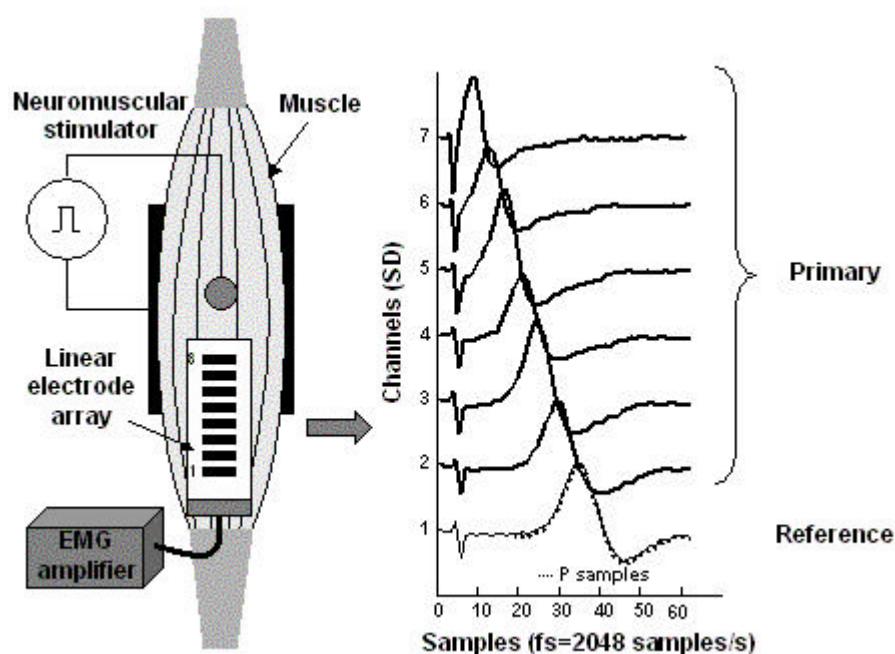
EMG signals can be detected during electrically elicited contractions. The analysis of the elicited signals (M-wave) provides useful information on the peripheral properties of the neuromuscular system. Stimulus artifact (SA) is an undesired signal superimposed to the M-wave, that is generated by the stimulator and that can heavily affect the estimates of the variables extracted from EMG signals.

A novel algorithm to remove SA from M-waves recorded by means of linear electrode arrays is proposed in this study. It is based on an adaptive element (TDNN neural network) to learn the relationship between a reference signal (M-wave extracted on a distal channel with respect to the stimulation point, where the superimposition with the SA is negligible) and a primary channel (M-wave corrupted by SA on a proximal channel, where superimposition can be significant). The routine segments the two signals into two portions. The neural network training process is performed only on the last portion of the signals, where only the M-wave is present. The adaptive element generalizes to the former portion of the signal the mapping learned in the last segment, thus reconstructing the M-wave in the region where it is superimposed with the SA. During propagation, the M-wave temporal support increases and its morphological characteristics change, due to the low pass filtering effect of the tissues and to the distribution of conduction velocity values of the motor units. Thus, both the scale factor and the delay between the reference and primary channel are estimated.

è stato valutato su segnali simulati e su segnali sperimentali. Nel secondo caso, una realizzazione dell'artefatto da stimolo ottenuta come uscita dell'algoritmo proposto è stata confrontata con un artefatto prelevato durante stimolazione sottosoglia. I risultati ottenuti sui segnali simulati e sui segnali sperimentali mostrano che il metodo rimuove con successo l'artefatto da stimolo e si dimostra essere piuttosto robusto al rumore additivo.

The method was tested on both simulated and experimental signals. In the experimental case, a normalized version of the cancelled SA obtained as an output of the proposed algorithm was compared with a sub-threshold SA.

The results from both simulated and experimental signals showed that the method successfully removes the stimulation artifact and it is relatively robust with respect to additive noise.



Esempio di ricostruzione di onda M utilizzando l'algoritmo proposto. Un'onda M di riferimento (linea a tratteggio fine), registrata su un canale distale rispetto al punto di stimolazione, viene utilizzata da un filtro adattativo basato su rete neurale per ricostruire l'onda M su un canale (primario) in cui l'artefatto da stimolo (SA) è sovrapposto al potenziale evocato (TDNN output). La rete neurale apprende la relazione esistente tra l'onda M presente sul canale di riferimento e quella sul canale primario utilizzando P campioni contenenti solo onda M.

Example of M-wave reconstruction using the proposed algorithm. A reference M-wave (dotted line), detected on a distal channel with respect to the stimulation point, is used by a neural network based adaptive filter to reconstruct the M-wave on a channel (primary) where stimulus artifact (SA) is superimposed with the evoked potential (TDNN output). The neural network learns a mapping between the M-wave on the reference channel and the M-wave on the primary channel by using P samples containing only the M-wave.



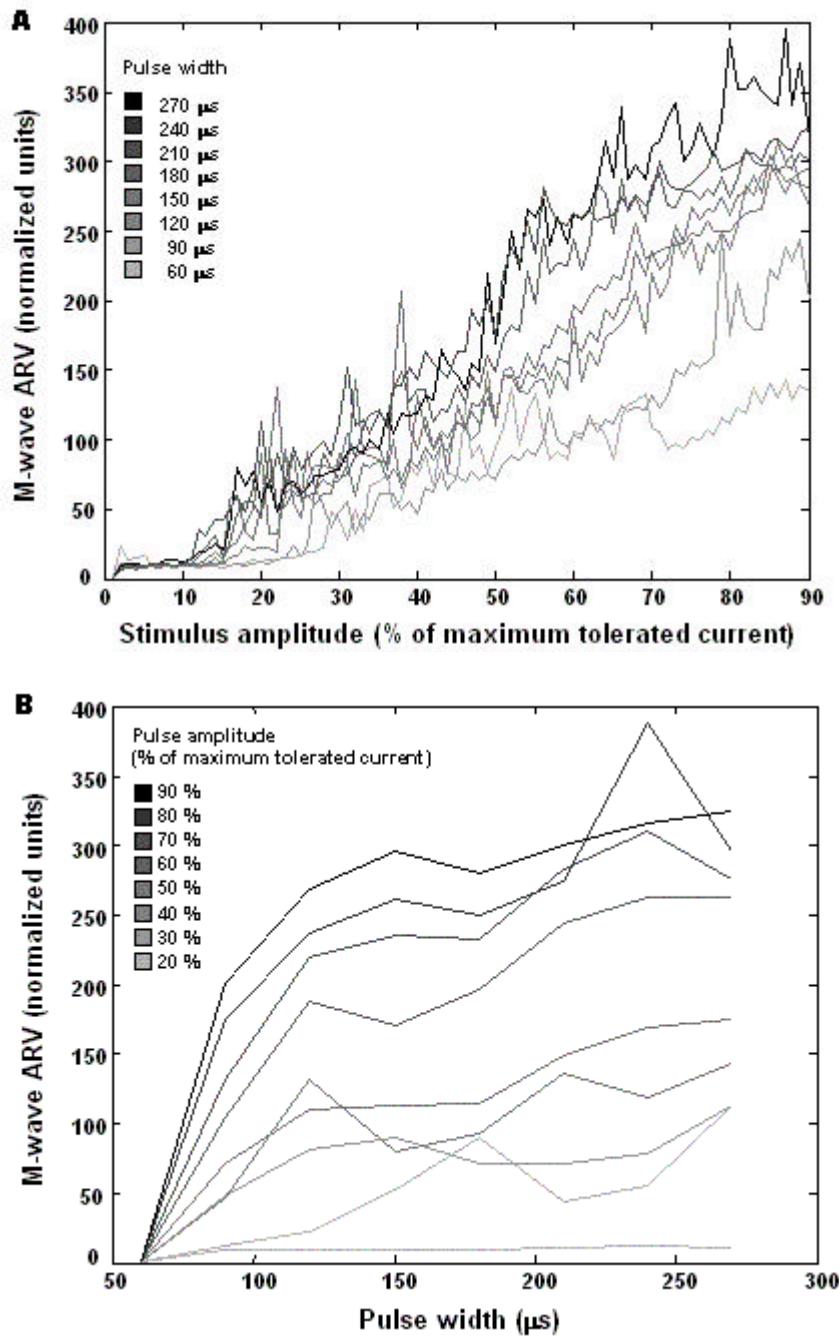
Influenza della durata e dell'ampiezza di stimoli rettangolari monofasici sull'onda M

Influence of duration and amplitude of rectangular mono-phasic stimuli on the M-wave

D. Farina, F. Mandrile, V. Marchio

Lo scopo di questo studio è la valutazione dell'influenza di durata e ampiezza di stimoli di corrente rettangolari monopolari sull'ampiezza dell'onda M, quindi sul numero di unità motorie reclutate. Segnali EMG di superficie sono stati registrati per mezzo di una schiera lineare di 8 elettrodi (distanza interelettrodica 5 mm) durante stimolazione elettrica transcutanea del bicipite brachiale destro di 10 soggetti sani. Sono stati utilizzati impulsi di corrente monopolari con otto diverse durate tra 60 ms e 270 ms. Per ciascuna durata dell'impulso di stimolazione la corrente di picco è stata aumentata linearmente tra 0 mA e la massima corrente tollerata dal soggetto. Gli impulsi di stimolazione sono stati generati da uno stimolatore neuromuscolare appositamente progettato avente uno stadio di uscita ibrido. Ogni contrazione aveva una durata di 5 secondi, con una frequenza di stimolazione di 20 Hz. L'influenza dei parametri dell'impulso di stimolazione sul reclutamento di unità motorie è stata valutata calcolando il valore rettificato medio (ARV) dell'onda M evocata. I risultati indicano che per ottenere lo stesso tipo di reclutamento (tra il 20 e il 90% del massimo ARV), la variazione percentuale di ampiezza dell'impulso di stimolazione necessaria risulta essere maggiore di circa il 30% rispetto a quella della durata. Si osserva quindi una maggiore sensibilità alla variazione percentuale di durata rispetto a quella di ampiezza dello stimolo. Questo risultato fornisce indicazioni per il progetto di futuri dispositivi di stimolazione neuromuscolare.

The purpose of this study was to investigate the influence of duration and amplitude of rectangular mono-phasic current stimuli on M-wave amplitude, thus on the pool of recruited motor units. Surface EMG signals were recorded during transcutaneous electrical stimulation on the right biceps brachii of 10 healthy subjects, using a linear adhesive array of 8 electrodes, 5 mm inter-electrode distance). Rectangular mono-phasic current stimuli, with eight pulse widths between 60 ms and 270 ms, were used. For each pulse width, the stimulation peak current was linearly increased from 0 mA to the maximum current tolerated by the subject. The stimulation pulses were generated by a specifically designed neuromuscular stimulator with hybrid output stage. Each contraction lasted 5 seconds with a stimulation frequency of 20 Hz. The influence of the stimulation pulse parameters on MU recruitment was assessed by measuring the average rectified value (ARV) of the elicited M-waves. Results indicated that, in order to exploit the same recruitment range (20-90% of the maximum M-wave ARV), the required percent pulse amplitude variation was approximately 30% greater than the percent duration variation. Thus, there was a greater sensitivity to the percent of variation of the pulse duration than to the percent of variation of the pulse amplitude. Such a result provides indications on the design of future neuromuscular stimulation devices.



a) ARV dell'onda M in funzione dell'ampiezza dell'impulso di stimolazione (% della massima corrente tollerata), e
 b) ARV dell'onda M in funzione della durata dell'impulso di stimolazione (ms). L'aumento dell'ampiezza dell'onda M è più sensibile alle variazioni della durata che dell'ampiezza dello stimolo. Fissato un dato livello di ampiezza per l'impulso di stimolazione, è dunque possibile reclutare un certo numero di unità motorie variando la durata dello stimolo con una sensibilità maggiore che non variando l'ampiezza dell'impulso di stimolazione a durata dello stimolo fissa.

a) *M-wave ARV versus stimulation waveform amplitude (% of the maximum tolerated current), and b) M-wave ARV versus stimulation waveform duration (ms). The increase of M-wave amplitude is more sensitive to the variation of stimulus duration than to the variations of its amplitude. Therefore, for a given M-wave amplitude, it is possible to recruit a number of MU by varying the stimulation pulse duration with greater sensitivity than recruiting the same MU pool by varying the pulse amplitude at a fixed pulse duration.*



Cancellazione di ampiezza del segnale EMG di superficie: analisi dei fattori di influenza

R. Enoka, D. Farina, K. Keenan, K.S. Maluf, R. Merletti

L'ampiezza del segnale EMG di superficie sottostima l'entità del segnale di attivazione inviato dal sistema nervoso al muscolo a causa della cancellazione delle fasi positive e negative dei potenziali d'azione. L'obiettivo di questo studio era di determinare l'effetto dei cambiamenti delle proprietà delle unità motorie sul grado di cancellazione nel segnale EMG. I seguenti effetti sono stati simulati per il muscolo primo dorsale interosseo: 1) la dimensione del territorio delle unità motorie; 2) la dispersione delle velocità di conduzione delle fibre in ogni unità motoria; 3) l'estensione della zona di innervazione; 4) il numero di unità motorie e di fibre muscolari. Il segnale EMG di superficie è stato simulato a 11 livelli di eccitazione con un modello che descrive ogni sorgente come la generazione, propagazione ed estinzione di un potenziale intracellulare. Il volume conduttore era un mezzo a strati paralleli (muscolo, grasso e cute). La cancellazione è stata quantificata confrontando il valor medio del segnale EMG rettificato prima e dopo che i singoli potenziali d'azione fossero rettificati. La riduzione del segnale è aumentata dal $31.4 \pm 1.5\%$, al 5% di eccitazione, al $70.7 \pm 0.1\%$, al 100% di eccitazione. La variazione dei parametri del modello ha determinato diversi gradi di cancellazione. I fattori principali che hanno influenzato la cancellazione sono stati la riduzione di unità motorie e del numero di fibre per unità motoria. Questi risultati indicano che valori comparabili di valore rettificato medio del segnale EMG non riflettono necessariamente simili output dal midollo spinale. In conclusione, il valore rettificato medio del segnale EMG non è un indice affidabile del comando nervoso centrale.

Surface EMG amplitude cancellation: analysis of factors of influence

The amplitude of surface EMG underestimates the activation signal sent by nervous system to the muscle due to the cancellation of positive and negative phases of motor unit action potentials. The purpose of the study was to determine the effect of changes in motor unit properties on the amount of signal cancellation in the surface EMG. The following effects were simulated for the first dorsal interosseous muscle: 1) size of the motor unit territory; 2) dispersion of the conduction velocities of muscle fibers within each motor unit; 3) extension of the innervation zone; 4) and number of motor units and muscle fibers. The surface EMG was simulated at 11 levels of excitation with a model that describes each source as the generation, propagation, and extinction of an intracellular action potential. The volume conductor was described as a layered medium simulating the muscle, fat, and skin tissues. Signal cancellation was quantified by comparing the average value of the simulated full-wave rectified EMG signal before and after motor unit action potentials were individually rectified. Signal reduction increased from $31.4 \pm 1.5\%$ at 5% excitation to $70.7 \pm 0.1\%$ at 100% excitation. Changing the parameters of the model significantly changed the amount of cancellation. The principal factor leading to the decrease in signal cancellation was the combined loss of motor units and muscle fibers per motor unit. These results indicate that comparable levels of average rectified EMG do not necessarily reflect similar levels of output from the spinal cord. In conclusion, average rectified EMG can not be considered as a reliable index of central drive.



Interazione tra l'interferenza ECG
e il segnale EMG in funzione della
distanza interelettrodica.

Risultati preliminari

ECG interference and EMG signal
interaction with respect to the
interelectrode distance.
Preliminary results

C. Dadone, A. Rainoldi

Una sorgente di interferenza nella registrazione di segnali EMG è data dal segnale elettrocardiografico (ECG) caratterizzato da una banda nell'intervallo 0.1-100 Hz quindi inclusa in quella del segnale EMG. Ovviamente l'interferenza diventa importante quando il segnale EMG sia registrato da muscoli vicini al cuore.

Scopo di questo lavoro è stabilire se la distanza interelettrodica (IED) utilizzata sia o meno correlata con l'entità dell'interferenza ECG registrata. La posizione degli elettrodi è stata sempre scelta in modo ottimo (cioè tra la zona di innervazione e la terminazione tendinea).

Sono state effettuate registrazioni dal muscolo pectoralis major sinistro di un soggetto per dieci secondi in modalità singolo differenziale usando IED nell'intervallo 5-50 mm. In Figura sono riportati esempi dei complessi QRS per ciascuna IED, il loro RMS medio e gli RMS normalizzati rispetto al valore massimo ottenuto.

I valori di RMS di segnali ECG aumentano in modo polinomiale e, per IED=5 mm, diventano pari al 10-15% del valore calcolato per IED=50 mm (considerato come 100% di riferimento).

Sono state effettuate altre registrazioni a differenti distanze dal cuore con il soggetto a riposo (dai muscoli sternocleidomastoideo, trapezius superior, rectus abdominis, sul longissimus dorsi a livello di T2 e T6). In queste condizioni non sono state riscontrate attività ECG con valori di RMS superiori a 25 mV. Per ultimo, sono stati registrati altri segnali EMG (utilizzando IED=5 mm) durante l'attivazione di alcuni muscoli (rectus abdominis, pectoralis major, teres major, rhomboid major and longissimus dorsi) senza riscontrare, almeno con ispezione visiva, interferenza ECG.

One source of interference in the EMG signal recording is represented by the electrocardiography signal (ECG), since it has a frequency band in the range 0.1-100 Hz, that is within the EMG signal band. Of course, the interference becomes important when the EMG signal is recorded from trunk muscles close to the heart.

Aim of this work was to assess if the interelectrode distance (IED) adopted is related or not to the amount of ECG interference. The electrodes were always placed in the optimal position (between the innervation zone and the tendon).

Recordings in single differential configuration using IEDs in the range 5-50 mm were collected from the left pectoralis major muscle of one subject for ten seconds. In the Figure samples of ECG signals for each IED, their average absolute RMS values and the RMS values normalized with respect to the maximum are reported. QRS RMS values increase in a polynomial way and, at IED=5 mm, become the 10-15% of the value at IED=50 mm (considered as the reference 100%).

Other recordings were collected at different distances from the heart (sternocleidomastoid, trapezius superior, rectus abdominis and longissimus dorsi at the level of T2 and T6 on the back) with the subject at rest. No ECG activity with RMS greater than 25 mV was observed in any of these conditions.

Finally, other EMG signals were recorded (with IED=5 mm) during the activation of muscles (rectus abdominis, pectoralis major, teres major, rhomboid major and longissimus dorsi) and it was never possible to recognize the ECG contamination with visual inspection.



In conclusione è possibile suggerire che:

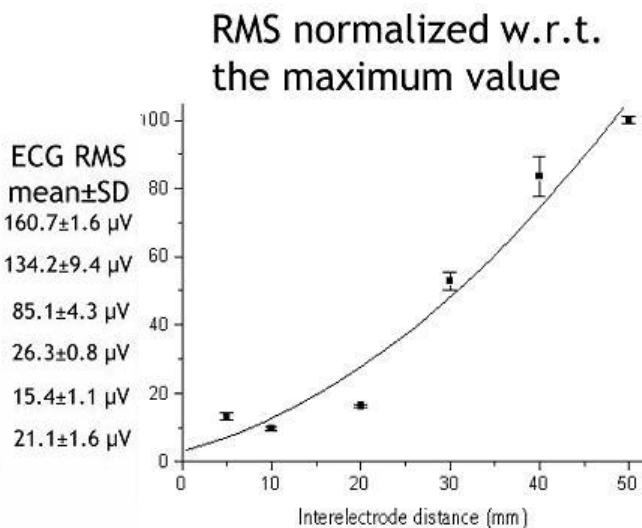
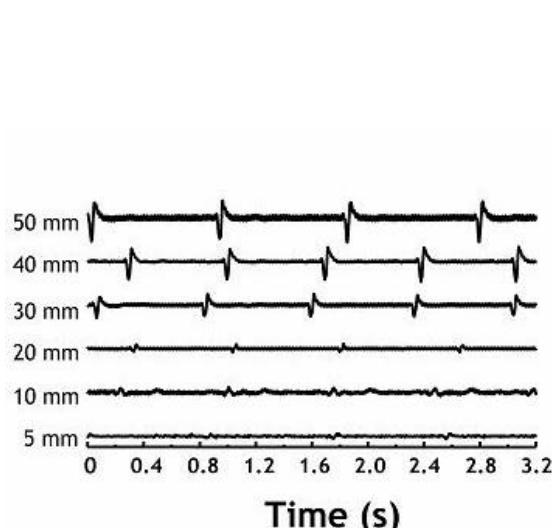
- Il segnale EMG registrato da muscoli vicini al cuore può essere contaminato da interferenza ECG;
- Questo effetto di disturbo è dipendente dalla IED adottata e aumenta all'aumentare di questa;
- Poiché anche l'ampiezza del segnale EMG aumenta all'aumentare della IED, un parametro più opportuno potrebbe essere dato dal rapporto tra gli RMS dei segnali EMG ed ECG.

