

Muscle activity of upper and lower rectus abdominis during curl-up and sit-up exercises

Attività del muscolo retto superiore e inferiore dell'addome durante gli esercizi di curl-up e sit-up

M. RIPANI ¹, A. GIOMBINI ¹, A. CICCARELLI ¹, A. DI CESARE ³, C. CERULLI ¹, S. MORINI ²

¹University Institute of Motor Sciences, Rome, Italy

²Department of Biomedical Researches, University Campus Bio Medico of Rome, Rome, Italy

³Department of Physical and Rehabilitation Medicine University of Rome "La Sapienza", Rome, Italy

SUMMARY

Aim. The purpose of this study was to determine the performance of the rectus abdominis muscle during curl-up and sit-up exercises with different leg positions by means of motion analysis and surface electromyography.

Methods. Sixteen healthy female volunteers aged between 20 and 22 years participated in the study. Subject completed two trials for each exercise with repetition rate controlled by the tester. Electromyography (EMG) activity of upper rectus abdominis (URA) and lower rectus abdominis (LRA) was collected. Video data were measured using a Vicon System 370.

Results. The results showed a higher electrical activity of 22-28% of LRA during the sit-up with respect to curl-up exercise, whereas there was no difference for the URA. The higher activity of LRA resulted statistically significant only in the backward phase of the sit-up exercise ($P < 0.05$). Leg position did not modify electrical activity but affected the initial position of the pelvis and the length of LRA.

Conclusion. These data provided useful information on the functional performance of the recto-abdominis muscle during curl-up and sit-up exercises. Some suggestions are given to sports medicine operators as regard as how to start abdominal exercises and the cautions in case of lumbar pathologies in athletes.

KEY WORDS: Abdominal muscles - Rectus abdominis - Exercise test - Electromyography.

RIASSUNTO

Obiettivo. L'obiettivo di questo studio era di determinare l'attività del muscolo retto dell'addome durante gli esercizi di curl-up e sit-up con diverse posizioni delle gambe, tramite l'analisi del movimento e l'elettromiografia (EMG) di superficie.

Metodi. Sedici donne volontarie in buona salute, di età compresa tra 20 e 22 anni, hanno partecipato allo studio. Le partecipanti hanno completato due prove per ciascun esercizio con frequenze di ripetizione controllati dall'esaminatore. È stata registrata l'attività EMG del muscolo retto superiore dell'addome (URA) e del muscolo retto inferiore dell'addome (LRA). I dati video sono stati misurati utilizzando un Vicon System 370.

Risultati. I risultati hanno evidenziato una maggiore attività elettrica del 22-28% di LRA durante l'esercizio di sit-up rispetto all'esercizio di curl-up, mentre non sono state evidenziate differenze per quanto riguarda l'URA. La maggiore attività del LRA è risultata statisticamente significativa solo nella fase eccentrica dell'esercizio di sit-up ($P < 0,05$). La posizione delle gambe non ha modificato l'attività elettrica ma ha influenzato la posizione iniziale della pelvi e la lunghezza del LRA.

Conclusioni. Questi dati hanno fornito numerose informazioni sulla funzionalità del muscolo retto dell'addome durante gli esercizi di curl-up e sit-up. Sono forniti inoltre alcuni consigli a coloro che si occupano di medicina dello sport, per come iniziare gli esercizi addominali e le attenzioni da utilizzare in caso di patologie lombari negli atleti.

PAROLE CHIAVE: Muscoli addominali - Muscolo retto dell'addome - Test motorio - Elettromiografia.

The abdominal musculature plays a key role in the movement and stability of the lumbar spine; when their stabilizing role is compromised or negatively influenced there are significant implications with regards to the development of low back pain. A better knowledge of the functional anatomy of the rectus abdominis muscle is essential for the identification of suitable tests looking to either evaluation of strength and selection of exercises to be inserted in training or rehabilitation programs.¹⁻⁴ A lot of abdominal exercise equipment have been developed to enhance abdominal exercises or to emphasize specific abdominal musculature, even if the studies on their effectiveness showed contradictory results.⁵⁻⁷ However, the most used exercises are still the traditional curl-up and sit-up. In the former, starting from a supine position, the rectus abdominis muscle flexes the spine at the level of the dorso-lumbar and lombo-sacral joints, lifting from the ground only the superior trunk portion. During sit-up, conversely, after maximal flexion of the spine, the rectus abdominis muscle contracts isometrically facilitating the hip flexors action in lifting the subject to the sitting position. Therefore, the involvement of two muscular groups is characteristic of sit-up.

Choosing one of the two exercises is uncertain in that some authors have reported a different participation of the muscle, as well as some contraindications^{3, 8, 9} ascribed to the involvement of the hip flexors during sit-up that may cause lumbar hyperextension with functional overload. Conflicting data on which of both exercises is better¹⁰⁻¹³ has also emerged from surface electromyography studies.¹⁴

Whether the position of the lower limbs may¹⁵⁻¹⁹ or may not^{10, 20, 21} affect the performance of the rectus abdominis muscle, still remains a matter of debate among clinicians, researchers and fitness professionals.

Higher levels of activation have been detected in the abdominal muscles during the forward phase with respect to the backward phase of both exercises,^{15-19, 22-25} but this aspect has been not systematically analyzed comparing the activation patterns with the different phases of the movement. The purpose of this study is to determine the performance of the rectus abdominis muscle during curl-up and sit-up exercises with different lower limbs positions by means of motion analysis and surface electromyography.

La muscolatura addominale riveste un ruolo fondamentale nel movimento e stabilità del rachide lombare; quando il suo ruolo stabilizzante viene compromesso, vi sono significative implicazioni per quanto riguarda lo sviluppo del dolore in sede lombare. Una miglior conoscenza dell'anatomia funzionale del muscolo retto dell'addome è fondamentale per l'identificazione di test idonei atti a valutare la forza e la selezione di esercizi da inserire in programmi di allenamento o di riabilitazione¹⁻⁴. Sono stati sviluppati numerosi esercizi per sviluppare la muscolatura addominale, anche se gli studi pubblicati in Letteratura finora mostrano risultati contraddittori circa la loro efficacia⁵⁻⁷. Comunque, gli esercizi tuttora più utilizzati sono i tradizionali curl-up e sit-up. Nel primo, partendo da una posizione supina, il muscolo retto dell'addome flette la colonna vertebrale a livello delle articolazioni dorso-lombari e lombo-sacrali, sollevando da terra solo la parte superiore del tronco. Durante il sit-up, al contrario, dopo una flessione massimale della colonna vertebrale, il muscolo retto dell'addome si contrae in modo isometrico facilitando l'azione dei muscoli flessori dell'anca nel sollevare il soggetto verso la posizione seduta.

Scegliere uno dei due esercizi non è facile, poiché alcuni autori hanno riportato una differente partecipazione del muscolo, come pure alcune controindicazioni^{3, 8, 9} ascrivibili al coinvolgimento dei muscoli flessori dell'anca durante il sit-up, che possono causare iperestensione lombare con sovraccarico funzionale. Dati contrastati su quale sia l'esercizio migliore¹⁰⁻¹³ sono inoltre emersi da studi riguardanti l'elettromiografia (EMG) di superficie¹⁴.

Se la posizione degli arti inferiori possa¹⁵⁻¹⁹ o meno^{10, 20, 21} compromettere la prestazione del muscolo retto dell'addome rimane tuttora argomento di dibattito tra clinici, ricercatori e professionisti del fitness.