Un ulteriore lavoro su un gruppo di dieci soggetti fornirà le informazioni che, confrontate con le varianze di stima delle variabili EMG, permetterà di stabilire la reale entità e importanza dell'interferenza ECG.

In conclusion it is possible to suggest that:

- *EMG signal recorded from muscles close to the heart can be contaminated by the ECG signal;*
- *This noisy effect is related to the IED used and it increases with the IED adopted;*
- *Since also the EMG amplitude is related to the IED, the parameter of interest should be the RMS ratio between EMG and ECG.*

Further work on a group of subject will provide information to be compared with the standard variance of EMG variable estimates, allowing to assess the actual importance of the ECG interference.



A sinistra sono riportati i complessi QRS registrati per 10 secondi con diverse IED. I segnali sono acquisiti in modalità singolo differenziale con una coppia di elettrodi applicati sul muscolo pectoralis major sinistro, in direzione delle fibre. I valori assoluti di RMS (\pm SD, mediati sui 10 segnali ECG) e i valori di RMS normalizzati (rispetto al valore medio ottenuto per IED=50 mm) sono riportati in funzione delle IED.

QRS potentials recorded for 10 seconds with different IED values are depicted on the left. Signals are recorded in single differential configuration with a couple of electrodes placed on the left pectoralis muscle along the fiber direction. Absolute average RMS values (\pm SD, N=10 ECG signals) and normalized RMS values (with respect to the value obtained with IED=50 mm) are reported as a function of the IED.



Sviluppo di un ecografo A-mode per la stima dello spessore degli strati sottocutanei

Development of an A-mode echograph for assessing subcutaneous tissue layer thickness

M. Cavaliere, E. Merlo, M. Pozzo

I segnali EMG prelevati sulla cute sono soggetti ad un effetto di filtraggio passa basso dovuto alla presenza dello strato di grasso sottocutaneo.

Per comprendere quanto i segnali vengano alterati è necessario conoscere, con sufficiente accuratezza, lo spessore dello strato adiposo sottostante il punto di prelievo.

Gli strumenti commercialmente disponibili che si possono utilizzare a questo scopo sono i plicometri e gli ecografi B-mode. I primi sono economici ma caratterizzati da scarsa precisione; al contrario, gli ecografi B-mode, che forniscono un'immagine in scala di grigi dell'eco, sono costosi, ingombranti, e possiedono molte funzioni superflue per questa specifica applicazione.

Per colmare questa lacuna, è stato realizzato uno strumento portatile ed alimentato a batteria, che consente di misurare lo spessore degli strati sottocutanei con una accuratezza di 0.1 mm.

Il dispositivo è equipaggiato con una sonda ultrasonica che genera onde acustiche ad alta frequenza in direzione trasversale a quella del muscolo e raccoglie gli echi generati dalle interfacce tra i diversi strati sottocutanei. Dalla misura del ritardo tra l'emissione dell'onda e la ricezione dei suoi echi è possibile stimare la distanza tra la cute e le varie interfacce.

Il risultato della misura viene visualizzato su un display LCD, come un grafico di ampiezza dell'eco in funzione della profondità; ogni picco in questo grafico corrisponde pertanto ad una riflessione generata da un'interfaccia, e la distanza tra due picchi è proporzionale allo spessore dello strato presente tra le due interfacce.

Lo strumento dispone di diverse funzioni che consentono all'utente di fermare

EMG signals detected on the skin are affected by a low-pass filtering effect, due to the subcutaneous fat layer. For a better understanding of this modification, the thickness of the fat layer under the detection point needs to be known with accuracy.

Commercially available instruments that can be used for this purpose are plicometers (skinfold calipers) and B-mode echographs. Plicometers are inexpensive, but have a very low precision; conversely, B-mode echographs, which provide a gray-scale image of the echo, are expensive, bulky, and feature many functions which are unnecessary for this specific purpose.

To fill this gap, a pocket-size, battery powered instrument has been designed which allows to measure the thickness of the subcutaneous layer with a resolution of 0.1 mm.

The device is equipped with an ultrasonic probe, which generates an high-frequency mechanical wave in the transverse muscle direction, and detects the echoes generated at the subcutaneous layer interfaces. By measuring the delay between the emitted wave and its echoes, it is possible to estimate the distance between the skin and the different interfaces.

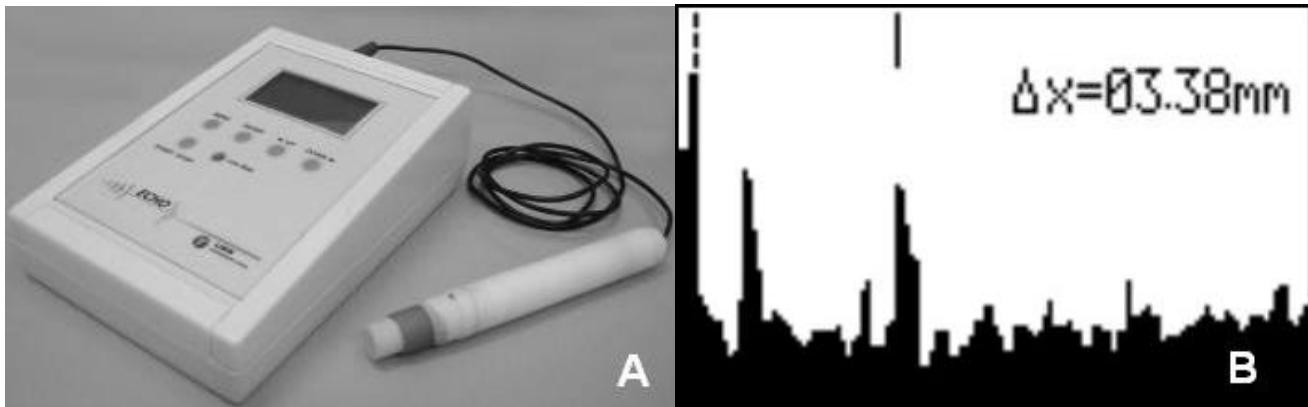
The result of the measurement is displayed graphically on an LCD display as the amplitude of the echoes versus depth; each peak in this graph thus corresponds to a reflection at a different interface, and the distance between two peaks is proportional to the thickness of the layer in between.

The device features a series of



l'immagine, ingrandire e scorrere il grafico della misura in corso; due cursori permettono inoltre di misurare la distanza tra picchi consecutivi.

functions that allow the user to freeze, zoom or scroll the graph of the current measurement; a cursor function is provided to measure the distance of two consecutive peaks.



A) Immagine del prototipo dell'ecografo B) Esempio di schermata del display LCD che mostra i risultati di una misura; i cursori sono posizionati in corrispondenza dei picchi associati alle riflessioni generate dall'interfaccia sonda-cutanea (linea tratteggiato) e dall'interfaccia grasso-muscolo (linea continuo), la cui distanza misurata è pari a 3.38 mm. Notare la presenza di un picco intermedio corrispondente alla riflessione generata dall'interfaccia tra il derma e il grasso sottocutaneo.

A) Image of the prototypal echograph B) Sample screenshot of the LCD display showing the results of a measurement; cursors are placed over the peaks corresponding to reflections at the probe-skin interface (dashed cursor) and the fat-muscle interface (continuous cursor), whose distance measures 3.38 mm. Note the presence of an intermediate peak, representing the reflection between the epidermis and dermis layer and the subcutaneous fat.



Software per il controllo
e la programmazione dello
stimolatore neuromuscolare
programmabile St-PRO

Software for control and
programming of St-PRO
multichannel neuromuscular
stimulator

E. Detoma, M. Pozzo

È stato recentemente realizzato un innovativo programma per il controllo remoto dello stimolatore programmabile multicanale St-PRO (si veda il contributo "Stimolatore neuromuscolare multicanale programmabile St-PRO" nel Rapporto Annuale 2001). Utilizzabile con sistemi operativi Windows 98, 2000, ME, NT ed XP questa applicazione, denominata Waveform Editor, sostituisce una vecchia versione per MS-DOS, aggiungendo nuove funzionalità ed una migliorata facilità d'uso.

Tutti i parametri di stimolazione di St-PRO (frequenza, intensità della corrente, numero di canali attivi, ecc...) sono visualizzati sullo schermo del PC e possono essere controllati da software mediante una semplice interfaccia grafica, salvati o caricati da file, oppure stampati in un rapporto cartaceo.

Un potente editor grafico permette all'utente di definire, indipendentemente per ciascuno degli otto canali di St-PRO, l'andamento temporale delle intensità di stimolazione (inviluppo) e la forma d'onda degli impulsi. L'editor comprende un completo set di strumenti fra cui un interprete di funzioni, che permette di definire una forma d'onda o un inviluppo mediante descrizione analitica. Forme d'onde ed inviluppi possono anche essere importate o esportate verso altre applicazioni (per es. Matlab, per il quale sono disponibili routines di conversione), sia in formato binario che testo.

Il programma comunica con St-PRO

A novel software for the remote control of the multi-channel programmable stimulator St-PRO, developed at LISIN in 2001 (see the contribution "St-PRO multi-channel programmable neuromuscular stimulator" in Annual Report 2001), has been recently released. Running under Windows 98, 2000, ME, NT and XP this application, called Waveform Editor, substitutes an older MS-DOS based software, indeed providing new features and enhanced ease of use.

All the stimulation parameters of St-PRO (frequency, current intensity, number of active channels, etc...) are displayed on the PC screen and can be controlled from software by means of a user-friendly graphical interface, stored to or retrieved from file, or printed out in a summary form.

A powerful graphical editor allows the user to design, independently for each of the eight stimulation channels, the time course of the stimulation intensities (or "envelopes") and of the stimulation waveforms. The editor features a comprehensive set of tools including a function parser, that allows the user to define the waveform or envelope by entering its analytical description. Waveforms and envelopes can also be imported from or exported to other applications (e.g., Matlab, for which conversion routines have also been designed), either in binary or text format.

The software communicates to St-PRO by means of a standard RS-232 interface or, by means of a conversion cable, through USB. Waveform Editor has been successfully tested and has been used in



tramite un'interfaccia standard RS-232 o, mediante un cavo di conversione, tramite porta USB. Waveform Editor è stato collaudato con successo ed utilizzato nell'ambito di diversi protocolli di ricerca nell'ambito del progetto "Microgravity Effects on Skeletal Muscles", finanziato dalle Agenzie Spaziali Europea ed Italiana.

successfully tested and has been used in several research protocols within the project "Microgravity Effects on Skeletal Muscles", sponsored by the European and Italian Space Agencies.



Un GRID per il supporto della ricerca in Bioingegneria

A GRID infrastructure as support for Bioengineering research

G. Ballocca, R. Borri , M. Canonico , M. Gazzoni , L. Lo Conte

L'elaborazione tramite GRID è nata principalmente per condividere la potenza di calcolo di potenti elaboratori multi-processore in parallelo.

La collaborazione con il Centro Supercalcolo Piemonte (CSP) ha avuto inizio nel 2002 e riguarda l'utilizzo di reti di calcolatori e GRID per risolvere problemi computazionalmente intensi.

Nel corso del 2003 la collaborazione si è focalizzata sulla configurazione di una infrastruttura GRID basata sul Toolkit Globus in grado di condividere risorse di calcolo del CSP e del Centro di Bioingegneria. Il Toolkit Globus è attualmente considerato come lo "standard de-facto" per l'implementazione dei GRID.

Le funzionalità fornite dal GRID dovrebbero rendere disponibile una potenza di calcolo in grado di sostenere lo sviluppo e l'applicazione di metodi innovativi in campi di applicazione quali lo sviluppo e la verifica di modelli matematici, l'elaborazione e l'estrazione di informazioni da segnali di origine biologica.

Nello studio del sistema neuromuscolare in condizioni fisiologiche e patologiche, i metodi di analisi del segnale e i modelli sono diventati negli anni sempre più accurati e complessi. Come conseguenza, la loro applicazione richiede una potenza di calcolo sempre maggiore. Attualmente, la verifica di nuovi metodi di elaborazione può richiedere alcuni giorni di CPU su una macchina a singolo processore dell'ultima generazione.

Una nuova linea di ricerca, recentemente avviata al Centro di Bioingegneria, è volta alla

GRID computing was born as a form of metacomputing, mainly to share the computing power of powerful parallel multiprocessor machines.

The collaboration with Centro Supercalcolo Piemonte (CSP) started in 2002 and concerns the use of computer networks and GRIDS for solving computer intensive problems.

In 2003 the collaboration focused on the configuration of a GRID infrastructure based on the Globus Toolkit involving CSP and Bioengineering Centre computing resources. Globus Toolkit is the "middleware" actually considered the "de-facto standard" for GRID implementations.

GRID functionalities would provide a processing power able to boost the development and application of new advanced methods in fields such as mathematical model design and testing, processing and information extraction from biological signals.

In the study of the neuromuscular system in physiological and pathological conditions, the signal analysis methods and models became gradually more accurate and complex. As a consequence, high computational power is required. At the present time, the testing and validation of new processing methods may require some CPU days on a single-processor PC of the last generation.

A new research line recently opened at the Bioengineering centre, is focused on the structural characterization of protein. Up to now, a number of algorithms have been developed and tested on a very subset of proteins. Because of the high number of proteins



caratterizzazione strutturale delle proteine. Fino ad oggi, sono stati sviluppati e verificati diversi algoritmi su un sottoinsieme di proteine. A causa del gran numero di proteine e della complessità delle relazioni di interesse, è necessario disporre di una capacità di calcolo in grado di supportare tale ricerca.

Ad oggi, un PC del Centro di Bioingegneria è stato inserito nel GRID gestito dal CSP ed è stata completata la fase di verifica. Nel prossimo futuro, l'applicazione di modelli e metodi di elaborazione sviluppati dal Centro di Bioingegneria, potrà trarre vantaggio dalle capacità di calcolo offerte da tale risorsa.

and the complexity of the relationships of interest, a processing frame able to support such a research is needed also in this field.

At the present time the setup of one PC of the Bioengineering Center within the GRID infrastructure completed and tested. In the near future the application of advanced processing methods and models developed by the Bioengineering Centre will benefit from the speed up provided by such infrastructure.



A P P L I C A Z I O N I C L I N I C H E
E T R A S F E R I M E N T O
T E C N O L O G I C O A L L E
P I C C O L E A Z I E N D E

C L I N I C A L A P P L I C A T I O N S
A N D T E C H N O L O G Y
T R A N S F E R T T O S M A L L
C O M P A N I E S

Ripetibilità di stime di velocità di conduzione muscolare con tecniche EMG multi-canale

Reproducibility of muscle fiber conduction velocity estimates using multi-channel surface EMG techniques

D. Farina, M. Gazzoni, R. Merletti, D. Zagari

L'obiettivo di questo studio era l'analisi della ripetibilità di stime di velocità di conduzione muscolare ottenute da prelievi elettromiografici (EMG) multi-canale. I segnali EMG di superficie sono stati registrati dal bicipite brachiale tramite una matrice di 61 elettrodi durante contrazioni isometriche, sub-massimali (al 50% della massima coppia volontaria). La velocità di conduzione è stata stimata con metodi multi-canale a massima verosimiglianza. La ripetibilità delle stime è stata valutata al variare del numero di segnali (da 2 a 7) utilizzati per la stima e della distanza tra punti di prelievo (5 mm - 30 mm). Si è osservato che il coefficiente di correlazione intra-classe (ICC) dei valori iniziali della velocità di conduzione stimata e dei suoi cambiamenti relativi nel tempo aumenta all'aumentare del numero di segnali e della distanza tra punti di prelievo. L'ICC dei valori iniziali, ad esempio, era negativo utilizzando due segnali mentre aumentava a circa il 75% con 6-7 segnali. Gli indicatori di ripetibilità sono molto differenti quando si utilizzano tecniche di

The aim of this study was to assess the reproducibility of muscle-fiber conduction velocity (CV) estimates obtained from multichannel surface electromyographic (EMG) recordings. Surface EMG signals were collected with a matrix of 61 electrodes during isometric, submaximal (50% of the maximal voluntary contraction torque) contractions of the biceps brachii muscle. Conduction velocity was estimated using multichannel maximum likelihood techniques. Reproducibility of CV estimates was assessed varying the number of signals (2-7) used for the estimate and the distance between detection points (5 mm - 30 mm). Intraclass correlation coefficient (ICC) of both initial CV values and their rates of change with fatigue increased when increasing number of signals and distance between detection points. ICC of initial CV was negative using two signals for CV estimate, and it increased to approximately 75% with 6-7 signals. Repeatability indicators are rather different when using different techniques



stima diverse, con un impatto nelle applicazioni pratiche. Si è concluso che la ripetibilità delle stime di velocità di conduzione può essere migliorata in modo significativo utilizzando metodi di stima multi-canale avanzati rispetto alle classiche tecniche a due canali.

of estimation of CV, with an impact in practical applications. It was concluded that reproducibility of CV estimates may be improved significantly using advanced multichannel estimation methods with respect to classic two-channel techniques.



Ripetibilità delle stime di variabili EMG durante stimolazione elettrica del muscolo vasto laterale

Repeatability of EMG variables in electrical stimulation of the vastus lateralis muscle

C. Dadone, A. Rainoldi

La ripetibilità delle variabili EMG è di particolare importanza per l'uso della tecnica elettromiografica nella routine clinica.

Lo scopo di questo progetto è di valutare la ripetibilità dei valori iniziali del valore rettificato medio (ARV), della frequenza media (MNF) e della velocità di conduzione muscolare (CV) ottenuti da segnali EMG indotti da stimolazione elettrica. Sono state indotte elettricamente contrazioni sovramassimali della durata di 30 secondi alla frequenza di 2 e 20 Hz nel muscolo vasto laterale (VL) dell'arto dominante di nove soggetti maschi sani.

Il VL è stato scelto per la sua importanza tra i muscoli dell'arto inferiore e poiché è stato oggetto di studi volti a evidenziare correlazioni tra la tipologia di fibre, le prestazioni atletiche e le stime delle variabili EMG.

I segnali EMG sono stati registrati due volte nello stesso giorno e in tre giorni diversi. La ripetibilità è stata stimata con l'analisi della varianza (ANOVA), l'Errore Standard della Media (SEM) e il Coefficiente di Correlazione Intraclass (ICC).

I dati raccolti confermano i risultati già disponibili per altri muscoli. I valori iniziali di ARV e MNF hanno mostrato alta ripetibilità con valori di ICC nell'intervallo 73-88%. Le stime globali di CV (ottenute usando l'algoritmo di McGill su tre canali) hanno mostrato alta precisione, con bassi valori di SEM (<3%). Questi risultati confermano CV e MNF come le variabili più adatte per l'analisi delle manifestazioni mioelettriche di fatica in contrazioni stimolate del VL.

Repeatability of EMG variables is of considerable relevance for the clinical routine use of such a technique. This work aims to assess the repeatability of initial values of rectified value (ARV), mean spectral frequency (MNF) and muscle fiber conduction velocity (CV) of electrically elicited EMG signals. Supramaximal electrically elicited contractions lasting 30 seconds were evoked at the frequency of 2 and 20 Hz in the vastus lateralis muscle (VL) of the dominant leg of nine healthy male subjects.

VL was chosen due to its relative importance among lower limb muscles and since it was investigated to correlate its fiber type distribution with athlete's performances and EMG variable estimates.

EMG signals have been recorded twice a day for three subsequent days. The degree of repeatability was investigated using the ANalysis Of VAriance (ANOVA), the Standard Error of the Mean (SEM) and the Interclass Correlation Coefficient (ICC).

Data collected confirm findings available in the literature for other muscles. ARV and MNF initial values were found highly repeatable with ICC values in the range 73-88%. CV global estimates (obtained using the McGill's algorithm on three channels) were found highly reliable with a low standard error of the mean (<3%), confirming CV and MNF the most appropriate EMG variables for fatigue analysis during electrical elicited contractions of the VL muscle.