Sono stati evidenziati più alti livelli di attivazione nei muscoli addominali durante la fase concentrica rispetto alla fase eccentrica in entrambi gli esercizi^{15-19, 22-25}, senza però un'analisi sistematica confrontando i pattern di attivazione con le differenti fasi del movimento. L'obiettivo di questo studio è di determinare la prestazione del muscolo retto dell'addome durante gli esercizi di curl-up e sit-up con differenti posizioni degli arti inferiori, attraverso l'analisi del movimento e l'EMG di superficie.

Materiali e metodi

Soggetti

Sedici donne volontarie, di età compresa tra 20 e 22 anni, sono state incluse in questo studio. Tutti

Materials and methods

Subjects

Sixteen volunteer female subjects, aged between 20 and 22 years, took part in this study. All subjects were apparently healthy with no history of low back pain or abdominal surgery as determined from a verbal questionnaire given prior to testing and from a physical examination. All subjects had experience performing multiple abdominal exercise protocols. They were all students (mean weight 58.3 ± 5.24 kg, mean height 163.6 ± 4.6 cm, percent of body fat 21.5 ± 1.6) at the University Institute of Motor Science and used to practice sport on average three times a week. Before participation each subject provided written informed consent.

Experimental protocol

Although all subjects were experienced and trained in abdominal exercises a familiarization period was included in the study. Each subject warmed up and stretched individually. The order of testing was counterbalanced during the execution of the two exercises. Each subject, in fact, performed two series of curl-ups on stable surface, one with extended legs and the other with flexed (ca. 90°) legs, hands crossed behind the neck. Each trial consisted of four repetitions, followed by 5 min of rest. The subjects were asked to adhere the lumbar tract as much as possible to the ground in order to avoid or limit hip anteversion movements. During curl-up subjects elevated the trunk by lifting the head and the shoulders such that the scapulae were lifted above the ground without involving the coxofemoral joint (forward movement) and then return to the supine position (backward movement). An external operator verbally beat the time of execution (1 s forward, 1 s backward).

The same protocol was applied for the sit-up exercises. Sit-up, in turn, consists in lifting head and shoulders from the ground up to reach the sitting position (forward); without stopping the subject returns then to the supine position (backward). Even in this case it was necessary to beat the execution time (2 s forward, 2 s backward).

Data sampling

Bilateral kinematic data were collected using a motion analysis system VICON 370 (Video

i soggetti partecipanti erano apparentemente in buona salute, senza storia di dolore lombare o di precedenti interventi chirurgici addominali, in base a questionario verbale consegnato prima dei test e dell'esame fisico. Tutte le 16 donne (peso medio $58,3 \pm 5,24$ kg, altezza media $163,6 \pm 4,6$ cm, percentuale di grasso corporeo $21,5 \pm 1,6$) avevano sperimentato in precedenza diversi protocolli di esercizi addominali, essendo tutte studentesse presso l'Istituto Universitario di Scienze Motorie. Praticavano attività fisica in media tre volte a settimana prima di partecipare allo studio, tutte le partecipanti hanno firmato un consenso informato.

Protocollo sperimentale

Sebbene tutte le partecipanti avessero esperienza e fossero allenate in esercizi addominali i test sono stati preceduti da un periodo di familiarizzazione. Ciascun soggetto ha praticato individualmente riscaldamento e stretching. L'ordine dei test è stato rispettato durante l'esecuzione dei due esercizi. Infatti, ciascuna donna ha effettuato due serie di curl-up su superficie stabile, una con gambe estese e l'altra con gambe flesse (circa 90°), con le mani incrociate dietro al collo. Ciascuna prova consisteva in quattro ripetizioni, seguite da 5 minuti di riposo. Alle partecipanti è stato chiesto di far aderire il tratto lombare il più possibile al pavimento in modo da evitare o limitare i movimenti di anteversione delle anche. Durante il curl-up le partecipanti sollevavano il tronco alzando la testa e le spalle in modo tale che le scapole fossero sollevate dal pavimento senza coinvolgimento dell'articolazione coxofemorale (contrazione concentrica) e quindi ritornavano alla posizione supina (contrazione eccentrica). Un operatore esterno scandiva verbalmente il tempo di esecuzione (1 s avanti, 1 s indietro).

Lo stesso protocollo è stato applicato agli esercizi di sit-up, il quale consiste nell'alzare da terra la testa e le spalle fino a raggiungere la posizione seduta (concentrica); ritornando poi nella posizione supina (eccentrica). Anche in questo caso, è stato necessario scandire il tempo di esecuzione (2 s avanti, 2 s indietro).

Raccolta dati

I dati bilaterali di cinematica sono stati raccolti utilizzando un sistema di analisi del movimento VICON 370 (Video Converter) system (Oxford Metrics, Oxford, UK), che permette la registrazione sincrona delle immagini video. Il sistema consiste di quattro videocamere standard NTSC sincronizzate in modo da identificare le strade spaziali dei marcatori applicati sulla cute in corrispondenza di rile-

Convertor) system (Oxford Metrics, Oxford, UK) that allowed the synchronous record of video data. The system consisted of four standard NTSC videocameras synchronized in order to identify the spatial routes of the markers applied onto the skin in correspondence to relevant anatomical reference points. Video data were recorded at 50 Hz and analog data at 1 000 Hz. The global coordinate axis system was maintained throughout all the trials.

Surface electromyography (EMG) analysis was chosen for its accessibility and performed using a Mega Electronics ME3000P device; this utilized surface electrodes (bipolar, pre-amplified, $r=5$ mm, pregelated, Ag/AgCl), with four independent channels, band pass filtering 20 Hz-500 Hz. The analogue-digital conversion had a precision of 12 bit and sampled the signal at a frequency of 1 000 or 2 000 Hz, according to the operator's decision.

Marker and electrode placement

Ten optical markers were placed bilaterally on each subjects; these were placed in the following points: xiphoid process, navel, symphysis pubis (these three markers recognize the insertions of the upper and lower portions of the rectus abdominis muscle); seventh rib at the anterior and posterior axillar lines, antero-superior iliac spine (SIAS), apex of the iliac crest, greater trochanter, articular rima of the knee, lateral malleolus.

Skin sites were prepared before electrode placement, they were abraded with round paper and cleaned with isopropyl alcohol; 1 electrodes of the ME3000p were placed on the right side of the body. In particular, three electrodes were used for each of the portions of the rectus abdominis muscle, two were placed on its muscular belly, parallel to the fibers' course at a distance of 2 cm and a third electrode was placed away from the testing site in an electrically neutral environment and in this case on the right anterior superior iliac spine of the pelvis. Electrodes were placed on the rectus abdominis 3 cm from the median line, about 6 cm over and beneath the navel, for the superior and inferior portions, respectively.

Data analysis

VICON

This system allowed to study the amplitude variations of two angles along the sagittal plane:

vanti punti anatomici di riferimento. I dati video sono stati registrati a 50 Hz, mentre i dati analogici a 1 000 Hz. Il sistema di coordinate globale è stato mantenuto durante tutte le prove.

L'analisi dell'EMG di superficie è stata scelta per la sua accessibilità ed è stata effettuata utilizzando un apparecchio Mega Electronics ME3000P; con elettrodi di superficie (bipolari, pre-amplificati, $r=5$ mm, pregelificati, Ag/AgCl), con quattro canali indipendenti, band pass filtering 20 Hz-500 Hz. La conversione analogico-digitale aveva una precisione di 12 bit e raccoglieva il segnale alla frequenza di 1 000 o 2 000 Hz, in base alla decisione dell'operatore

Posizionamento di marcatori ed elettrodi

Dieci marcatori ottici sono stati posizionati bilateralmente su ogni soggetto, nei seguenti punti: processo xifoideo, ombelico, sinfisi pubica (questi tre marcatori riconoscevano l'inserzione della porzione superiore e inferiore del muscolo retto dell'addome); settima costa sulla linea ascellare anteriore e posteriore, spina iliaca anteriore-superiore (SIAS), apice della cresta iliaca, grande trocantere, rima articolare del ginocchio, malleolo laterale.