Valutazione di fatica dei muscoli lombari di infermiere anziane

R. Bonfiglioli, C. Cescon, M. Pozzo, R. Merletti, S. Venturi, F. S. Violante

Lo scopo dello studio era il confronto tra le variabili elettromiografiche estratte dai segnali EMG di superficie dei muscoli dorso-lombari in un gruppo di 20 infermiere anziane di cui 10 con problemi nella regione lombare e 10 sane.

I criteri di selezione per i casi con dolore lombare sono stati: donne di età compresa tra 45 e 62 (tre anni prima della pensione) che lavorino almeno 20 ore alla settimana, che abbiano lavorato almeno 5 anni con compiti lavorativi simili e che abbiano accusato problemi (dolore o fastidio) nella regione di interesse (lombo-sacrale) per più di 30 giorni durante l'anno precedente alla misura e che non abbiano accusato dolori (per più di 30 giorni) da più di due altre parti del corpo. Il gruppo di controllo è stato abbinato in base all'età.

I segnali EMG sono stati prelevati bilateralmente dai muscoli Longissimus Dorsi (LD) e Multifidus (MF) durante il Sörensen test. La prova è stata ripetuta in tre giorni non consecutivi. Per ogni muscolo è stata posizionata una schiera adesiva di 4 elettrodi, distanza interelettrodica di 10 mm, allineata rispetto alle fibre muscolari. Il valore rettificato medio (ARV) e la frequenza media (MNF) sono stati utilizzati come variabili per l'analisi dei segnali EMG bipolarì con distanza interelettrodica di 30 mm. L'analisi statistica ha evidenziato differenze significative nei valori iniziali di ARV e di MNF fra i due gruppi analizzati. I casi hanno mostrato un'ampiezza del segnale minore e una maggiore frequenza media rispetto al gruppo di controllo in entrambi i gruppi muscolari. Nessuna differenza statisticamente significativa è stata osservata nel confronto tra i segnali acquisiti nelle tre diverse prove.

Assessment of fatigue of low back muscles in elderly nurses

The aim of the study was to compare myoelectric variables extracted from surface EMG signals of the low back muscles in a group of 10 elderly female nurses and a control group of 10 female healthy subjects.

The selection criteria for the patients suffering from low back pain were: women aged from 45 to 62 (three years before retirement) working at least 20 h/week, who have worked at least 5 years with similar work tasks and who reported trouble (ache, pain, discomfort) in the region of interest (low-back or neck and shoulder) for more than 30 days during the last year and not having trouble (more than 30 days) from more than two other body regions/parts. The control group was matched by age.

EMG signals were detected bilaterally from the Longissimus Dorsi (LD) and Multifidus (MF) muscles during a Sörensen test. The test was repeated on three non-consecutive days. For each muscle, a 4 electrode, 10 mm interelectrode distance adhesive array was positioned aligned with the muscle fiber direction. The averaged rectified value (ARV) and mean frequency (MNF) were used as myoelectric variables for the analysis of the 30 mm single differential signals.

The statistical analysis showed significant differences in the initial values of ARV and MNF between the two subject groups. The cases showed a lower signal amplitude and higher frequency with respect to the control group in both muscle groups. No statistically significant difference was observed in the comparison of signals acquired in the three subsequent trials.



Effetto della forma d'onda
sul reclutamento di unità motorie
durante stimolazione elettrica
transcutanea

Effect of waveform shape on motor
unit recruitment during
transcutaneous electrical
stimulation

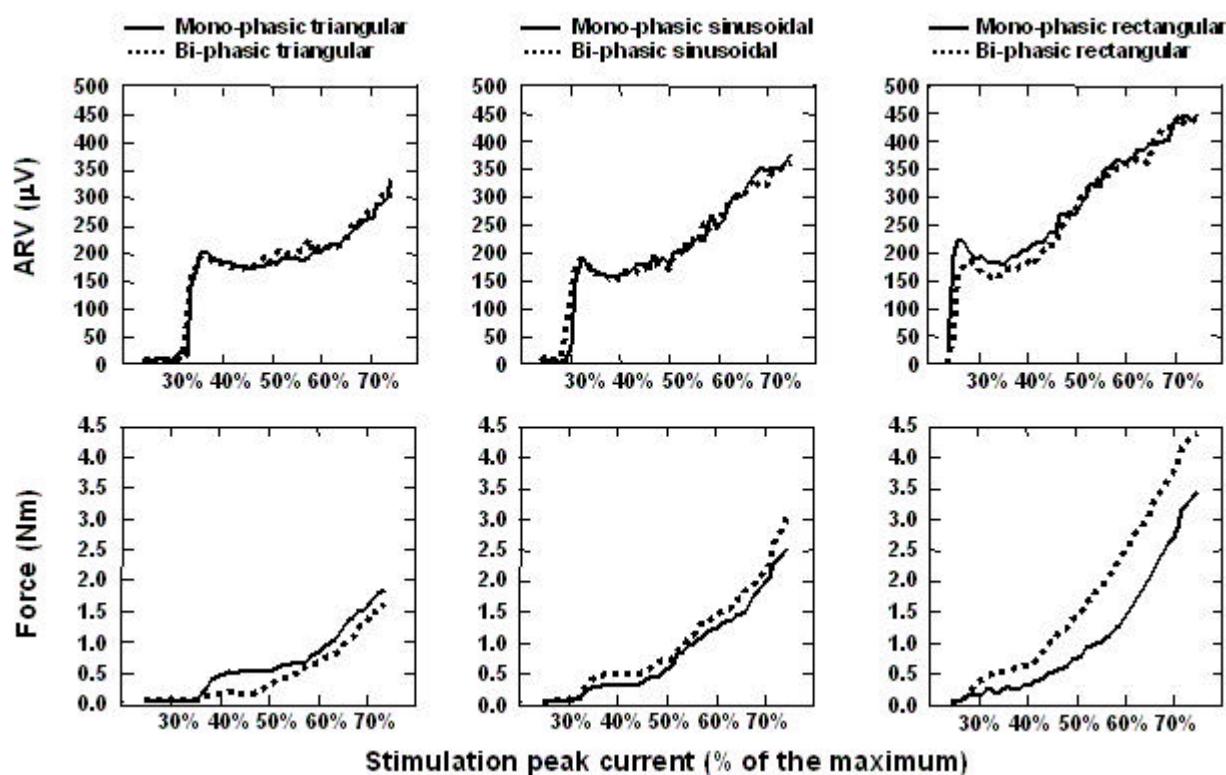
D. Farina, F. Mandrile, M. Pozzo

Lo scopo di questo studio è la valutazione del reclutamento di unità motorie durante la stimolazione elettrica transcutanea di muscoli scheletrici, mediante l'uso di impulsi di stimolazione in corrente di diversa forma d'onda. Segnali EMG di superficie sono stati registrati per mezzo di una schiera lineare di elettrodi (8 elettrodi, distanza interelettrodica 5 mm) dal bicipite brachiale destro di 11 soggetti sani durante contrazioni indotte elettricamente. Il braccio del soggetto è stato bloccato ad un angolo di 120° (essendo 180° l'estensione completa del braccio) in un braccio isometrico sensorizzato per misure di coppia/forza. La stimolazione elettrica è stata applicata con tecnica monopolare (un elettrodo di 35 mm x 35 mm sul punto motore principale del bicipite brachiale e un elettrodo di 50 mm x 80 mm sul tricipite). Sono state utilizzate sei forme d'onda di stimolazione (monopolari e bipolarì triangolari, sinusoidali e rettangolari), generate da uno stimolatore neuromuscolare con stadio di uscita ibrido. Il valore di picco della corrente di stimolazione è stato aumentato linearmente da 0 mA alla massima corrente tollerata dal soggetto. Il valore rettificato medio (ARV), il valor quadratico medio (RMS) e il valore di ampiezza picco-picco (PPK) sono stati calcolati per valutare le proprietà di ampiezza dell'onda M. La frequenza media e mediana dello spettro del segnale hanno invece fornito indicazioni sul contenuto in frequenza dell'onda M. La forza esercitata durante le contrazioni è stata misurata per valutare le proprietà meccaniche del muscolo stimolato elettricamente. I risultati mostrano che non esiste differenza statistica tra le caratteristiche delle onde M indotte da forme d'onda di stimolazione isomorfe monopolari e bipolarì, e che l'ampiezza dell'onda M e la forza esercitata crescono con

The purpose of this study was to assess motor unit recruitment during transcutaneous electrical stimulation of skeletal muscles using current stimulation pulses with different waveform. Surface EMG signals were recorded during electrically elicited contractions of the right biceps brachii of 11 healthy subjects, using a linear adhesive array of 8 electrodes and 5 mm inter-electrode distance. The arm of the subject was fixed at 120° (being 180° the full extension of the arm) in a sensorized isometric brace for torque/force measurement. Electrical stimulation was applied with monopolar technique (a 35 mm x 35 mm electrode on the main motor point of the biceps brachii and a 50 mm x 80 mm on the triceps). Six stimulation waveforms (mono- and bi-phasic triangular, sinusoidal, and rectangular), generated by a neuromuscular stimulator with hybrid output stage were tested. The stimulation peak current was linearly increased from 0 mA to the maximum current tolerated by the subject. The average rectified value (ARV), root mean square value (RMS), and peak-to-peak value (PPK) were computed to investigate M-wave amplitude properties. Mean and median frequency provided indications on the frequency content of the M-wave. The force exerted during the contraction was measured to assess the mechanical properties of the electrically elicited muscle. Results showed that there was no statistically significant difference between features of the M-waves elicited by iso-morphic mono and bi-phasic waveforms. M-wave amplitude and the exerted force increased when the energy of the stimulus increased. Thus, a rectangular wave recruited more motor units than a sinusoidal

l'energia dello stimolo. Pertanto, una forma d'onda rettangolare recluta più unità motorie di una sinusoidale o triangolare aventi lo stesso livello di corrente di picco. Normalizzando i valori di ARV rispetto al valore di ampiezza al 50% della corrente di stimolazione, tuttavia, non si osservano differenze statistiche significative tra le diverse forme d'onda. Il reclutamento di unità motorie, quindi, dipende principalmente dall'energia e non dalla particolare forma d'onda dell'impulso di stimolazione, come indicato in figura.

or a triangular one, at the same peak current level. However, when the ARV data were normalized with respect to the amplitude at 50% of the stimulation current, there was no statistically significant difference between the results obtained by the different waveforms. Thus, motor unit recruitment mainly depended on the energy of the stimulation pulse but not on the specific waveform shape, as indicated in the figure.



Esempio di valore rettificato medio (ARV) di onde M e di forza esercitata registrate durante contrazioni, indotte elettricamente, del bicipite brachiale destro di un soggetto. Forme d'onda di corrente monopolari e bipolarì (triangolari, sinusoidali, rettangolari) sono state utilizzate per la stimolazione del muscolo. Non esiste differenza statisticamente significativa tra le variabili di EMG corrispondenti a forme d'onda isomorfe. Inoltre l'attivazione muscolare dipende solo dall'energia dell'impulso e non dalla forma d'onda utilizzata (il fattore di scala fra curve di reclutamento diverse coincide col rapporto fra l'energia delle corrispondenti forme d'onda di stimolazione utilizzate).

Examples of average rectified values (ARV) of M-waves and exerted forces recorded during electrically elicited contractions of right biceps brachii in a sample subject. Mono and bi-phasic current waveforms (triangular, sinusoidal, rectangular) were used to stimulate the muscle. No statistically significant difference was found between EMG variables corresponding to iso-morphic waveforms. Moreover, muscle activation depended only on the energy of the pulse and not on the waveform used (the ratio between the vertical scale of two recruitment curves equals the ratio of the energies of their corresponding waveforms).



Frequenza media e velocità di conduzione del segnale EMG di superficie nel trapezio superiore durante lavoro a tastiera

Upper trapezius surface EMG mean power spectral frequency and conduction velocity during typing tasks

D. Farina, E. Merlo, M. Pozzo, L. Scasso

L'analisi del segnale EMG di superficie durante attività lavorative che prevedono contrazioni di lunga durata è un mezzo importante per lo studio delle proprietà del muscolo in medicina occupazionale. La possibilità di rilevare segni di fatica durante queste contrazioni può infatti essere importante per la prevenzione di disordini neuromuscolari e per il progetto di stazioni lavorative. Queste contrazioni sono tuttavia meno vincolate rispetto a quelle isometriche, solitamente prese in considerazione per lo studio di fatica con segnali EMG.

L'analisi congiunta delle frequenze caratteristiche e dell'ampiezza del segnale EMG è stata proposta per identificare intervalli di fatica e recupero durante attività lavorative. L'ipotesi in esame è che le frequenze caratteristiche riflettano la velocità di conduzione (CV) media. L'obiettivo di questo studio è analizzare la possibile relazione tra variabili spettrali e CV durante battitura a tastiera. Segnali EMG di superficie sono stati registrati dal trapezio superiore destro e sinistro di 10 soggetti sani maschi durante quattro periodi di battitura della durata di cinque minuti ognuno e separati da cinque minuti di riposo. CV e frequenza media (MNF) non hanno mostrato andamenti consistenti nel tempo tra i soggetti analizzati. Inoltre, l'aumento (o diminuzione) di CV poteva corrispondere sia all'aumento che al decremento di MNF. CV e MNF non sono risultate correlate. Si è concluso che durante contrazioni dinamiche a basso livello di forza non c'è relazione tra CV e MNF. Questo è probabilmente dovuto alla distribuzione dei territori delle unità motorie attive nel muscolo, che influenza molto MNF e meno CV.

The analysis of surface EMG signals during working activities implying long duration contractions is an important means for muscle assessment in occupational medicine. The possibility of detecting signs of fatigue during these contractions may be important for the prevention of neuromuscular disorders or the design of work places. However, these conditions are less constrained than isometric contractions, usually investigated by surface EMG for fatigue assessment.

It has been suggested that the joint analysis of surface EMG characteristic spectral frequencies and amplitude may be used to identify time intervals of fatigue and recovery during working activities. The hypothesis under test was that characteristic spectral frequencies should reflect average muscle fiber conduction velocity (CV). The aim of this study was to investigate a possible relation between spectral variables and CV during typing tasks. We recorded surface EMG signals from the right and left upper trapezius muscle of 10 healthy male subjects during four periods of five minute typing, separated by five minute rest. CV and mean spectral frequency (MNF) had non-consistent trends with time for the different subjects. Moreover, a significant increase (decrease) of CV could correspond to either an increase or a decrease of MNF. CV and MNF were not significantly correlated. It was concluded that during low level dynamic contractions there is no relation between average CV and spectral characteristics of the signal. This is likely due to the scatter of the geometric locations of the active motor units which strongly affects MNF and less CV.



Analisi delle strategie di controllo di unità motorie nel trapezio e deltoide di chitarristi e violinisti durante l'esecuzione di brani musicali

Analysis of motor unit control strategies in the upper trapezius and deltoid of guitar and violin players during playing

E. Merlo, G. Nuti

L'obiettivo di questo lavoro era analizzare le strategie di controllo delle unità motorie adottate da chitarristi e violinisti durante l'esecuzione di brani musicali. In particolare, le stime della velocità di conduzione media (CV) sono state utilizzate per valutare il reclutamento di unità motorie.

Schiere a quattro elettrodi sono state posizionate sul trapezio superiore destro e sinistro e sul deltoide medio destro. Inoltre, due coppie di elettrodi sono state posizionate sui muscoli massetere e sternocleidomastoideo; la contrazione di questi due muscoli, teoricamente non coinvolti nei compiti motori analizzati, è stata utilizzata come indice di possibili contrazioni anomale.

Durante l'esecuzione dei brani sono stati registrati e sincronizzati fra loro i segnali EMG, un tracciato audio e due tracce video da diversa angolatura, che hanno permesso di analizzare i movimenti dei musicisti e la qualità dell'esecuzione congiuntamente ai segnali EMG. Questo ha permesso di verificare se gli errori durante l'esecuzione dei brani fossero associati a contrazioni anomale.

La CV delle fibre muscolari e l'inviluppo di ampiezza del segnale EMG sono stati stimati dai due trapezi e dal deltoide. Queste variabili hanno mostrato un andamento molto ripetibile tra sessioni differenti. In particolare, l'andamento di CV durante due esecuzioni successive dello stesso brano risulta molto simile (con coefficiente di correlazione tra due andamenti di CV spesso maggiore di 0.7). Ciò indica che la strategia di reclutamento delle unità motorie è molto simile quando compiti motori molto precisi sono ripetuti in diverse occasioni.

The aim of this study was to analyze the motor unit control strategies adopted by guitar and violin players during playing. In particular, the estimates of average muscle fiber conduction velocity (CV) were used to assess motor unit recruitment.

Four-electrode arrays were placed on left and right upper trapezius and on the right median deltoid muscle. Additionally, two electrode pairs were located on masseter and sternocleidomastoid muscles; these two muscles, not directly involved in the tasks analyzed, were used to monitor possible anomalous contractions.

During the execution of the pieces EMG signals, one audio track, and video clips from two different observation points were synchronously recorded, with the purpose of analyzing the movements of the musicians and the quality of their execution jointly with the EMG signals. This allowed us to verify if errors during playing were associated with anomalous muscle contractions.

EMG amplitude and CV were estimated from the trapezius and deltoid muscles. These variables showed a highly repeatable pattern in repeated sessions. In particular, the pattern of CV during two subsequent executions of the same piece were very similar (with correlation coefficients between two CV patterns often larger than xx0.7). This indicated that the motor unit recruitment pattern is very similar when high precision tasks are repeated on different occasions.



Velocità di conduzione muscolare durante pedalata al variare della velocità, potenza e forza

Muscle fiber conduction velocity assessed during cycling at different speeds, powers, and forces

G. De Vito, D. Farina, R.A. Ferguson, A. Macaluso

In questo studio abbiamo analizzato la velocità di conduzione (CV) muscolare durante pedalata. La velocità di conduzione muscolare è un indicatore delle proprietà periferiche e di controllo del muscolo.

Tredici soggetti sani maschi sono stati studiati. Per ogni soggetto si è determinata la soglia del lattato in una sessione sperimentale preliminare. La misura della soglia del lattato è stata seguita da almeno tre giorni di riposo prima della sessione sperimentale.

Segnali EMG di superficie sono stati rilevati dal vasto laterale e mediale durante pedalate a 45 cicli/min, 60 cicli/min, 90 cicli/min e 120 cicli/min. Per ogni velocità al soggetto venivano richiesti due esercizi, uno alla potenza corrispondente alla soglia del lattato, l'altro a metà di questa potenza. Con queste scelte si sono potuti analizzare separatamente l'effetto della forza e della velocità di pedalata sulla CV media. Entrambi i fattori, velocità e forza, hanno influenzato significativamente CV. In particolare, CV aumentava con la forza e sia con la velocità media che istantanea di pedalata (ANOVA seguita da post-hoc test).

Si è concluso che durante un esercizio dinamico la CV media dipende dalla velocità di contrazione, anche se la forza è mantenuta costante. Questo può essere dovuto a cambiamenti nelle frequenze di attivazione o nella composizione di fibre dell'insieme di unità motorie reclutate.

In this study we analyzed muscle fiber conduction velocity (CV) during cycling. Average CV is an indicator of both peripheral and control muscle properties.

Thirteen healthy male subjects were investigated. For each subject the lactate threshold was determined in a preliminary experimental session. The measure of the lactate threshold was followed by a minimum of three days before the experimental procedure.

Surface EMG signals were detected from the vastus lateralis and medialis muscles during cycling at 45 cycles/min, 60 cycles/min, 90 cycles/min, 120 cycles/min. For each speed, the subject was requested to perform two exercises, one at the power corresponding to the lactate threshold and the other at half of this power. With these choices we could analyze separately the effect of force and cycling speed on the average CV. Both factors, speed and force, significantly affected muscle fiber CV. In particular, CV significantly increased with force and with both increasing average and instantaneous speed of cycling (ANOVA analysis followed by post-hoc tests).

It was concluded that during a dynamic task the average muscle fiber CV may depend on the speed of the contraction even if the force is maintained constant. This may be due to changes in motor unit firing frequencies or in the fiber composition of the recruited motor unit pool.



Stima della velocità di conduzione delle fibre muscolari durante contrazioni dinamiche esplosive

G. Antonutto, D. Farina, R. Merletti, E. Merlo, M. Pozzo, P.E. di Prampero

In questo studio sono stati analizzati i segnali prelevati dai muscoli della coscia durante contrazioni esplosive di estensione delle gambe. Gli obiettivi principali del lavoro erano 1) stimare la velocità di conduzione delle fibre muscolari (CV) dai segnali EMG di superficie durante contrazioni dinamiche esplosive di breve durata, 2) validare il metodo di stima di CV in condizioni dinamiche mediante confronto dei risultati con quelli ottenuti durante contrazioni isometriche, 3) esaminare la possibilità di osservare il reclutamento di unità motorie (UM) durante contrazioni esplosive di breve durata (150-200 ms).

Segnali EMG di superficie sono stati prelevati dai muscoli vasto mediale e laterale di entrambe le cosce di 12 soggetti sani, utilizzando quattro schiere adesive a 4 elettrodi, durante contrazioni sia isometriche che dinamiche.

Per tutti i soggetti sono stati registrati i segnali prodotti durante due contrazioni isometriche a rampa da 0% al 100% della forza massimale. Le contrazioni esplosive sono state effettuate posizionando i soggetti su un seggiolino scorrevole montato su binari inclinati a 20 gradi e chiedendo loro di spingersi all'indietro, premendo con entrambi i piedi e con la massima forza e velocità contro due pedane sensorizzate. I segnali provenienti dai trasduttori di forza delle pedane, velocità del seggiolino ed angolo articolare del ginocchio, sono stati registrati da un PC dotato di scheda di acquisizione A/D. La velocità di conduzione delle fibre muscolari è stata stimata dai segnali EMG in sette finestre temporali disposte lungo l'intervallo crescente della forza registrata dalle pedane durante le contrazioni esplosive.

È stata trovata una correlazione significativa tra i valori di CV stimati durante le rampe isometriche e le contrazioni esplosive ($R = 0.75$). Inoltre, durante l'estensione esplosiva degli arti inferiori la stima di CV calcolata all'inizio della

Estimation of muscle fiber conduction velocity during explosive dynamic contractions

Surface EMG signals detected during explosive contractions of lower limb muscles (leg extensions) were analyzed in this study. The main objectives of the work were 1) to estimate muscle fiber conduction velocity (CV) from surface EMG signals during very short, explosive, dynamic contractions, 2) to validate the methods of estimation of CV in dynamic contractions by comparison of the results with those obtained in isometric contractions, 3) to investigate the possibility of observing motor unit (MU) recruitment during short (150-200 ms) explosive contractions. Four linear adhesive arrays of 4 electrodes were used to detect surface EMG signals from vastus lateralis and medialis muscles of both thighs of 12 healthy subjects. Both isometric and dynamic contractions were performed. For all subjects, two isometric contractions at linearly increasing force, from 0% to 100% of the maximal force, were recorded. Explosive dynamic contractions were performed by the subjects sitting on a rail-mounted sliding seat tilted at 20 degrees, by pushing maximally with both feet against two force platforms and thrusting themselves backwards with the maximum possible speed. Analog signals from platform force, seat speed and knee angle transducers were digitized and recorded by means of a PC equipped with an A/D converter board. Muscle fiber CV was estimated from surface EMG signals in seven time windows positioned along the ascending time interval of the force signal recorded during explosive contractions.

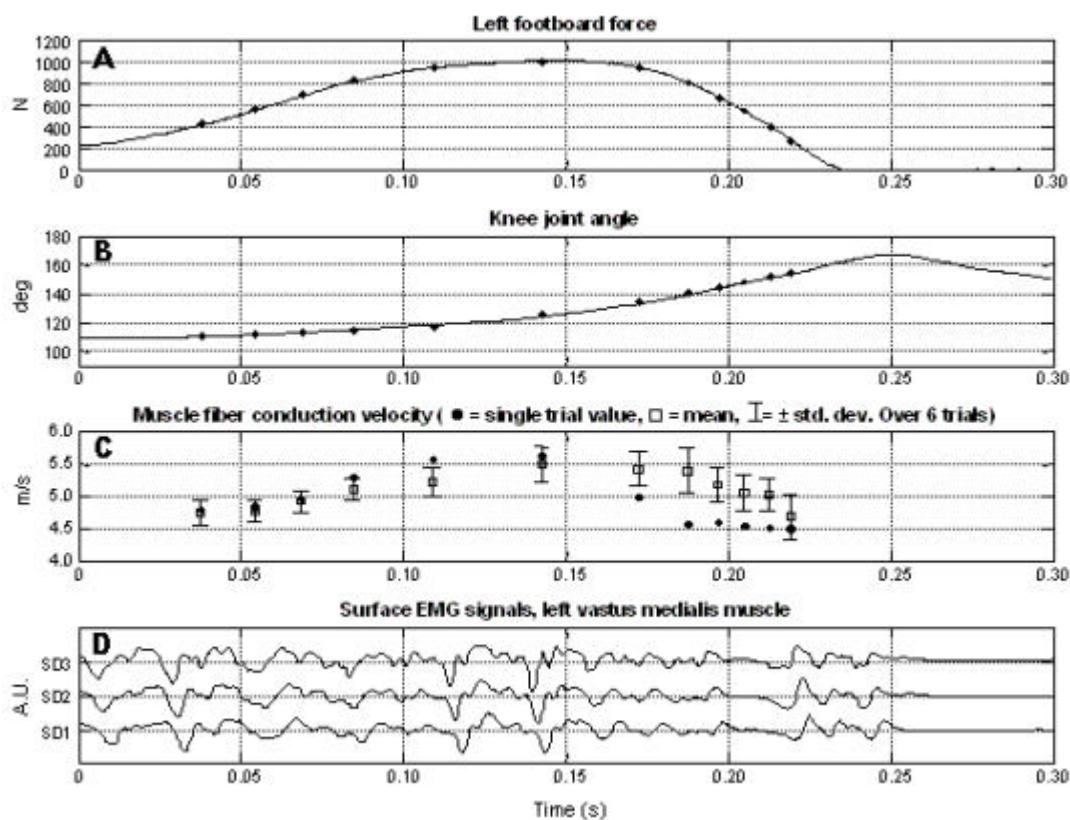
There was a significant correlation between CV values estimated during the isometric ramp and during the explosive contractions ($R = 0.75$). Moreover, during the explosive extensions of the lower limbs, CV estimates computed at the beginning of the

contrazione è correlata in modo significativo con la stima di CV ottenuta al picco di forza ($R = 0.81$). La velocità di conduzione cresce in modo significativo con la forza in circa 0.1 s, indicando un reclutamento di unità motorie da quelle più lente a quelle più veloci. Altri fattori di possibile influenza sui risultati mostrati (angolo articolare e condizioni geometriche) sono stati discussi ed esclusi dall'interpretazione dei risultati, si faccia riferimento alla figura riportata.

Questo studio pone le basi per la validazione della tecnica di stima di CV durante contrazioni dinamiche che coinvolgono rapidi movimenti degli arti inferiori.

contraction were significantly correlated with CV estimates obtained at the peak force ($R = 0.81$). Conduction velocity significantly increased with force during about 0.1 s, indicating recruitment from slow CV to high CV MUs. Others factors influencing the results shown (joint angle and geometrical parameters) have been discussed and excluded from result interpretation (see figure).

This study provides the bases for the validation of the methods of CV estimation during dynamic tasks involving fast limb movements.



Esempio rappresentativo di segnale (da un soggetto) prelevato durante una contrazione esplosiva e stima di CV ottenuta durante sia la fase crescente che decrescente della forza. A) Forza di reazione della pedana sinistra. B) Angolo articolare del ginocchio sinistro. C) Stima di CV delle fibre muscolari, calcolata con tecnica di finestratura gaussiana; media e deviazione standard delle sei contrazioni effettuate durante la sessione sperimentale dal soggetto. D) Segnale EMG multicanale di superficie prelevato dal muscolo vasto mediale. Si noti che, in questo caso, mentre la forza decresce, l'angolo articolare cresce e CV decresce.

Representative example of signals (from one subject) detected during an explosive contraction, and CV estimates during both the ascending and the descending phase of the force. A) Reaction force on left footboard. B) Left knee joint angle. C) Estimated muscle fiber CV, computed with the Gaussian windowing method; mean and standard deviation, over the six contractions performed in the experimental session by the subject, are also shown. D) Multi-channel surface EMG signals detected from left vastus medialis muscle. Note that, in this case, when force decreases, the knee joint angle increases and CV decreases.



Valutazione della fatica durante contrazioni cicliche eccentriche e concentriche su dispositivi a volano

B. Alkner, L. Jonsson, M. Pozzo, P. Tesch

Il LISiN è partner del progetto ESA "Resistance training using flywheel technology for crew stationed in space", mirato allo sviluppo ed alla validazione di attrezzi per esercizio fisico con tecnologia a volano, sviluppati dal Dipartimento di Fisiologia e Farmacologia del Karolinska Institute di Stoccolma e da Yo-Yo Technology AB, Svezia. Questi dispositivi sono equipaggiati con un volano, che viene posto in rotazione durante la fase concentrica di una contrazione muscolare; l'energia cinetica accumulata è utilizzata per fornire resistenza durante la fase eccentrica.

Nell'ambito di tale progetto, due protocolli di misura sono stati effettuati al Karolinska Institute; il loro scopo era la valutazione della fatica muscolare mediante una tecnica innovativa, sviluppata presso il LISiN, per la stima della velocità di conduzione muscolare (CV) in condizioni dinamiche, su due diversi tipi di dispositivi a volano: una "leg extension" ed una "calf press", utilizzate rispettivamente per esercizi di estensione della gamba e flessione plantare.

I protocolli sono stati effettuati su 10 soggetti sani e consistevano in: a) due contrazioni isometriche a forza crescente da 0 a 100% MVC in 10 s, b) una contrazione isometrica affaticante al 50% MVC e c) 30 ripetizioni di contrazioni massimali concentriche ed eccentriche sui dispositivi a volano; i primi due tipi di contrazione sono stati utilizzati come riferimento per i secondi. Per ogni soggetto, il protocollo è stato ripetuto due volte per valutare la ripetibilità delle misure.

Durante il protocollo di estensione della gamba, sono stati acquisiti segnali EMG dai muscoli VM e VL della gamba dominante, utilizzando due schiere adesive da 8 elettrodi, 5 mm i.e.d., mentre durante il protocollo di flessione plantare sono stati utilizzate quattro

Assessment of fatigue during cyclic concentric and eccentric contractions using flywheel devices

LISiN is a partner in the ESA project "Resistance training using flywheel technology for crew stationed in space", aimed to the design and validation of flywheel exercise devices, developed by the Department of Physiology and Pharmacology of the Karolinska Institute of Stockholm and Yo-Yo Technology AB, Sweden. These devices are equipped with a flywheel which is put to rotation during the concentric phase of a contraction; the kinetic energy accumulated is then used to provide resistance during the eccentric phase.

Within the framework of this project, two experimental protocols have been performed at Karolinska Institute; their aim was the assessment of muscle fatigue by means of a novel technique, developed by LISiN, for estimation of muscle conduction velocity (CV) in dynamic conditions, on two different flywheel devices: a leg extension and a calf press (used for plantar flexion).

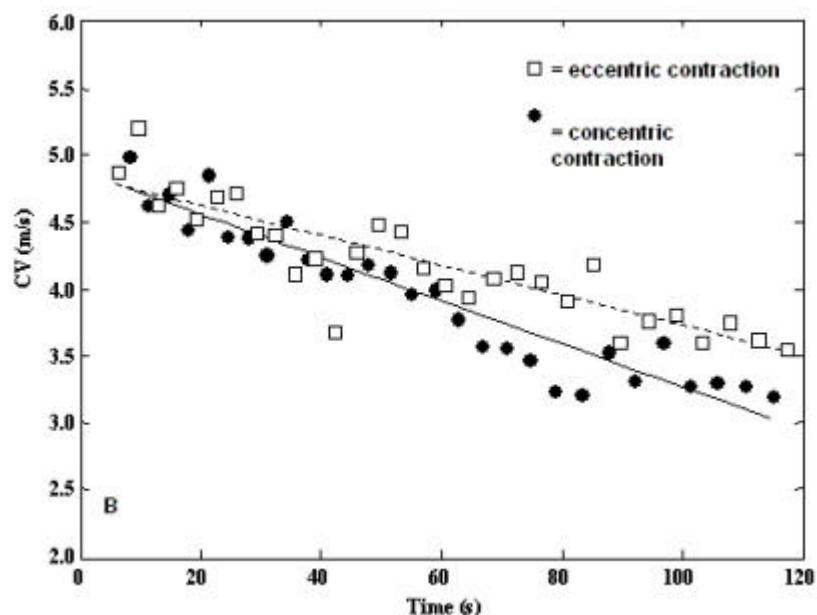
The protocols were performed on 10 healthy subjects and consisted in: a) two isometric, linearly increasing force contractions from 0 to 100% MVC in 10 s, b) an isometric fatiguing contraction at 50% MVC and c) 30 repetitions of maximal concentric/eccentric contractions on the flywheel devices, the first two contraction types being used as a reference for the latter. Each protocol was performed twice for each subject in order to assess repeatability.

During the leg extension protocol, multichannel EMG signals were acquired from VM and VL muscles of the dominant leg using two 8-electrode, 5 mm i.e.d. adhesive arrays, while during the plantar flexion protocol, multichannel EMG was acquired bilaterally from medial and lateral



schiere da 4 elettrodi, 10 mm i.e.d. sui gastrocnemi mediali e laterali di entrambe le gambe. Segnale EMG bipolare è stato inoltre acquisito dal retto femorale della gamba dominante e dai due solei, rispettivamente per i due protocolli.

L'elaborazione dei dati è tuttora in corso; tuttavia, risultati preliminari suggeriscono che la tecnica di stima di CV multicanale è applicabile anche in questo particolare tipo di contrazioni per valutare possibili effetti di fatica differenti durante contrazioni concentriche ed eccentriche.



A) Dettaglio del setup sperimentale per il protocollo "leg extension": il volano (visibile in basso a sinistra nella figura) è posto in rotazione dallo svolgimento di una cinghia durante la fase di estensione della gamba dominante; due schiere adesive da 8 elettrodi, 5 mm di distanza interelettrodica, sono posizionate sui muscoli VM e VL della gamba dominante. B) Velocità di conduzione muscolare (un punto per contrazione), stimata dal muscolo VL durante ripetizioni successive di contrazioni concentriche/eccentriche, utilizzando la tecnica citata nel testo.

A) Detail of the experimental setup for the leg extension protocol: the rotation of the flywheel (bottom left of the figure) is initiated by a strap, which is unwound when the subject is extending his dominant leg and re-wound during leg flexion; two 8-electrode, 5 mm i.e.d. adhesive arrays are placed on VM and VL muscles of the dominant leg. B) Muscle conduction velocity estimated from VL muscle during repetitive bouts of eccentric/concentric contractions (one dot per contraction) using the technique cited in the text.



Istanti di attivazione e ampiezza del segnale EMG in muscoli cervicali di soggetti sani durante alterazioni posturali

Onset time and EMG amplitude of neck muscles during postural perturbations in healthy subjects

D. Falla, G. Jull, R. Merletti, A. Rainoldi

L'identificazione degli intervalli di attivazione e delle ampiezze dei segnali mioelettrici registrati durante alterazioni posturali può essere utilizzata per studiare l'attivazione muscolare e migliorare le conoscenze delle strategie di controllo neuromotorie. L'attivazione muscolare anticipatoria è una strategia adottata dal sistema nervoso centrale per regolare il controllo motorio dei muscoli contribuendo a mantenere la stabilità e l'equilibrio. Essa può essere studiata sulla base di informazioni temporali (gli istanti di attivazione e le latenze) estratte dai segnali elettromiografici (EMG).

In letteratura sono disponibili numerosi lavori in cui si dimostra l'esistenza di attivazioni anticipatorie nei muscoli degli arti e del tronco. Pochi studi, invece, hanno indagato i muscoli del collo e le caratteristiche spazio-temporali della loro attivazione durante alterazioni posturali.

Questo lavoro intende valutare gli intervalli di attivazione e le ampiezze dei segnali EMG registrati dai muscoli sternocleidomastoideo (SCM) ed estensore cervicale (CE) rispetto all'attivazione dei muscoli deltoide anteriore, mediale e posteriore (DELT) durante movimenti volontari ballistici dell'arto superiore in soggetti sani.

Dieci soggetti hanno effettuato una flessione, abduzione ed estensione rapida bilaterale e unilaterale dell'arto superiore in risposta ad uno stimolo visivo. Le stime di ampiezza del segnale (nRMS) (normalizzata rispetto ad una contrazione volontaria di riferimento) e gli intervalli di attivazione sono stati calcolati per i muscoli SCM e CE.

In questo lavoro è stato adottato il metodo recentemente sviluppato da Merlo e colleghi (si faccia riferimento all'Annual Report 2000) poiché in grado di offrire ottime prestazioni nell'identificazione degli intervalli di attivazione.

Detection of the onset and amplitude characteristics of myoelectric signals during postural perturbations can be utilized to analyze muscle recruitment and enhance our understanding of neuro-motor control strategies. Feed-forward muscle activation is one central nervous system strategy, which can be detected with analysis of the temporal aspects (onset timings and latencies) of the electromyographic (EMG) signal. Feed-forward postural responses are a mechanism employed by the CNS to regulate motor control of muscles and contribute towards the maintenance of stability. Extensive evidence of feed-forward activation of limb and trunk musculature is available in the literature. However, there is a paucity of studies that have investigated spatio-temporal aspects of neck muscle activation during postural perturbations.

This study examined the spatio-temporal activation of the sternocleidomastoid (SCM) and cervical extensor (CE) muscles with respect to the anterior, middle and posterior deltoid (DELT) muscles onset during rapid voluntary upper limb movement in healthy volunteers.

Ten subjects performed bilateral and unilateral rapid upper limb flexion, abduction and extension in response to a visual stimulus. Root mean square (nRMS) values (normalized with respect to reference voluntary contractions) and EMG onsets were calculated for the SCM and CE muscles.

In this study the recent method described by Merlo et al (See Annual Report 2000) was adopted since it offers the best performance in terms of onset detection.

The SCM and CE muscles demonstrated feed-forward activation (activation within 50 ms of deltoid onset) during rapid arm

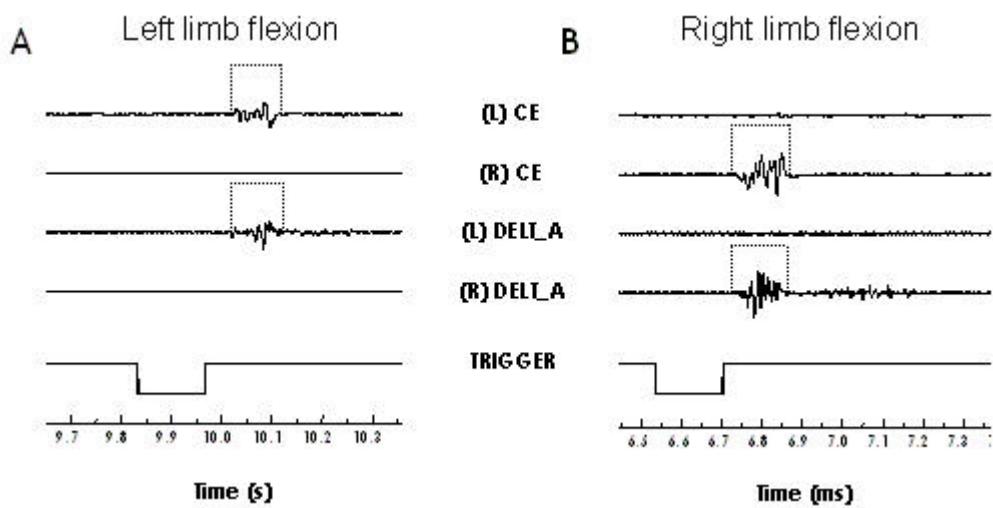


I muscoli SCM e CE hanno dimostrato un'attivazione anticipatoria (in un tempo inferiore a 50 ms dall'attivazione del deltoide) durante tutti i movimenti rapidi esaminati. La sequenza e l'intensità dell'attivazione dei muscoli cervicali dimostrano una correlazione con la direzione del movimento; i muscoli flessori ed estensori cervicali mostrano co-attivazione in tutti i movimenti. Gli istanti di attivazione del segnale EMG sono risultati ripetibili in termini di precisione della misura (nSEM nell'intervallo 1.9-5.7%). Questo risultato è apparso meno evidente per la ripetibilità delle stime di nRMS.