I siti cutanei sono stati preparati prima del posizionamento degli elettrodi, e puliti con alcol isopropilico; gli elettrodi ME3000p sono stati posizionati sul lato destro del corpo. In particolare, tre elettrodi sono stati usati per ciascuna porzione del muscolo retto dell'addome, due sono stati posizionati sul ventre muscolare, paralleli al decorso delle fibre alla distanza di 2 cm e un terzo elettrodo è stato posizionato in una zona del corpo elettricamente neutra e in questo caso sulla spina iliaca anteriore superiore destra della pelvi. Gli elettrodi sono stati posizionati sul muscolo retto dell'addome a 3 cm dalla linea mediana, circa 6 cm sopra e sotto l'ombelico per le porzioni superiore e inferiore, rispettivamente.

Analisi dei dati

VICON

Questo sistema ha permesso di studiare le variazioni di ampiezza di due angoli lungo il piano sagittale: dapprima, l'angolo pelvico, riconosciuto dal segmento che attraversa i marcatori posizionati su SIAS e all'apice della cresta iliaca e da un asse orizzontale di riferimento; secondariamente, l'angolo del tronco, riconosciuto dal segmento che attraversa i marcatori posizionati sulle linee ascellari anteriore e posteriore e dal segmento che attraversa i marcatori posizionati su SIAS e all'apice della cresta iliaca.

firstly, the pelvic angle, recognized by the segment that crosses the markers placed on the SIAS and on the apex of the iliac crest, and by a reference horizontal axis; secondly, the trunk angle, recognized by the segment crossing the markers placed on the anterior and posterior axillar lines and by the segment that crosses the markers placed on the SIAS and the apex of the iliac crest.

It was also possible to evaluate the time variations of the distance existent between the markers placed on the xiphoid process of the sternum and on the navel and between the latter and the symphysis pubis. This variation in the distance was associated to the modification of the length of the superior and inferior portions of the rectus abdominis muscles, respectively.

ELECTROMYOGRAPHY

The activity of rectus abdominis muscle was analyzed in synchrony with the video-data. Unprocessed lines of the EMG were aligned according to the activation intervals of the muscles monitored, with an evaluation error of about 0.2%.

A first interpretation of the EMG data was made on the unprocessed signal, particularly for the evaluation of the activation intervals. The quantitative evaluation of the muscular electrical activity was performed along time, specifically, the amplitude of the rectified and integrated signal was examined (integration interval of 80 ms), and the value related to time was calculated in order to compare exercises of different length (curl-up and sit-up).

Statistical analysis

The quantitative analysis of the EMG signal (\sqrt{V}) for each subject was obtained for the forward and backward phases and for the total length of each exercise (forward phase plus backward phase), for the URA and LRA portions. Means and standard deviations were calculated in all subjects for each exercise phases, for both portions of the muscle and for the four repetitions of each exercises for all subjects. A paired t test of Student was calculated to assess differences between the integrated and normalized EMG data for URA and LRA muscle; obtained during both exercises in each of the two positions. The significant level was set a $P < 0.05$. All statistical analysis were performed using the SPSS 10 software package.

È stato inoltre possibile valutare le variazioni di tempo della distanza esistente tra i marcatori posizionati sul processo xifoideo dello sterno e sull'ombelico e tra quest'ultimo e la sinfisi pubica. Questa variazione nella distanza è stata associata alle modificazioni in lunghezza delle porzioni superiore e inferiore dei muscoli retti dell'addome, rispettivamente.

ELETTROMIOGRAFIA

L'attività del muscolo retto dell'addome è stata analizzata in sincrono con i dati video. Il segnale non elaborato dall'EMG è stato elaborato in accordo con gli intervalli di attivazione del muscolo monitorizzato, con un errore di valutazione di circa 0,2%.