I risultati di questo studio forniscono una maggiore comprensione delle strategie di controllo motorio cervicale. Sembra infatti che la co-attivazione anticipatoria dei muscoli cervicali sia un meccanismo necessario per assicurare stabilità al sistema vestibolare e visivo, assicurando al contempo stabilità e protezione alla colonna vertebrale.

movements in any of the tested movements. The sequence and magnitude of neck muscle activation displayed directional specificity, however the neck flexor and extensor muscles displayed co-activation during all perturbations. EMG onsets demonstrated high repeatability in terms of repeated measure precision (nSEM in the range 1.9-5.7%). This was less evident for the repeatability of nRMS values.

The results of this study provide a greater understanding of cervical neuromotor control strategies. It seems apparent that feed-forward co-activation of neck muscles is a mechanism necessary to achieve stability for the visual and vestibular systems, whilst ensuring stabilization and protection of the cervical spine.



Segnali EMG registrati dai muscoli estensore cervicale (CE) e deltoide anteriore (DELT_A) di un soggetto durante un movimento di flessione rapida dell'arto superiore sinistro (A) e destro (B). Per determinare gli istanti di attivazione è stato utilizzato un software realizzato in precedenza. Le ampiezze dei segnali EMG sono state calcolate in ciascun intervallo di attivazione per ogni muscolo.

Raw EMG traces from the cervical extensor muscles (CE) and anterior deltoid (DELT_A) obtained from a subject performing A) left and B) right rapid unilateral upper limb flexion movements. Previously developed software was utilized to determine the on-off timing of muscles. EMG amplitude was calculated for the time interval between the on and off timing of each muscle



Efficienza neuromuscolare dei muscoli sternocleidomastoideo e scaleno anteriore in soggetti con dolore cronico cervicale

Neuromuscular efficiency of the sternocleidomastoid and anterior scalene muscles in patients with chronic neck pain

D. Falla, G. Jull, A. Rainoldi

L'aumento di attività elettromiografica dei muscoli cervicali superficiali a seguito di dolore cervicale originato o meno da un trauma è un fenomeno ben documentato in letteratura. L'incremento dell'attività dei muscoli cervicali superficiali in pazienti con dolore cronico può essere interpretato come una alterata strategia di controllo motorio messa in atto per compensare la debolezza o l'inibizione antalgica dei muscoli cervicali profondi.

Tale pattern di attivazione muscolare non fisiologico può dare origine ad una perpetuazione dei sintomi e determinare episodi ricorrenti di dolore cervicale. In questo studio viene confrontata l'efficienza neuromuscolare (NME) dei muscoli sternocleidomastoideo (SCM) e scaleno anteriore (AS) in due gruppi di 20 soggetti con dolore cervicale cronico e 20 soggetti asintomatici dello stesso sesso e intervallo di età.

I segnali mioelettrici sono stati registrati dal capo sternale del SCM e dallo AS durante una flessione isometrica cervicale al 25% e 50% dello sforzo volontario massimo (MVC). I valori di NME sono stati calcolati come rapporto tra il valore di forza e il valore rettificato medio del segnale EMG, al 25% e 50% MVC.

Poiché NME è una variabile che dipende dallo spessore dello strato sottocutaneo, è stato utilizzato un ecografo per valutare tale spessore in corrispondenza dei muscoli SCM e AS. Non sono state riscontrate differenze statisticamente significative tra i due gruppi in esame.

Sia per il muscolo SCM sia per AS, NME si è dimostrata significativamente ridotta

Increased activity of the superficial cervical muscles has been documented in patients with neck pain of both insidious and traumatic origins using electromyography. Increased activity of the superficial cervical muscles of neck pain patients could represent an altered motor control strategy to compensate for weakness or inhibition of the deep cervical muscles.

This "inefficient" pattern of muscle activation may play a role in the perpetuation of patient symptoms and initiate recurrent episodes of neck pain. This study compared the neuromuscular efficiency (NME) of the sternocleidomastoid (SCM) and anterior scalene (AS) muscles between 20 chronic neck pain patients and 20 asymptomatic controls of same gender and age range.

Myoelectric signals were recorded from the sternal head of SCM and the AS muscles as subjects performed submaximal isometric cervical flexion contractions at 25% and 50% of the maximum voluntary contraction (MVC). The NMEs were calculated as the ratio between force and the average rectified value of the EMG signal, at 25% and 50% MVC.

Since NME is affected by subcutaneous tissue thickness, ultrasonography was used to measure this thickness over the SCM and AS. No statistically significant differences were found between the two groups.

For both the SCM and AS muscles, NME was shown to be significantly reduced (35-40% less) in neck pain patients at 25% MVC ($p<0.05$).

The greater SCM and AS EMG activity



(del 35-40%) nei soggetti con dolore cervicale nelle contrazioni al 25% MVC ($p<0.05$).

L'aumentata attività EMG osservata in entrambi i muscoli del gruppo sintomatico potrebbe teoricamente essere attribuita a: 1) una maggiore eccitabilità del pool di unità motorie, 2) una modificazione dei pattern di attivazione neurale dovuta alla debolezza o alla inibizione di un altro muscolo, o 3) da una combinazione di entrambi i meccanismi.

Tale pattern di attivazione muscolare non fisiologico appare maggiormente evidente in condizioni di debole carico. NME, se valutata al 25% MVC, potrebbe dunque fornire un utile strumento quantitativo per ulteriori studi delle disfunzioni muscolari in pazienti con dolore cervicale.

recorded for the neck pain group could theoretically be attributed to 1) greater excitability of the motoneuronal pool, 2) modification of neural activation patterns accommodating for weakness or inhibition of another muscle, or 3) a combination of these mechanisms.

This aberrant pattern of muscle activation appears to be most evident under conditions of low load. NME, when measured at 25% MVC, may be a useful objective measure for future investigation of muscle dysfunction in patients with neck pain.



Correlazione tra la fatica EMG dei muscoli sternocleidomastoideo e scaleno anteriore e la durata dei sintomi in pazienti con dolore cervicale cronico

Correlation between fatigability of the sternocleidomastoid and anterior scalene muscles and duration of symptoms in chronic neck pain patients

D. Falla, G. Jull, A. Rainoldi

In un recente studio sono state osservate maggiori manifestazioni di fatica mioelettrica dei muscoli sternocleidomastoideo (SCM) e scaleno anteriore (AS) in soggetti con dolore al collo rispetto a soggetti sani, durante flessioni cervicali al 25% e 50% della contrazione massima volontaria (MVC). I tassi di variazione della frequenza media (MNF) di entrambi i muscoli sono risultati maggiori nel gruppo di soggetti sintomatici piuttosto che nel gruppo di soggetti sani. Inoltre è stato osservato un aumento dei valori iniziali di MNF nel gruppo con dolore cronico in entrambi i muscoli.

Anche se la maggiore affaticabilità dei soggetti con dolore cronico cervicale rispetto ai soggetti asintomatici è un fatto noto, la relazione tra durata dei sintomi e fatica muscolare non è mai stata oggetto di indagine.

L'obiettivo di questo lavoro è la valutazione delle relazioni tra la durata del dolore e le manifestazioni EMG di fatica nei muscoli SCM e AS.

Hanno partecipato al protocollo venti soggetti con dolore cronico cervicale in un intervallo dichiarato tra uno e 20 anni (media 6.15, SD 5.48 anni).

I segnali EMG sono stati registrati dai muscoli SCM e AS dal lato maggiormente sintomatico, durante flessioni cervicali isometriche al 25% e 50% MVC. Sono stati calcolati il valore iniziale e il tasso di cambiamento di MNF, del valore rettificato medio (ARV) e della velocità di conduzione (CV). È stata analizzata la correlazione tra la durata dei sintomi e le stime delle variabili EMG.

In a recent study greater fatigability of the sternocleidomastoid (SCM) and anterior scalene (AS) muscles was identified in neck pain patients with respect to healthy subjects during sustained cervical flexion contractions at 25% and 50% of maximal voluntary contraction (MVC). This was characterized by significantly greater estimates of the rate of change of the mean frequency (MNF) for both the SCM and AS muscles in the neck pain group with respect to healthy subjects. Furthermore, an increase in the initial value of the MNF was observed for both muscles in the neck pain group.

Despite the evidence of greater fatigability of the superficial cervical flexor muscles in neck pain patients, the relationship between duration of neck pain and muscle fatigue has not been investigated.

The purpose of this study was to investigate the relationship between duration of pain and fatigability of the SCM and AS muscles.

Twenty chronic neck pain patients with a history of pain ranging between one and twenty five years (mean 6.15, SD 5.48 years) participated in this study.

Myoelectric signals were recorded from the SCM and AS muscles from the side of greatest pain as patients performed sustained isometric cervical flexion contractions at 25% and 50% MVC. The initial value and slope of the MNF, average rectified value (ARV) and conduction velocity (CV) of the EMG signal were calculated. Correlation analysis was applied to determine



Non sono state riscontrate alcune correlazioni significative per i valori iniziali e i tassi di cambiamento di MNF, ARV e CV, sia per SCM sia per AS in entrambi i livelli di contrazione.

La durata della patologia non sembra dunque correlare con le manifestazioni EMG di fatica in soggetti con dolore cervicale cronico. In accordo con gli studi basati su biopsie muscolari, si ritiene che ciò sia da imputare all'iniziale trasformazione di fibre lente (di tipo I) in fibre intermedie veloci (di tipo IIB) nei primi due-tre anni dall'insorgere della patologia.

Indagini future saranno orientate a stabilire il tempo necessario per l'insorgere delle alterazioni nelle manifestazioni EMG di fatica a seguito del dolore cervicale, fornendo così informazioni utili per il trattamento riabilitativo.

whether a relationship existed between the duration of neck pain and estimates of EMG variables.

No significant correlation was found between duration of pain and estimates of the initial values and rate of change of MNF, ARV and CV for either SCM or AS contracting at 25% and 50% MVC.

The length of history of neck pain does not appear to correlate with the extent of SCM and AS muscle fatigability in patients with chronic neck pain. As demonstrated by muscle biopsy studies, we suspect this may be due to initial transformations of muscle fibres from type I slow-twisch to type IIB fast-twisch fibres in the first two to three years of neck pain.

Future studies are warranted to examine how early signs of cervical muscle fatigability are evident after the onset of neck pain as this will have implications for rehabilitation.



Proprietà di membrana e di controllo durante contrazioni affaticanti in pazienti affetti da fibromialgia

Muscle fiber membrane and motor unit control properties in fibromyalgia during fatiguing tasks

R. Casale, M. Gazzoni, E. Magnani, M. Montecucco, A. Rainoldi

Nell'Annual Report 1999 è descritto un protocollo volto allo studio delle manifestazioni mioelettriche di fatica muscolare in soggetti affetti da fibromialgia (FM). Quale continuazione di quella esperienza e con lo scopo di approfondire le modifiche funzionali indotte da tale patologia, è stato studiato un nuovo protocollo che include contrazioni sia volontarie sia stimolate. In tal modo dovrebbe essere possibile localizzare dove si realizza l'adattamento del sistema neuromuscolare (se a valle o a monte della giunzione neuromuscolare).

Sono stati coinvolti nel protocollo otto pazienti affetti da FM (55.6 ± 13.6 anni) e otto soggetti sani (50.3 ± 9.3 anni). Per ogni soggetto è stata indotta, tramite stimolazione elettrica sovramassimale ad una frequenza pari a 25 Hz, una contrazione del bicipite brachiale di durata pari a 30 secondi. Tale contrazione era seguita (dopo cinque minuti di riposo) da una contrazione volontaria isometrica mantenendo la forza ad un valore costante pari al 60% MVC (di durata pari a 30 s). Sono stati valutati la forza (MVC), il valore iniziale e il tasso di variazione delle variabili EMG (ARV, CV e MNF) durante fatica per confrontare i risultati tra i due gruppi. Nelle contrazioni stimolate non sono state trovate differenze statisticamente significative per i valori di MVC (Nm) e per i valori di efficienza neuromuscolare (NME, Nm/?V). Al contrario, nelle contrazioni volontarie, il tasso di variazione di CV e MNF (rispettivamente m/s^2 e Hz/s) ed i loro valori normalizzati (%/s) sono risultati maggiori nel gruppo sano rispetto al gruppo patologico ($p < 0.05$ Mann Whitney U test).

La stima di CV per ogni potenziale di unità motoria (MUAP) (vedi Annual Report

In the Annual Report 1999 we described a protocol aimed to assess the myoelectrical manifestations of fatigue in subjects affected by fibromyalgia syndrome (FM). As a continuation of that experience and with the aim to increase insights in the functional assessment of the FM pathology, we designed a new protocol in which both voluntary and electrically elicited contractions were performed. The rationale for such a choice was to determine where the site of adaptation is within the neuromuscular system (before or after the neuromuscular junction).

Eight patients with FM (55.6 ± 13.6 years) and eight healthy subjects (50.3 ± 9.3 years) were recruited for the protocol. For each subject one supramaximal isometric electrically elicited contraction, lasting 30 seconds, was evoked at the frequency of 25 Hz in the biceps brachii muscle and was followed (after five minutes of rest) by an isometric voluntary elbow flexion with the force held at the constant value of 60% MVC (30 s of duration). Torque (MVC), initial values and rate of changes of EMG variables (ARV, CV and MNF) during fatigue were estimated to compare results between the two groups. No statistically significant differences were found for the electrical elicited contractions, for the MVC (Nm) and for the neuromuscular efficiency (NME, Nm/?V). On the contrary, CV and MNF rate of change (m/s^2 and Hz/s, respectively) and their normalized values (%/s) were found greater in the asymptomatic than in the symptomatic group in voluntary contractions ($p < 0.05$ Mann Whitney U test).

CV estimate of each motor unit action potential (MUAP) (see Annual Report 1998)

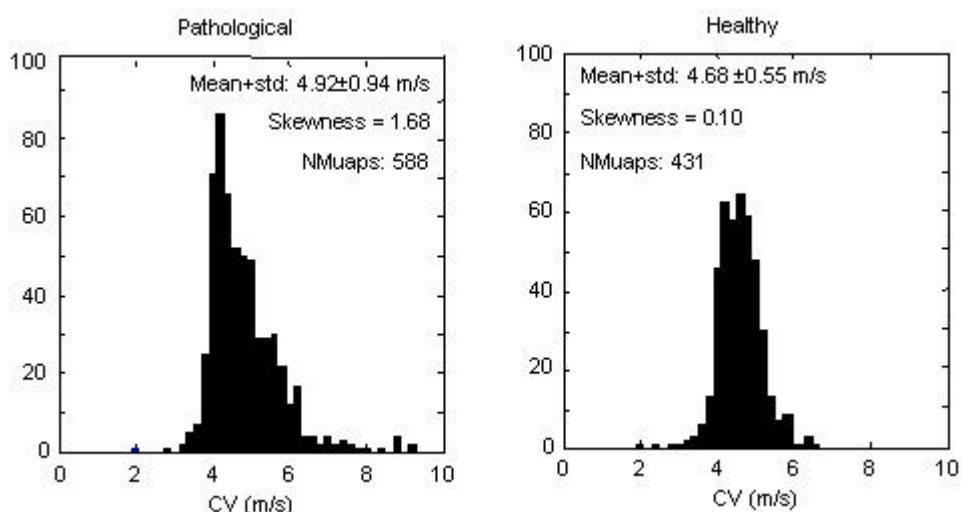


1998) ha permesso di ottenere la distribuzione di CV per ogni contrazione volontaria ed ogni soggetto. Il confronto di tali distribuzioni nei due gruppi ha evidenziato una differenza statisticamente significativa per il coefficiente di asimmetria (skewness) ($p<0.0001$ Mann Whitney U test).

Tali risultati indicano che: 1) la patologia sembra indurre alterazioni nelle proprietà di controllo (contrazioni volontarie) e non nelle proprietà di membrana (contrazioni stimolate elettricamente), confermando i risultati disponibili in letteratura che associano la FM a fenomeni centrali e non periferici e 2) i soggetti patologici sembrano reclutare un insieme di unità motorie con proprietà diverse rispetto al gruppo sano, con un contributo più marcato di UM veloci (con $CV>5.5$ m/s, vedi la Figura per dettagli).

allowed to obtain the CV distribution for each voluntary contraction and each subject. The comparison of such CV distributions pooled together allows to recognize a statistically significant difference in the coefficient of asymmetry (skewness) between the two groups ($p<0.0001$ Mann Whitney U test).

These findings indicate that: 1) the pathology seems to induce alterations in control properties (voluntary contractions) rather than in the membrane properties (electrically elicited contractions), confirming results available in the literature that associate FM to central and not to peripheral phenomena and 2) the symptomatic subjects seem to recruit a MU pool with different properties than the healthy subject, with a more pronounced contribution of fast MUs (with $CV>5.5$ m/s, see Figure for details).



Distribuzioni di CV nel primo secondo della contrazione (60% MVC) per gli otto soggetti patologici (a sinistra) e per gli otto soggetti sani (a destra). Da notare come la distribuzione di CV dei soggetti patologici presenti una coda destra più rilevante (verso velocità maggiori) rispetto a quella dei soggetti sani. Inoltre il coefficiente di asimmetria (skewness) è stato trovato maggiore, in modo statisticamente significativo, nel gruppo patologico per tutta la durata della contrazione.

CV distributions in the first second of the contraction (60% MVC) for the pathological group (left) and for the healthy group (right). It is to note that the distribution on the left has a larger right skew (toward faster velocities) than the one on the right. Moreover, for the whole contraction duration, the coefficient of asymmetry (skewness) was found statistically greater in the pathological group.



Stima della velocità di conduzione in muscoli della schiena

Conduction velocity estimation from back muscles

R. Bergamo, A. Rainoldi

La valutazione delle manifestazioni mioelettriche di fatica dai muscoli della schiena è uno dei settori maggiormente studiati negli ultimi 20-30 anni. Lo sforzo di gruppi di ricerca di eccellenza internazionali è stato orientato in questa direzione a causa dell'estrema importanza che essa ricopre nei settori dell'ergonomia, della medicina occupazionale, della medicina sportiva e della riabilitazione.

Poiché il dolore alla schiena maggiormente diffuso è localizzato nella regione lombo-sacrale, i muscoli della schiena sono stati quasi sempre indagati nella regione spinale L1-L5. Per ragioni anatomiche (muscoli corti e non uniforme direzione delle fibre) sono stati riscontrati numerosi limiti metodologici nel prelievo di segnali EMG di superficie da questa regione: sono infatti sempre presenti numerose "componenti non traslanti" (dovute al cross-talk e agli effetti di fine fibra causati dalle terminazione tendinee particolarmente vicine).

Per queste ragioni la velocità di conduzione muscolare (CV) non può essere correttamente stimata e, di conseguenza, la variabile EMG più frequentemente adottata per le valutazioni di fatica muscolare è stata la frequenza mediana dello spettro di potenza, MDF (o l'equivalente frequenza media, MNF). Si osserva inoltre una mancanza di uniformità nella classificazione dei muscoli della schiena studiati con l'EMG di superficie. Molti autori utilizzano infatti la generica espressione "erector spinae" per differenti posizioni degli elettrodi, quindi per differenti muscoli.

Lo scopo di questo lavoro è stato valutare se sia possibile ottenere stime fisiologiche di CV (in un intervallo compreso tra 3 e 6 m/s) dai muscoli della schiena, spostando gli elettrodi in una posizione più cervicale (nella regione T10-L3), ottenendo così informazioni meno affette dai fattori di disturbo

The assessment of the myoelectrical manifestations of fatigue from back muscles is one of the fields most actively investigated in the last 20-30 years. The work of leading EMG research groups throughout the world was devoted to this issue due to its relevance in ergonomics, occupational medicine, sport medicine, rehabilitation.

Since the most frequently reported pain location corresponds to the "low back", back muscle were quite always studied in the spine range L1-L5. Due to anatomical reasons (short muscle fibers and not uniform direction) several methodological drawbacks were observed in the EMG signals recorded from those sites: a large amount of the so-called "non travelling components" (due to cross-talk and fiber-end effect from close tendon terminations) are always present. For these reasons the muscle fiber conduction velocity (CV) can not be properly estimated and the EMG variable most commonly used for fatigue assessment was the median power spectral frequency MDF (or the equivalent mean frequency, MNF). Moreover, there is a lack of uniformity in the classification of muscles investigated with surface EMG. Several authors use the generic expression "erector spinae" placing electrodes in different locations.

The aim of this work was to evaluate if it is possible to obtain physiological estimates of CV (in the range 36 m/s) from back muscles, moving electrode location toward a more cervical position (in the range T10-L3), thus providing an information less affected by confounding factors such as fiber orientation and fatty tissue thickness. Moreover we decided to try to select the suited subject



dati dalla direzione delle fibre e dallo spessore del tessuto sottocutaneo. Si è inoltre deciso di provare a identificare la posizione (o il movimento) più opportuni per ottenere l'attivazione selettiva dei muscoli della schiena, tentando una riclassificazione di quelli superficiali, una valutazione della qualità dei segnali EMG e delle stime di CV da essi ottenibili.

Quattro soggetti sani hanno partecipato al protocollo. Sono stati indagati i muscoli longissimus, ileocostalis, multifidus e quadratus lomborum utilizzando una schiera lineare di 16 elettrodi con distanza interelettrodica pari a 5-10 mm.

E' stata posta particolare attenzione nell'identificazione di ciascun muscolo, chiedendo ai soggetti di mantenere la posizione più opportuna per l'attivazione selettiva di ciascuno di essi. Per esempio, i segnali dal muscolo multifidus sono stati registrati durante uno sforzo isometrico di rotazione del tronco. La mancanza di segnale EMG dal lato controlaterale è stata considerata una conferma del movimento corretto per l'attivazione del multifidus. Il segnale, registrato con una schiera adesiva posizionata parallelamente alla spina dorsale, ha mostrato alta stabilità nel tempo, valori costanti e fisiologici delle stime di velocità di conduzione (~5 m/s) e un alto coefficiente di correlazione in tutti i canali della metà caudale della schiera (da T12 a L3).

I risultati riportati in Tabella per i quattro muscoli confermando l'ipotesi che sia possibile ottenere stime fisiologiche di CV dai muscoli della schiena, spostando gli elettrodi dall'usuale posizione (L1-L5) verso una più cervicale (T10-L3).

position/movement to obtain the most selective activation of muscles, trying to re-classify the surface back muscles, the quality of the recorded EMG signal and the quality of the CV estimates available from them.

Four subjects participated in this protocol. Longissimus, ileocostalis, multifidus and quadratus lomborum muscles were studied using a 16 channel linear electrode array with 5 and 10 mm interelectrode distance.

Special care was taken in identification of each muscle, asking the subject to hold proper positions for selective activation. For instance, signals were recorded from multifidus during an isometric rotation of the trunk. No EMG was detectable from the controlateral side, confirming the proper movement for the multifidus activation. The signal, detected with an adhesive array placed parallel to the spine, shows great stability during the contraction time, physiological (~5 m/s) and constant conduction velocity, high correlation coefficient in all the channels of the lower half of the array (from T12 to L3).

Findings from the four muscles are reported in the Table, confirming the hypothesis that it is possible to obtain physiological CV estimates moving electrode location from the traditional L1-L5 to a more cervical T10-L3 position.

Multifidus	Longissimus	Ileocostalis	Quadratus lomborum
IED used (mm)	10	5	5
Electrode array location	T12-L3	T10-L1	L1-L3
Selected contraction	Trunk rotation	Trunk extension	Trunk extension
			Lateral elevation of the pelvis with the traction of the ankle of the subject, made by the examiner
CV estimation \pm SD (m/s)	5.0 \pm 0.3	4.2 \pm 0.2	3.5 \pm 0.1
CV estimation \pm SD (m/s)	4.0 \pm 0.3		

* CV were obtained as global estimates using the McGill's algorithm (N=4 subjects).



Variabili EMG e distribuzione del tipo di fibre in atleti di élite

EMG variables and fiber type distribution in elite athletes

I. Caruso, M. Gazzoni, G. Melchiorri, A. Rainoldi

La composizione muscolare viene generalmente valutata tramite biopsia ed analisi istochimica. Gli alti costi ed i problemi etici connessi a tali metodi ne limitano l'uso. Inoltre le informazioni ottenute da campioni bioptici non sono, a causa delle ridotte dimensioni, necessariamente rappresentative dell'intero muscolo. Questi aspetti giustificano lo sviluppo di metodi alternativi per la valutazione della distribuzione del tipo di fibre in modo non invasivo.

La valutazione funzionale dei muscoli scheletrici in modo non invasivo viene generalmente effettuata tramite lo studio della fatica muscolare. Un metodo diffuso è quello della valutazione della massima contrazione volontaria (MVC) e della perdita della capacità di ripetere la contrazione massimale di pari entità dopo un esercizio affaticante.

Un metodo alternativo allo studio delle variabili meccaniche consiste nella valutazione del segnale EMG e dei suoi cambiamenti, ad esempio dopo esercizi affaticanti, in funzione del tempo e delle differenti composizioni muscolari.

Le variabili candidate per tale scopo sono la frequenza media (MNF) e la frequenza mediana (MDF) dello spettro del segnale EMG e la velocità di conduzione (CV). Esse sono correlate, anche se non in modo esclusivo, con il decremento dei valori di pH dovuto all'aumento dei prodotti del metabolismo durante contrazioni affaticanti. L'accumulo di acido lattico causa una diminuzione della CV e, di conseguenza, una diminuzione di MNF. Poiché la percentuale di fibre di tipo II è correlata positivamente con l'accumulo di acido lattico, con il valore iniziale di MNF e con il tasso di variazione di MNF durante una contrazione (manifestazione mioelettrica di fatica),

Muscular composition is usually assessed via bioptic and histochemical analysis. The high cost and the ethical problems associated to such procedures limit their use. In addition, the information obtained from small bioptic specimens is not necessarily representative of the whole muscle. These drawbacks motivate the development of alternative non-invasive methods for fiber type distribution assessment.

Functional non-invasive assessment of skeletal muscles is usually obtained with the study of muscle fatigue. One widely used method, consists in the assessment of the maximal voluntary contraction (MVC) and of the lack of ability to repeat such MVC after a fatiguing exercise.

An alternative to the study of mechanical variables is the evaluation of the EMG signal and of its modifications, for example in fatiguing exercises, as function of time and different muscle composition.

The variables that are suitable for this goal are the mean frequency (MNF), the median frequency (MDF) of the EMG signal spectrum and the conduction velocity (CV). They are correlated, even if not exclusively, with the decrease of pH due to the increase of metabolite products during fatiguing contractions. The accumulation of lactic acid causes CV to decrease and, as consequence, a decrease of MNF. As type II fiber percentage is positively correlated with the accumulation of lactic acid, with the MNF initial value and with the MNF rate of change (mioelectric manifestation of fatigue) during a contraction, these variables seem to be the ideal candidates for the realization of a non invasive tool for the estimation of



queste variabili sembrano essere le candidate ideali per la realizzazione di uno strumento non invasivo per la stima della composizione muscolare.

Sono stati selezionati due gruppi di atleti agli estremi dello spettro delle possibili distribuzioni del tipo di fibre. Dieci velocisti maschi (100 m e 200 m) sono stati confrontati con un gruppo di dieci maratoneti di età confrontabile. Non avendo a disposizione dati biotici è stata assunta, per il gruppo dei velocisti, la massima concentrazione percentuale di fibre di tipo II e, per i maratoneti, la concentrazione minima. Tali assunzioni sono basate sui risultati disponibili in letteratura, ottenuti con tecniche invasive.

I segnali sono stati acquisiti dai muscoli vasto laterale (VL) e vasto mediale (VM) della gamba dominante di ogni soggetto durante contrazioni isometriche volontarie affaticanti all'80% MVC sostenute per 30 secondi. Schiere lineari di elettrodi sono state utilizzate per selezionare i canali, tra zona di innervazione e tendini, più adatti per la stima delle variabili.

I risultati mostrano una differenza significativa per il tasso di variazione di CV, che si è mostrato sempre più alto per il gruppo dei velocisti che per il gruppo dei maratoneti (VL: $p=0.015$, VM: $p=0.035$, Mann Whitney U test). Non è stata rilevata alcuna differenza per quanto riguarda i valori iniziali di CV, mentre i valori iniziali di MNF registrati dal VM sono risultati più elevati nel gruppo dei velocisti (119.6 ± 25.1 Hz) che nel gruppo dei maratoneti (99.2 ± 12.1 Hz, $p=0.016$ Mann Whitney U test). Tali risultati confermano che CV e MNF sono in grado di distinguere differenti gruppi di atleti sulla base delle manifestazioni mioelettriche di fatica muscolare e che possono essere considerate come le variabili EMG più promettenti da utilizzare per la stima non invasiva del fenotipo atletico.

muscular composition.

Two groups of athletes were selected at the extremes of the available spectrum of fiber type distributions. Ten male sprinters (100 m and 200 m) were compared with a group of ten long distance runners with average age of 20.8 ± 3.3 years. Since no biotic data were available, we assumed the maximal type II fiber concentration for the sprinter group and the minimal for the long distance runner group. These assumptions are based on results available from the literature, obtained with invasive techniques (intramuscular EMG and/or biopsies).

Signals were recorded from the vastus lateralis (VL) and vastus medialis (VM) muscles of the dominant limb of each subject during fatiguing voluntary isometric contractions at 80% MVC sustained for 30 seconds. Linear electrode array technique was used in order to select the proper channel(s) between innervation zone and tendons for variable estimating.

Results show significant differences for the CV rate of change, that was found always greater in the sprinter than in the endurance group (VL: $p=0.015$, VM: $p=0.035$, Mann Whitney U test). No differences were observed in the CV initial values, while MNF initial values recorded from the VM was found greater (119.6 ± 25.1 Hz) in the sprinter group than in the endurance group (99.2 ± 12.1 Hz, $p=0.016$ Mann Whitney U test). These findings confirm that CV and MNF are able to distinguish different athlete groups on the basis of myoelectric manifestations of fatigue and that they can be considered the most promising EMG variables to be used for a non invasive assessment of the athlete's phenotype.



Controllo in tempo reale della fatica muscolare durante contrazioni stimolate elettricamente

Real time fatigue monitorring during electrically elicited contractions

I. Caruso, M. Gazzoni, G. Melchiorri, A. Rainoldi

E' stato sviluppato uno strumento software, denominato Fatigue Monitor, per valutare in tempo reale le manifestazioni mioelettriche di fatica muscolare durante contrazioni stimolate elettricamente.

Esso permette di organizzare un protocollo composto da più sessioni ognuna definita da una particolare durata e frequenza di stimolazione. Durante l'esecuzione del protocollo, i segnali EMG vengono acquisiti e le onde M e la frequenza media (MNF), selezionata come indice di fatica, vengono visualizzate graficamente, in tempo reale, sul monitor di un PC.

Al termine del protocollo, viene salvato l'andamento completo nel tempo dell'indice di fatica durante le diverse sessioni. Inoltre, il software calcola e salva alcuni parametri (valore iniziale e tasso di variazione di MNF) caratterizzanti ogni sessione di stimolazione.

Il Fatigue Monitor è stato utilizzato in un protocollo focalizzato allo studio dell'andamento nel tempo delle variabili EMG durante contrazioni affaticanti isometriche per identificare le possibili correlazioni tra queste variabili e i tipi di fibre che compongono il muscolo. A tale scopo sono stati selezionati due gruppi di atleti appartenenti a due diverse discipline, scattisti e maratoneti. In accordo con i risultati disponibili in letteratura, i due gruppi sono stati assunti come appartenenti ai due estremi del possibile spettro di variazione della composizione muscolare in termini di tipo di fibre.

Sono stati studiati il vasto mediale obliquo (VMO) ed il vasto laterale (VL). Il

A software tool, called Fatigue Monitor was developed to monitor electromyographical manifestation of fatigue in real-time during electrically elicited contractions.

A protocol consisting of different sessions with different stimulation frequencies and durations can be defined. During the protocol, EMG signals are acquired and M-waves and the mean spectral frequency (MNF), selected as fatigue index, are graphically shown in real-time on a PC.

At the end of the protocol, the entire time course of the fatigue index during the sessions is stored. In addition, a number of parameters (MNF initial value and rate of change) characterizing each stimulation session are automatically extracted and stored.

The Fatigue Monitor tool was applied in a protocol focused on the study of the time course of EMG variables during isometric fatiguing contractions to identify the possible correlations between these variables and muscle fibre type composition. For this purpose two groups of athletes belonging to two very different disciplines, sprinters and long distance runners, were selected. According to literature findings, the two groups were assumed to fit at the extremes of the possible fiber type composition range of variation.

Vastus medialis obliquus (VMO) and vastus lateralis (VL) muscles were tested. The protocol was made by three different sessions: 1) basal (10 s at 2 Hz); 2) fatigue (30 s at 20 Hz) and 3) recovery (600 s at 2 Hz) for online monitoring fatigue and recovery by means of the MNF time



protocollo era composto da tre sessioni: 1) basale (10 s a 2 Hz); 2) affaticante (30 s a 20 Hz) e 3) recupero (600 s a 2 Hz) per studiare la fatica ed il recupero seguendo l'andamento di MNF. I risultati hanno mostrato che la il tasso di variazione di MNF (sia in valore assoluto sia normalizzato rispetto al valore iniziale) durante la sessione affaticante è maggiore, per entrambi i muscoli, negli scattisti che nei maratoneti ($p<0.05$). Questi risultati permettono di identificare un approccio promettente per distinguere tra diversi fenotipi di atleti e per valutare l'efficacia di trattamenti riabilitativi e/o di protocolli di allenamento.

Il Fatigue Monitor, progettato al LISiN, è brevettato in collaborazione con TecnoBody s.r.l.

course. Results showed that slope of MNF (both absolute and normalized with respect to the initial value) during the fatiguing session was greater in the sprinter group than in the long distance runners group for both muscles (the difference was statistically significant at $p<0.05$). This finding allows to identify a promising approach to distinguish between different athletes' phenotypes, to monitor the efficacy of rehabilitation treatments and/or of training protocols.

The Fatigue Monitor, designed at LISiN, is patented in collaboration with Tecnobody s.r.l.



Analisi della simmetria della innervazione dello sfintere anale tramite EMG in contrazioni volontarie

A. Bottin, C. Cescon, S. Martina

I segnali EMG di superficie rilevati con schiere di elettrodi possono essere usati per studiare le proprietà fisiologiche ed anatomiche dei muscoli striati. La tecnica dell'EMG di superficie multicanale è stata recentemente applicata al muscolo sfintere anale, per mezzo di sonde rettali progettate appositamente. Sono state effettuate acquisizioni sia su individui sani, sia su soggetti che soffrono di patologie dello sfintere anale (incontinenza, dolore cronico, stipsi, la cui insorgenza sembra essere in alcuni casi legata a interventi chirurgici o a lacerazioni avvenute durante il parto). Lo scopo di questo lavoro era di fornire uno strumento per l'analisi statistica della distribuzione delle zone di innervazione dello sfintere anale in gruppi di soggetti con caratteristiche simili.

Il software per l'identificazione automatica delle zone di innervazione precedentemente sviluppato è stato migliorato con l'aggiunta di un nuovo strumento. I valori della distribuzione marginale (MD) della Trasformata di Radon-Correlazione (ottenuti dal software per l'identificazione delle zone di innervazione) sono considerati come una distribuzione di massa lungo la schiera di elettrodi, ed il baricentro di tale distribuzione è calcolato e rappresentato nel cerchio. Un soggetto avente una innervazione simmetrica (con due picchi di MD simmetrici rispetto al centro e di ampiezza simile) avrà il baricentro vicino al centro, mentre il baricentro di una innervazione asimmetrica risulterà vicino all'elettrodo in cui è stata rilevata la zona di innervazione principale. Questo strumento consente di analizzare più contrazioni, e restituisce valore medio e deviazione standard della distribuzione risultante dei baricentri.

Analysis of symmetry of the anal sphincter innervation from surface EMG in voluntary contractions

Surface EMG signals detected with electrode arrays can be used to investigate physiological and anatomical properties of striated muscles. Multi-channel surface EMG has been recently applied to the anal sphincter muscle, by means of specifically designed rectal probes. Tests have been performed both on healthy subjects and on subjects suffering from pathologies of the anal sphincter (incontinence, chronic pain, constipation, in some cases following surgical operations and lacerations during child births). The aim of this work was to provide a tool for the statistical analysis of the innervation zone distribution for the anal sphincter muscle in groups of subjects with similar characteristics.

The software for the automatic detection of the innervation zone location previously developed was improved and upgraded with a new tool. The values of the marginal distribution (MD) of the Radon Correlation Transform (representing the result of the innervation zone identification software) are considered as a mass distribution along the electrode array, and the barycenter of such a distribution is calculated and represented in the circumference. A subject showing symmetric innervation (with two peaks of the MD symmetrical with respect to the center and of similar amplitude) will have the barycenter close to the center, while the barycenter of an asymmetric innervation zone distribution will be placed near the electrode where the main innervation zone was found. In addition, this tool allows to calculate the barycenters for all the contractions chosen in a group of subjects, and displays the mean and the standard deviation of the resulting barycenter distribution.



Localizzazione della zona di innervazione degli sfinteri anale e uretrale dall'analisi dei segnali EMG durante stimolazione elettrica

Analysis of the anal and urethral sphincter innervation zone location by means of EMG signal analysis during electrically elicited contractions

C. Cescon, R. Gerretsen

L'obiettivo di questo lavoro è stato l'analisi dei segnali EMG prelevati dagli sfinteri anale e uretrale durante la stimolazione del nervo sacrale (SNS). I segnali sono stati acquisiti presso il UMC St. Rambaud Urology Department di Nijmegen (NL).

Sedici soggetti hanno partecipato all'esperimento: due con SNS durante l'operazione Brindley di impianto per via chirurgica dell'elettrodo di stimolazione, e 14 con stimolazione percutanea con elettrodi ad ago (PNE).

I segnali EMG sono stati prelevati con diverse configurazioni di sonde anali e uretrali.

Il sistema di acquisizione a 64 canali sviluppato all'università di Nijmegen consente l'acquisizione dei segnali da una sonda anale con tre schiere circolari di elettrodi (48 elettrodi) e da una sonda uretrale con 8 elettrodi. Alternativamente potevano essere utilizzate una sonda uretrale con tre schiere circolari (36 elettrodi) e una sonda anale a 16 elettrodi.

Il segnale di trigger generato dallo stimolatore è stato acquisito per sette soggetti come canale aggiuntivo e le onde M sono state ottenute come media di almeno 20 risposte allineate e sovrapposte.

Per i pazienti PNE, l'ago di stimolazione era inserito vicino alle radici dei nervi sacrali a livello delle vertebre S3, S4 e S5, dal lato destro e sinistro. Durante l'operazione Brindley, l'elettrodo di stimolazione era inserito direttamente nel nervo sacrale. I segnali EMG sono stati quindi acquisiti per ciascun valore di corrente di stimolo (da 2 a 10 mA) e per ogni posizione dell'elettrodo di stimolazione.

La figura mostra un esempio di segnali EMG multicanale prelevati dallo sfintere anale di un paziente PNE. L'elettrodo di stimolazione è stato inserito a livello di S3 a sinistra (c) e a destra (d). Le onde M prelevate con la sonda

The main objective of this work was to analyse the EMG signals detected from the anal and urethral sphincters during sacral nerve stimulation (SNS). The signals were acquired at the UMC St. Rambaud Urology Department in Nijmegen (NL).

Sixteen subjects participated to the experiment: two with SNS during a Brindley operation for surgical electrode implantation and 14 with percutaneous needle electrodes (PNE) for SNS.

The EMG signals were detected with different configurations of anal and urethral probes.

The 64 channels acquisition system developed by the University of Nijmegen allowed the simultaneous detection of signals from an anal probe with three circumferential arrays (48 electrodes) and from an 8 electrode urethral probe. Alternatively, a three circumferential arrays (36 electrodes) urethral probe and a 16 electrodes anal probe could be used for signal detection.

The output trigger signal generated by the stimulator was acquired for 7 subjects as an additional channel and the EMG M-waves were extracted as the average value of at least 20 triggered and superimposed EMG responses.

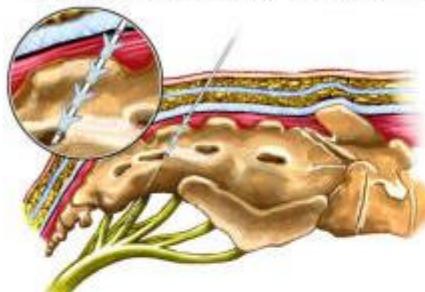
The stimulation needle was positioned close to the sacral nerve roots at the level of the sacral vertebrae S3, S4 and S5, left and right side for the PNE patients. During the Brindley operation, the stimulation electrode was inserted directly in the sacral nerve. An EMG acquisition was performed for each value of injected current (ranging from 2 to 10 mA) and each position of the stimulation needle.

The figure shows an example of EMG signals detected from the anal sphincter of a PNE patient. The stimulation electrode was placed at the level of S3 left (c) and right (d). The N

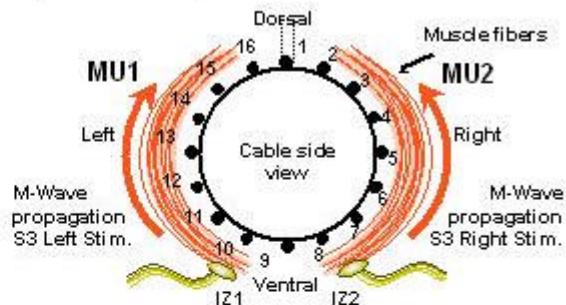
anale sono diverse nei due casi. I nervi sacrali stimolati sembrano innervare due diversi gruppi di unità motorie innervate ventralmente, disposte lungo il lato destro e sinistro dello sfintere anale, e terminanti nella parte dorsale.

at the level of S3 left (c) and right (d). The M-Wave detected by the anal probe is different in the two cases. The left and right sacral nerves that were stimulated seem to innervate two different motor unit groups that appear to be innervated ventrally, arranged along the left and right side of the anal sphincter, and end dorsally.

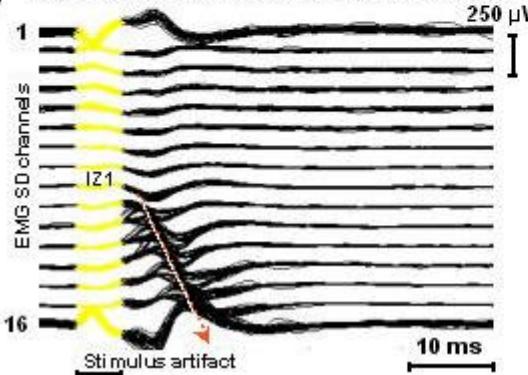
a) Sacral Nerve Stimulation (SNS) with Percutaneous Needle Electrodes (PNE)



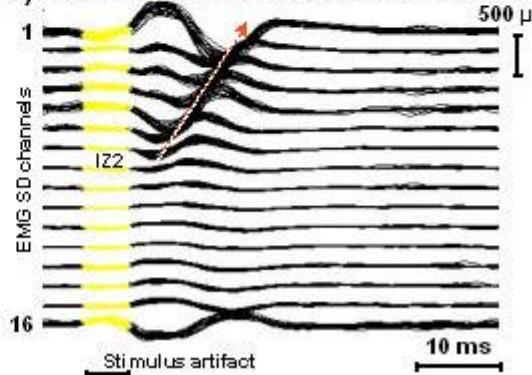
b) Anal probe electrode scheme



c) EMG signal elicited by stimulation of S3 Left: $I = 5\text{ mA}$



d) EMG signal elicited by stimulation of S3 Right: $I = 2\text{ mA}$



a) Illustrazione dell'elettrodo di stimolazione percutanea (PNE) utilizzato per la SNS. **b)** Rappresentazione schematica della configurazione fisica derivata dall'analisi visiva dei segnali EMG. Sono mostrate le fibre muscolari dello sfintere anale e gli elettrodi di prelievo. **c,d)** Esempi di segnali EMG prelevati durante stimolazione elettrica dallo sfintere anale di un soggetto durante stimolazione con PNE. L'elettrodo di stimolazione era inserito a livello di S3 a sinistra (**c**) e destra (**d**). Ogni gruppo di onde M propaganti lungo un emisfintero è la sovrapposizione delle risposte a 20 stimoli.

a) Drawing of the percutaneous needle electrode (PNE) during SNS. **b)** Schematic representation of the physical configuration according to the visual analysis of the EMG signals. The anal sphincter muscle fibers and the detection electrodes are shown. **c,d)** Examples of EMG signals detected during electrically elicited contractions of the anal sphincter of a PNE patient. The stimulation electrode was placed at the level of S3 left (**c**) and right (**d**). Each set of M-waves propagating along a hemisphincter, is the superimposition of the responses to 20 stimuli



Attività EMG rilevata dal muscolo sfintere anale esterno in soggetti sani e mialgici

A. Bottin, G. Lamberti, S. Martina

Il dolore pelvi-perineale cronico è una comune causa di disabilità fisica e psicologica per uomini e donne di tutte le età. In particolare, circa il 15% della popolazione femminile soffre di dolore occasionale o cronico, associato ad una riduzione della funzione motoria, a variazioni della postura e alla insorgenza di incontinenza, stipsi e di altri disordini. Ci sono numerose cause di dolore e la diagnosi è tuttora poco chiara, portando a trattamenti basati più sull'esperienza dei singoli clinici che su prove scientifiche.

In questa prospettiva, il segnale EMG può essere utile per raccogliere informazioni dai muscoli più superficiali (per esempio, lo sfintere anale esterno) con elettrodi non invasivi. In questo lavoro, sono stati prelevati segnali EMG di superficie tramite sonde rettali da individui sani e da pazienti affetti da dolore la cui diagnosi consisteva in una mialgia tensiva del pavimento pelvico.

Lo scopo era confrontare l'attività EMG in condizione di riposo e in contrazioni massimali fra i soggetti sani e patologici, per valutare se il dolore può essere associato ad una ipertensione delle fibre muscolari. Sedici individui mialgici e sette sani sono stati esaminati. I potenziali di azione di unità motoria (MUAP) sono stati contati tramite analisi visiva e un test statistico (ANOVA) ha dimostrato che il numero medio di MUAP era statisticamente più alto, durante le contrazioni al massimo della forza, nei soggetti patologici rispetto agli individui sani, mentre non è stata trovata una differenza statistica in condizione di riposo. Si conclude che la mialgia non sembra essere associata ad iperattività muscolare in condizioni di riposo.

EMG activity from the anal sphincter muscle of healthy and myalgic subjects

Chronic pelvi-perineal pain is a common cause of physical and psychological disability for men and women of any age. In particular, about 15% of the female population suffers from occasional or chronic pain, associated with a reduction of motor function, changes in posture, and the onset of incontinence, constipation, and other disorders. There are several causes of pain, and the diagnosis is still unclear, leading to treatments based more on the experience of single clinicians than on scientific evidence.

In this perspective, EMG can be useful to collect information from the most superficial muscles (e.g., the external anal sphincter) with non-invasive electrodes. In this work, surface EMG signals were detected with rectal probes from healthy subjects and patients suffering from pain due to a tensive myalgia of the pelvic floor.

The aim was to compare EMG activity in relaxed condition and during maximal contractions between healthy and pathological subjects, in order to evaluate if pain can be related to hypertension of muscle fibers. Sixteen myalgic and seven healthy subjects were tested. The motor unit action potentials (MUAPs) were counted by visual analysis, and a statistical test (ANOVA) showed that the mean number of MUAPs was statistically higher, during maximal contractions, in pathological subjects with respect to healthy subjects, while there was no difference in relaxed condition. It was concluded that myalgia is not associated to muscle hyperactivity in relaxed condition.



FORMATORE PERMANENTE
DISSEMINAZIONE DEI
RISULTATI

CONTINUING EDUCATION,
DISSEMINATION OF
RESULTS

Diffusione dei risultati:
corsi, e seminari

Dissemination of teaching material:
courses and seminars

R. Merletti, S. Lecce

Uno degli obiettivi del LISiN è lo svolgimento di attività formativa avanzata sia a livello nazionale sia internazionale, sia verso studenti e ricercatori in visita sia verso i dottorandi e i ricercatori del LISiN o di altri centri di ricerca.

Among the objectives of LISiN is the exchange and dissemination of research results at the national and international level aimed both at the students and researchers within LISiN and at those of other research institutions

I seguenti docenti hanno tenuto lezioni o seminari presso il LISiN nel 2003:

The following professors or researchers have given seminars or lectures at LISiN in 2003:

1. Thomas J. Armstrong, University of Michigan (USA)
2. Bertrand Arsenault, Université de Montréal, Canada
3. Ignazio Caruso, Università di Tor Vergata, Roma (I)
4. Roger Enoka, University of Colorado (USA)
5. Carlo Frigo, Politecnico di Milano (I)
6. Hermie Hermens, Roessingh Research and Development, Enschede (NL)
7. Pietro Morasso, Università di Genova (I)
8. Silvestro Roatta, Università di Torino (I)



I seguenti ricercatori sono stati ospiti del LISiN e hanno lavorato su progetti congiunti:

The following researchers have been guests of LISiN and worked on shared projects:

1. Aicha Reffad, Université de Setif, Algerie (Algerie)
2. Aleš Holobar, University of Maribor (SI)
3. Alexandra Debiolles, Ecole Centrale de Nantes (F)
4. Deborah Falla, Queensland University (AU)
5. Gianluca Federighi, INRCA, Firenze (I)
6. Manuela Corti, Università Vita-Salute San Raffaele, Milano (I)
7. Massimiliano Gobbo, Università di Brescia (I)
8. Peter Schenk, Swiss Federal Institute of Technology, Zurigo (CH)
9. Reza Gerretsen, UIC BME Dept. of Urology, Nijmegen (NL)
10. Roland Graßme, University of Jena (D)
11. Vincenzo Marchio, IUSM, Università di Catanzaro (I)

Nel 2003 i ricercatori del LISiN hanno tenuto e organizzato i seguenti seminari o corsi:

In 2003 researchers from LISiN offered the following seminars and courses:

1. Seminario: Multi-channel surface EMG: technical issues and applications, Farina D., University of Strathclyde, Glasgow, Marzo 2003
2. Corso di Elettromiografia di superficie: aspetti metodologici e applicazioni cliniche in Medicina Riabilitativa, Università di Tor Vergata – Fondazione Don Gnocchi, Docenti del LISiN, Roma, 3-5 Aprile 2003
3. Seminario: Selected topics in motor control, Enoka R., Passatore M., Orizio C., Università degli Studi di Torino, Aula di Biochimica, Corso Raffaello 30, Torino, 8 Aprile 2003
4. Convegno: Bioingegneria del sistema neuromuscolare - Risultati di progetti europei: trasferimento alle aziende e ai servizi sanitari, Centro Congressi Torino Incontra, Torino, 27 Maggio 2003
5. Seminario di presentazione e discussione dei risultati di progetti di ricerca sviluppati dal Laboratorio di Ingegneria del Sistema Neuromuscolare e della Riabilitazione Motoria del Politecnico di Torino (LISiN), Ospedale Mauriziano "Umberto I", Torino, 28 Maggio 2003
6. Corso di Ingegneria del sistema neuromuscolare, Dottorato in Ingegneria Biomedica del Politecnico di Torino, Giugno-Luglio 2003
7. Seminario: Analisys of Work Activity, Armstrong T. J., LISiN Centro di Bioingegneria del Politecnico, Torino, 12 Giugno 2003
8. Seminario: Better spatial resolution of multichannel surface EMG by temporal filtering, Graßme R., LISiN Centro di Bioingegneria del Politecnico, Torino, 23 Luglio 2003
9. Seminario: Blind separation of convolutive mixtures applied to sEMG, Debiolles A., LISiN Centro di Bioingegneria del Politecnico, Torino, 23 Luglio 2003
10. Lezione: Analisi di segnali EMG di superficie per lo studio del controllo motorio, Farina D., Filligoi G.C., Merletti R., XXII Scuola Annuale di Bioingegneria, Bressanone 22-25 Settembre 2003



11. Lezione: Medicina del lavoro: valutazioni tramite EMG di superficie, R. Merletti, XXII Scuola Annuale di Bioingegneria, Bressanone, 22-25 Settembre 2003
12. Seminario: Are EMG measures of muscle weakness and fatigue associated with clinical measures in subjects with Chronic Neck Pain?, Arsenault B.A., LISiN (Laboratorio di Ingegneria del Sistema Neuromuscolare) Torino, 7 ottobre 2003
13. Corso di Elettromiografia non-invasiva: Basi Teoriche, Elementi di Metodologia e Applicazioni Cliniche, Campus Universitario di Savona, organizzato dalla Società di Promozione degli Enti Savonesi per L'Università e dal Master in Riabilitazione dei Disordini Muscoloscheletrici (ex Formazione Avanzata in Terapia Manuale) e da LISiN-Laboratorio di Ingegneria del sistema Neuromuscolare), Savona, 11 – 12 Ottobre 2003
14. Seminario: Elettromiografia di superficie con schiere di elettrodi: tecnologia, applicazioni, prospettive, Merletti R., Mandrile F., Università Vita-Salute San Raffaele di Milano, 26 Novembre 2003
15. Lezione: L'elettromiografia di superficie come strumento per la valutazione non-invasiva del muscolo scheletrico, Rainoldi A., tenuta all'interno del Corso di Fisiologia Applicata, Corso di Laurea in Scienze Motorie, SUISM, Torino, Dicembre 2003
16. Seminario: Elettromiografia dello sfintere anale, Merletti R., Martina S., Ospedale di Padova, 15 Dicembre 2003



P U B B L I C A Z I O N I

S C I E N T I F I C H E E

P R E S E N T A Z I O N I A

C O N G R E S S I (D A L 2 0 0 1)

S C I E N T I F I C P U B B L I C A T I O N S

A N D C O N G R E S S

P R E S E N T A T I O N S

(F R O M 2 0 0 1)

Libri e capitoli di libri

Books and chapters in books

1. Merletti R., Farina D., Rainoldi A., Myoelectric manifestations of muscle fatigue. In "Muscle strength", S. Kumar (Ed), Taylor and Francis Ltd., in press
2. Pozzo M., Farina D., Merletti R., Electromyography: detection, processing and applications. In "Handbook of biomedical technology and devices", J.E. Moore (Ed), CRC Press,
3. Merletti R., Parker P., Electromyography: physiology, engineering and non-invasive application, IEEE Press and J. Wiley&Sons, in press
4. Farina D., Filligoi G.C., Merletti R., Analisi di segnali EMG di superficie per lo studio del controllo motorio. In "Bioingegneria della postura e del movimento" Cappello A., Cappozzo A., di Prampero P.E. (Eds.), Patron Editore (Pub.), pp. 281-306, 2003
5. Merletti R., Medicina del lavoro: valutazioni tramite EMG di superficie. In "Bioingegneria della postura e del movimento" Cappello A., Cappozzo A., di Prampero P.E. (Eds.), Patron Editore (Pub.), pp. 495-510, 2003

Pubblicazioni su riviste internazionali

Publications on international journals

1. Farina D., Muhammad W., Fortunato E., Meste O., Merletti R., Rix H., Estimation of single motor unit conduction velocity from myoelectric signals detected with linear electrode arrays, *Medical & Biological Eng. & Comput.*, 39, 225-236, 2001
2. Farina D., Merletti R., A novel approach for precise simulation of the EMG signal detected by surface electrodes, *IEEE Trans. on Biomed. Eng.*, 48, 637-646, 2001
3. Farina D., Colombo R., Merletti R., Baare-Olsen H., Evaluation of intramuscular EMG de-



composition algorithms. *J. of Electromyography and Kinesiology*, 11, 175-187, 2001

4. Merletti R., Rainoldi A., Farina D., Surface EMG for non invasive muscle characterization, *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 29, 20-5, 2001
5. Farina D., Crosetti A., Merletti R., A mathematical model for the generation of synthetic intramuscular EMG signals to test decomposition algorithms, *IEEE Trans. on Biomed. Eng.*, 48, 66-77, 2001
6. Rainoldi A., Bullock-Saxton J.E., Cavarretta F., Hogan N., Repeatability of maximal voluntary force and of surface EMG variables during voluntary contraction of quadriceps muscles in healthy subjects, *J. of Electromyography and Kinesiology*, 11, 425-438, 2001
7. Merletti R., Farina D., Gazzoni M., Merlo A., Ossola P., Rainoldi A., Surface Electromyography: a window on the muscle, a glimpse on the central nervous system. *Europa Medica physica*, 37, 57-68, 2001
8. Farina D., Cescon C., Concentric ring electrode systems for non-invasive detection of single motor unit activity, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 48, 1326-1334, 2001
9. Farina D., Merletti R., Nazzaro M., Caruso I., Effect of joint angle on surface EMG variables for the muscles of the leg and thigh, *IEEE Eng. Med. Biol. Mag.*, vol. 20, 62-71, 2001
10. Farina D., Merletti R., Effect of electrode shape on spectral features of surface detected motor unit action potentials, *Acta Physiol. Pharmacol. Bulg.*, vol. 26, 63-66, 2001
11. Gazzoni M., Farina D., Merletti R., Motor unit recruitment during constant low force and long duration muscle contractions investigated by surface electromyography, *Acta Physiol. Pharmacol. Bulg.*, vol. 26, 67-71, 2001
12. Lesk A., Lo Conte L., Hubbard T., Assessment of Novel Fold Targets in CASP4: Predictions of Three-dimensional Structures, Secondary Structures and Interresidue Contacts, *Proteins: Struct., Function and Genet.*, Suppl. 5, 98-118, 2001
13. Merletti R., Farina D., Gazzoni M., Schieroni M.P., Effect of age on muscle functions investigated with surface electromyography, *Muscle and Nerve*, 25, 65-76, 2002
14. Falla D., Dall'Alba P., Rainoldi A., Merletti R., Jull G., Location of innervation zones of sternocleidomastoid and scalene muscles - a basis for clinical and research electromyography applications, *Clinical Neurophysiology*, 113, 57-63, 2002
15. Falla D., Dall'Alba P., Rainoldi A., Merletti R., Jull G., Repeatability of surface EMG variables in the sternocleidomastoid and anterior scalene muscles, *Eur J Appl Phys*, 87, 542-549, 2002



16. Farina D., Cescon C., Merletti R., Influence of anatomical, physical and detection system parameters on surface EMG, *Biol. Cybern.*, 86, 445-456, 2002
17. Farina D., Fosci M., Merletti R., Motor unit recruitment strategies investigated by surface EMG variables. An experimental and model based feasibility study, *Journ. Appl. Physiol.*, 92, 235-247, 2002
18. Farina D., Fattorini L., Felici F., Filligoi G., Nonlinear surface EMG analysis to detect changes of motor unit conduction velocity and synchronization, *Journ. Appl. Physiol.*, 93, 1753-1763, 2002
19. Farina D., Arendt-Nielsen L., Merletti R., Graven-Nielsen T., Assessment of single motor unit conduction velocity during sustained contractions of the tibialis anterior muscle with advanced spike triggered averaging, *Journ. Neurosci. Meth.*, 115, 1-12, 2002
20. Farina D., Madeleine P., Graven-Nielsen T., Merletti R., Arendt-Nielsen L., Standardising surface electromyogram recordings for assessment of activity and fatigue in the human upper trapezius muscle, *Eur. Journ. Appl. Physiol.*, 86, 469-478, 2002
21. Madeleine P., Farina D., Merletti R., Arendt-Nielsen L., Upper trapezius muscle mechano-myographic and electromyographic activity in humans during low force fatiguing and non-fatiguing contractions, *Eur. Journ. Appl. Physiol.*, 87, 327-336, 2002
22. Merletti R., Casale R., Orizio C., Marcandelli S., Merlo A., Ossola P., Pozzo M., Rainoldi A., Advances in neuromuscular electrical stimulation techniques. Optimization of countermeasures for microgravity induced muscular deterioration, *Microgravity and Space Station Utilization*, vol. 2, 235-237, 2002
- Clancy E.A., Morin E.L., Merletti R., Sampling, noise-reduction and amplitude estimation issues in surface electromyography, *J. of Electromyography and Kinesiology*, 12, 1-16, 2002
24. Lo Conte L., Brenner S.E., Hubbard T.J.P., Chothia C., Murzin A., SCOP database in 2002: refinements accommodate structural genomics, *Nucl. Acids Res.*, 30, 264-267, 2002
25. Chandonia J.M., Walker N.S., Lo Conte L., Koehl P., Levitt M., Brenner S.E., ASTRAL compendium enhancements', *Nucl. Acid. Res.*, 30, 260-263, 2002
26. Farina D., Merletti R., Indino B., Nazzaro M., Pozzo M., Surface EMG crosstalk between knee extensor muscles: experimental and model results, *Muscle Nerve*, 26, 681-695, 2002
27. Casale R., Rainoldi A., Nilsson J., Bellotti P., Can continuous physical training counteract aging effect of myoelectrical fatigue?: A sEMG study, *Arch Phys Med Rehab*, 84, 513-517, 2003
28. Falla D, Rainoldi A, Merletti R, Jull G. Myoelectric manifestations of sternocleidomastoid and anterior scalene muscle fatigue in chronic neck pain patients *Clinical Neurophysiology*, 114, 488-495, 2003
29. Merletti R., Farina D., Gazzoni M., The linear electrode array: a useful tool with many ap-



- plications, *J. of Electromyography and Kinesiology*, 13, 37-47, 2003
30. Merlo A., Farina D., Merletti R., A fast and reliable technique for muscle activity detection from surface EMG signals, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 50, (3), 316-323, 2003
31. Farina D., Gazzoni M., Merletti R., Assessment of low back muscle fatigue by surface EMG signal analysis: methodological aspects, *J. of Electromyography and Kinesiology*, 13, 319-332, 2003
32. Schulte E., Farina D., Rau G., Merletti R., Disselhorst-Klug C., Single motor unit analysis from spatially filtered surface EMG signals – Part II: conduction velocity estimation, *Med. Biol. Eng. Comput.*, 41, 338-345, 2003
33. Muhammad W., Meste O., Rix H., Farina D., A pseudo joint estimation of time delay and scale factor for M-wave analysis, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 50, (4), 459-468, 2003
34. Falla D., Jull G., Dall'Alba P., Rainoldi A., Merletti R., An electromyographic analysis of the deep cervical flexor muscles in performance of craniocervical flexion, *Physical Therapy*, 83, (10), 899-906, 2003
35. Farina D., Merletti R., A novel approach of estimating muscle fiber conduction velocity by spatial and temporal filtering of surface EMG signals, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 50, (12), 1340-1351, 2003
36. Farina D., Schulte E., Merletti R., Rau G., Disselhorst-Klug C., Single motor unit analysis from spatially filtered surface EMG signals – Part I: spatial selectivity, *Med. Biol. Eng. Comput.*, 41, 338-345, 2003
37. Farina D., Arendt-Nielsen L., Merletti R., Indino B., Graven-Nielsen T., Selectivity of spatial filters for surface EMG detection from the tibialis anterior muscle, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 50, (3), 354-364, 2003
38. Farina D., Kallenberg L.A.C., Merletti R., Hermens H., Effect of side dominance on myoelectric manifestations of muscle fatigue in the human upper trapezius muscle, *Eur. Journ. Appl. Physiol.*, 90, 480-488, 2003
39. Falla D., Jull G., Rainoldi A., Merletti R., Neck flexor muscle fatigue is side specific in patients with unilateral neck pain, *Eur J Pain*, in press.
40. Rainoldi A., Cescon C., Bottin A., Casale R., Caruso I., Surface EMG alterations induced by underwater recording, *J Electrom Kinesiol*, in press.



41. Rainoldi A., Melchiorri G., Lucchetti D., Caruso I., A method for positioning electrodes during surface EMG recordings in lower limb muscles, *J Neurosci Methods*, in press.
42. Falla D., Edwards S., Koh K., Jull G., Rainoldi A., Neuromuscular efficiency of the sternocleidomastoid and anterior scalene muscles in patients with chronic neck pain, *Disability and Rehabilitation*, in press.
43. Mandrile F., Farina D., Pozzo M., Merletti R., Stimulation artifact in surface EMG signal: effect of the stimulation waveform, detection system, and current amplitude using hybrid stimulation technique, *IEEE Trans. Neural Syst. Rehab. Eng.*, in press.
44. Farina D., Mesin L., Martina S., Merletti R., A surface EMG generation model with multi-layer cylindrical description of the volume conductor, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, in press.
45. Farina D., Zagari D., Gazzoni M., Merletti R., Reproducibility of muscle fiber conduction velocity estimates using multi-channel surface EMG techniques, *Muscle Nerve*, in press.
46. Farina D., Pozzo M., Merlo E., Bottin A., Merletti R., Assessment of muscle fiber conduction velocity from surface EMG signals during fatiguing dynamic contractions, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, in press.
47. Farina D., Mesin L., Martina S., Merletti R., Comparison of spatial filter selectivity in surface myoelectric signal detection – Influence of the volume conductor model, *Med. Biol. Eng. Comput.*, in press.
48. Cescon C., Farina D., Gobbo M., Merletti R., Orizio C., Effect of accelerometer location on mechanomyogram variables during voluntary, constant force contractions in three human muscles, *Med. Biol. Eng. Comput.*, in press.
49. Farina D., Arendt-Nielsen L., Merletti R., Graven-Nielsen T., The effect of experimental muscle pain on motor unit firing rate and conduction velocity, *Journ. Neurophysiology*, in press.
50. Farina D., Gazzoni M., Camelia F., Low threshold motor unit membrane properties vary with contraction intensity during sustained activation with surface EMG visual feedback, *Journ. Appl. Physiol.*, in press.
51. Farina D., Févotte C., Doncarli C., Merletti R., Blind separation of linear instantaneous mixtures of non-stationary surface myoelectric signals, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, in press.
52. Pozzo M., Merlo E., Farina D., Antonutto G., Merletti R., di Prampero P.E., Muscle fiber conduction velocity estimated from surface EMG signals during very short explosive efforts



in humans, *Muscle Nerve*, in press

53. Mesin L., Farina D., Simulation of surface EMG signals generated by muscle tissues with in-homogeneity due to fiber pinnation, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, in press.
54. Farina D., Merletti R., Enoka R.M., The extraction of neural strategies from the surface EMG", *Journ. Appl. Physiol.*, in press.
55. Farina D., Merletti R., Estimation of average muscle fiber conduction velocity from two-dimensional surface EMG recordings, *Journal of Neuroscience Methods*, in press.
56. Farina D., Merletti R., Indino B., Graven-Nielsen T., Surface EMG crosstalk evaluated from experimental recordings and simulated signals. Reflections on crosstalk interpretation, quantification and reduction, *Methods Inf. Med.*, in press
57. Falla D., Rainoldi A., Merletti R., Jull G., Spatio-temporal evaluation of neck muscle activation during postural perturbations, *J Electrom Kinesiol*, in press.
58. Gazzoni M., Farina D., Merletti R., A new method for the extraction and classification of single motor unit action potentials from surface emg signals, *Journal of Neuroscience Methods*, in press

Presentazioni a congressi internazionali e nazionali

Presentations at national and international congresses

1. Farina D., Cescon C., Concentric ring electrodes for non-invasive detection of single motor unit activity, *Proc. of the 2nd PROCID Symposium*, Goteborg, pp. 147-152, 2001
2. Farina D., Gazzoni M., Merletti R., Surface EMG techniques for the analysis of single motor unit properties, *Proc. of the 2nd PROCID Symposium*, Goteborg, pp. 38-42, 2001
3. Farina D., Arendt-Nielsen L., Merletti R., Graven-Nielsen T., A spike triggered averaging technique for high resolution assessment of single motor unit conduction velocity: change during Fatiguing Voluntary Contractions, *Proc. of the 23rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Istanbul, 2001, [Full paper available on CD-ROM (ISBN 0-7803-7213-1)]
4. Farina D., Merletti R., An experimental and model based investigation of the potential and limitations of surface EMG spectral analysis for assessment of motor unit recruitment strategy, *Proc. of the 23rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Istanbul, 2001, [Full paper available on CD-ROM (ISBN 0-7803-7213-1)]



and Biology Society, Istanbul, 2001, [Full paper available on CD-ROM (ISBN 0-7803-7213-1)]

5. Muhammad W., Meste O., Rix H., Farina D., A novel approach for joint estimation of time delay and scale factor with applications to the M-wave analysis, *Proc. of the 23rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Istanbul, 2001, [Full paper available on CD-ROM (ISBN 0-7803-7213-1)]
6. Meste O., Muhammad W., Rix H., Farina D., *On the estimation of muscle fiber conduction velocity using a co-linear electrode array*, Proc. of the 23rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Istanbul, 2001, [Full paper available on CD-ROM (ISBN 0-7803-7213-1)]
7. Rainoldi A., Durfee W. K., Merletti R., Twitch summation with double stimulation, *7th Vienna International Workshop on functional electrostimulation*, Vienna, September 12-15, pp. 110-113, 2001
8. Falla D, Dall'Alba P, Rainoldi A, Merletti R, Jull G. Location of innervation zones of sternocleidomastoid and scalene muscles. *MPAA Biennial Conference - More Than Skin Deep*, South Australia, Australia, December 2001
9. Merletti R, Merlo A., Rainoldi A., Electrode placement in dynamic surface EMG: the effect of the innervation zone, *ESMAC&SIAMOC 2001 Joint Congress*, Rome, October, 12-14, *Gait & Posture*, 14(2):120, 2001
10. Farina D., Madeleine P., Graven-Nielsen T., Merletti R., Arendt-Nielsen L., Standardisation of surface EMG recording for reliable assessment of the upper trapezius muscle activity and fatigue in occupational studies, *ESMAC-SIAMOC Joint Congress*, Rome, Gait & Posture, vol 14, pp. 163-164, 2001
11. Ljoka C., Melchiorri G., Lucchetti D., Rainoldi A., Foti C., Sul corretto posizionamento di elettrodi nell'EMG di superficie, *XIX Congresso Nazionale SIMFER*, Roma 2001
12. Nazzaro M., Farina D., Indino B., Merletti R., Caruso I., Valutazione del cross-talk nel prelievo del segnale EMG di superficie dei muscoli vasto laterale, vasto mediale e retto femorale, *XXIX Congresso Nazionale SIMFER*, Roma, 2001
13. Merletti R., Casale R., Orizio C., Marcandelli S., Merlo A., Ossola P., Pozzo M., Rainoldi A. Tecniche avanzate di stimolazione elettrica neuromuscolare. Ottimizzazione delle contro misure per ridurre il deterioramento muscolare dovuto a permanenza in microgravità. *Workshop Nazionale "La scienza e la Tecnologia sulla Stazione Spaziale Internazionale (ISS)"*, Centro ALTEC, Torino, 16-18 maggio 2001



14. Bottin A., Cescon C., Farina D., Merletti R., Merlo A., Rainoldi A., Tecniche avanzate per i prelievo, la elaborazione e la interpretazione di segnali elettrici muscolari, *Workshop Nazionale "La scienza e la Tecnologia sulla Stazione Spaziale Internazionale (ISS)"*, Centro ALTEC Torino, 16-18 maggio 2001
15. Bajaj P., Madeleine P., Farina D., Arendt-Nielsen L., Electromyographic and psychological assessment of post-exercise muscle soreness, *Myopain '01- Fifth world congress on myofascial pain and fibromyalgia*, Portland, USA, 2001
16. Merletti R., Pozzo M., Bottin A., Farina D., Neuromuscular assessment in the Elderly Worker (European shared cost project NEW, 2001-2004), *Living and "curing" old age in the work 3rd International Conference on Anthropology and the History of Health and Disease*, ISBN 88-8163-300-0, pg. 121-124, 2002
17. Merletti R., Farina D., Gazzoni M., The Linear electrode array: a tool with many applications, *Proc. of the XIV Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology*, Vienna, Austria 22-25 June 2002, pg. 5-8
18. Merletti R., Enck P., Gazzoni M., Hinninghofen H., Surface EMG recording of single motor unit action potentials from the external anal sphincter, *Proc. of the XIV Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology*, Vienna, Austria 22-25 June 2002, pg. 23-24
19. Farina D., Arendt-Nielsen L., Merletti R., Graven Nielsen T., Effect of experimental muscle pain on motor unit control and conduction properties, *Proc. of the XIV Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology*, Vienna, Austria 22-25 June 2002, pg. 36-37
20. Merletti R., Biondi R., Gazzoni M., Merlo A., Nannucci L., Surface EMG based follow-up of the reinnervation process in denervated muscles, *Proc. of the XIV Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology*, Vienna, Austria 22-25 June 2002, pg. 61-62
21. Merletti R., Gazzoni M., Farina D., Myoelectric manifestations of muscle fatigue during low level sustained isometric contractions, *Proc. of the XIV Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology*, Vienna, Austria 22-25 June 2002, pg. 116-117
22. Falla D., Dall'Alba P., Rainoldi A., Merletti R., Jull G., Repeatability of surface EMG variables in the sternocleidomastoid and anterior scalene muscles, *Proc. of the XIV Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology*, Vienna, Austria 22-25 June 2002, pg. 124-125
23. Rainoldi A., Cescon C., Bottin A., Merletti R., Surface EMG alterations induced by under w



ter recording. A case study, *Proc. of the XIV Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology*, Vienna, Austria 22-25 June 2002, pg. 126-127

24. Schulte E., Farina D., Disselhorst-Klug C., Merletti R., Rau G., Non-invasive estimation of motor unit conduction velocity during isometric and dynamic contractions, *Proc. of the XIV Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology*, Vienna, Austria 22-25 June 2002, pg. 171-172
25. Falla D., Rainoldi A., Merletti R., Jull G., Myoelectric manifestations of sternocleidomastoid and anterior scalene muscle fatigue in chronic neck pain patients, *Proc. of the XIV Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology*, Vienna, Austria 22-25 June 2002, pg. 188-189
26. Madeleine P., Jorgensen L.V., Farina D., Sogaard K., Sjogaard G., Merletti R., Arendt-Nielsen L., Mechanomyographic and surface electromyographic behaviour during muscle fatigue development at low contraction level, *Proc. of the XIV Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology*, Vienna, Austria 22-25 June 2002, pg. 215-216
27. Bottin A., Rebecchi P., Impedance of the skin-electrode interface in surface EMG recordings, *Proc. of the XIV Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology*, Vienna, Austria 22-25 June 2002, pg. 246-247
28. Pozzo M., Ferrabone R., A portable multichannel EMG acquisition system, *Proc. of the XIV Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology*, Vienna, Austria 22-25 June 2002, pg. 264-265
29. Cescon C., Nannucci L., Orizio C., Farina D., Gazzoni M., Single motor unit mechanomyogram: a spike-triggered averaging approach, *Proc. of the XIV Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology*, Vienna, Austria 22-25 June 2002, pg. 297-298
30. Cescon C., Nannucci L., Orizio C., A prototype of hybrid probe for surface EMG and MMG joint recordings, *Proc. of the XIV Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology*, Vienna, Austria 22-25 June 2002, pg. 299-300
31. Olsen H.B., Sjogaard G., Farina D., Sogaard K., Motor unit firing pattern during double and single clicking on a computer mouse, *Proc. of the XIV Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology*, Vienna, Austria 22-25 June 2002, pg. 321-322
32. Nannucci L., Merlo A., Merletti R., Rainoldi A., Bergamo R., Melchiorri G., Lucchetti D., Caruso I., Falla D., Jull G., Atlas of the innervation zones of upper and lower extremity muscles, *Proc. of the XIV Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology*, Vienna, Austria 22-25 June 2002, pg. 323-324



cles, *Proc. of the XIV Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology*, Vienna, Austria 22-25 June 2002, pg. 353-354

33. Falla D, Rainoldi A, Merletti R, Jull G. An investigation of superficial cervical flexor muscle fatigue in patients with chronic unilateral neck pain, *10th World Congress on Pain*, San Diego California 2002
34. Minetto M., Paccotti P., Ventura M., Dovio A., Ganzit G.P., Rainoldi A., Gazzoni M., Merletti R., Angeli A., Overtraining syndrome: an integrated approach to diagnosis using a maximal exercise test and surface electromyography, "Hormones, body composition and physical performances" International Congress, Torino, Italy, 15-17 Novembre 2002, p.106
35. Farina D., Merletti R., Indino B., Nazzaro M., Bottin A., Pozzo M., Caruso I., Surface EMG cross-talk evaluated from experimental recordings and simulated signals. Reflections on cross-talk interpretation, quantification and reduction, Proc. of the 4th International Workshop on Biosignal Interpretation (BSI2002), Como, Italy, 2002, pp. 63-66
36. Lanzetta M., Bottin A., Farina D., Pozzo M., Merletti R., Non-invasive assessment of reinnervation in the transplanted hand, IV International Symposium on Hand Transplantation and Composite Tissue Allograft, Varennna, Italy, September 2002
37. Farina D., Merletti R., Indino B., Nazzaro M., Pozzo M., Crosstalk in surface EMG signal detection for leg and thigh muscles. Reflections on sources and detection system selectivity, Proc. of the 3rd SIAMOC Congress, Bologna, Italy, October 2002
38. Bottin A., Pozzo M., Marcon M., Ottino G., Multichannel EMG movement analysis system useable with electrode arrays, Proc. of the 3rd SIAMOC Congress, Bologna, Italy, October 2002
39. Falla D, Edwards S, Koh K, Jull G, Rainoldi A. Neuromuscular efficiency of the sternocleidomastoid and anterior scalene muscles in patients with chronic neck pain, 2nd World Congress of the International Society of Physical and Rehabilitation Medicine; Prague, Czech Republic, May 18-22, 2003
40. Falla D., Jull G., Dall'Alba P., Rainoldi A., Merletti R., An electromyographic analysis of the deep cervical flexor muscles in performance of crano-cervical flexion, New Zealand Manipulative Physiotherapists Association Bi-annual Scientific Conference - Back to Clinical Relevance, Auckland, New Zealand, August 9-10th 2003
41. Merletti R., Melchiorri G., Rainoldi A., Bottin A., Farina D., Gazzoni M., Pozzo M., Advanced EMG technologies for non invasive assessment of muscles, invited lecture at the VIIth IOC



Olympic World Congress on Sport Sciences, Physical, Nutritional and Psychological care of the Athlete in the 21st century, Atene, 7-11 October 2003

42. Zennaro D., Farina D., Pozzo M., Merletti R., Läubli T., Single motor unit control and conduction properties in the trapezius muscle during prolonged computer work, *Proc. of the XVII International Annual Occupational Ergonomics and Safety Conference*, 2003, 7-9 May, Munich, Germany
43. Zennaro D., Farina D., Pozzo M., Läubli T., Assessment of single motor unit control and conduction properties in the upper trapezius muscle during prolonged computer work. *27th International Conference on Occupational Health*, Iguassu Falls, Brazil, 23-28 February 2003
44. Farina D., Lebrun F., Fevotte C., Doncarli C., Merletti R., Blind source separation of linear mixtures of non-stationary surface EMG signals, *9° Colloque GRETSI sur le Traitement du Signal et des Images*, Paris, France, 2003
45. Farina D., Pozzo M., Merlo E., Bottin A., Merletti R., Techniques for the assessment of muscle fiber conduction velocity from surface EMG signals during fatiguing dynamic contractions, *Proceedings IV SIAMOC Congress*, 2003
46. Pozzo M., Merlo E., Farina D., Antonutto G., Merletti R., di Prampero P.E., Muscle fiber conduction velocity estimated from surface EMG signals during isometric and explosive contractions of the lower limb, *Proceedings IV SIAMOC Congress*, 2003
47. Gazzoni M., Farina D., Pozzo M., Merletti R., Detection of changes in motor unit recruitment during a repetitive dynamic task of the upper limb, *Proceedings IV SIAMOC Congress*, 2003
48. Campanini I., Ballotta A., Merlo A., Montecchi M.G., Irali P., Degola P., Farina D., Vezzosi G., Merletti R., Analysis of the properties of muscles with hypertone by multi-channel surface EMG, *Proceedings IV SIAMOC Congress*, 2003, in press
49. Keenan K.G., Farina D., Maluf K.S., Merletti R., Enoka R.M., Age-associated changes in motor unit properties reduce signal cancellation in the simulated electromyogram (Abstract). *Soc Neurosci Abstr*, 2003
50. Gerretsen R., Cescon C., Farina D., Wijkstra H., Heesakkers J., Detection of innervation zones and innervation zone distribution in the urethral sphincter through circumferential surface EMG, *Proc. of the 33rd Annual meeting of the International Continence Society*,



Firenze, Italy 5-9 October 2003, n. 164

51. Merletti R., Farina D., Gazzoni M., Investigation of low back muscle fatigue by surface EMG: preliminary results from the EU project "Neuromuscular assessment in the elderly worker, 2nd International Conference Low Back Pain: prevention, investigation and treatment concepts, Friedrich Schiller University of Jena, December 2003

Pubblicazioni su riviste nazionali

Publications on national journals

1. Nazzaro M., Farina D., Indino B., Merletti R., Caruso I., Valutazione del cross-talk nel prelievo del segnale EMG di superficie dei muscoli vasto laterale, vasto mediale e retto femorale *Europa Medico Physica*, vol. 37, pp. 58-61, 2002
2. Merletti R., Pozzo M., Zennaro D., Valutazione neuromuscolare del lavoratore anziano: i Progetto NEW, *La Medicina del Lavoro*, Vol. 93, n.6, 2002

Altre pubblicazioni

Other publications

1. Rainoldi A., R. Merletti, Clinical applications of the surface electromyography. An experience of interaction between basic and applied research, Bollettino della comunità scientifica in Australasia, Ambasciata d'Italia, Camberra, Ufficio dell'Addetto Scientifico, Dicembre 2003