Una prima interpretazione dei dati EMG è stata fatta sul segnale non elaborato, particolarmente per la valutazione degli intervalli di attivazione. La valutazione quantitativa dell'attività elettrica muscolare è stata effettuata in funzione del tempo, specificatamente è stata esaminata l'ampiezza del segnale rettificato e integrato (intervallo di integrazione di 80 ms) e il valore relativo al tempo è stato calcolato per confrontare esercizi di diversa durata (curl-up e sit-up).

Analisi statistica

L'analisi quantitativa del segnale EMG (\sqrt{V}) per ciascun soggetto è stata effettuata per le fasi concentrica ed eccentrica e per la complessiva lunghezza di ciascun esercizio (fase in avanti più fase indietro), per le porzioni muscolo retto superiore dell'addome (URA) e muscolo retto inferiore dell'addome (LRA). Sono state calcolate le medie e le deviazioni standard in tutti i soggetti per ciascuna fase dell'esercizio, per entrambe le porzioni di muscolo e per le quattro ripetizioni di ciascun esercizio. È stato utilizzato il paired t test di Student per valutare le differenze tra i dati EMG integrati e normalizzati per il muscolo URA e LRA; ottenuti durante entrambi gli esercizi in ciascuna delle due posizioni. Il livello di significatività è stato posto a $P < 0,05$. Tutte le analisi statistiche sono state effettuate utilizzando il software SPSS 10.

Risultati

Vicon

CURL-UP

Considerando la variazione di lunghezza delle porzioni superiore (Figura 1A) e inferiore (Figura 1B) del muscolo retto dell'addome, sono state iden-

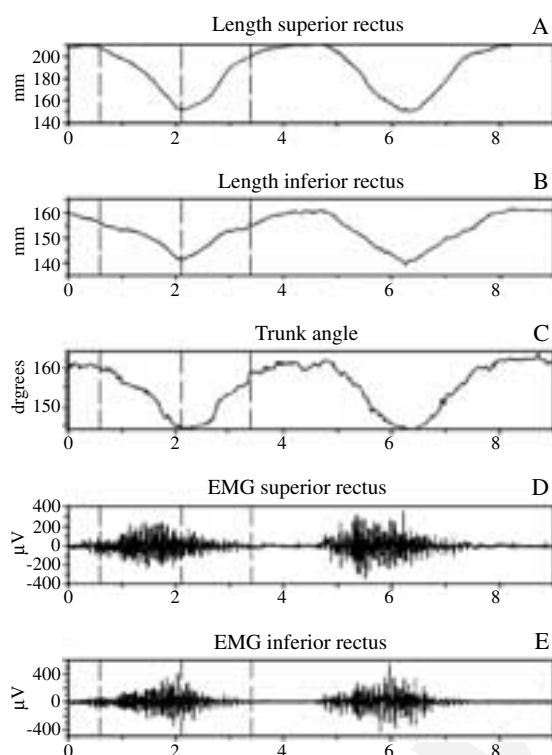


Figure 1.—Curl-up. The figure illustrates the length variation of the URA (A) and of the LRA (B); the variation of the trunk angle (C); the EMG line for the URA (D) and the LRA (E). The Y axis expresses the time in seconds. Vertical dotted lines represent the different phases of the movement.

Figura 1. — Curl-up. La figura illustra la variazione di lunghezza di URA (A) e di LRA (B); la variazione dell'angolo del tronco (C); la linea EMG per URA (D) e per LRA (E). L'asse Y esprime il tempo in secondi. Le linee tratteggiate verticali rappresentano le differenti fasi del movimento.

Results

Vicon

CURL-UP

Considering the length variation of the upper (Figure 1A) and lower (Figure 1B) portions of the rectus abdominis, two phases were identified: the first one, corresponding to the forward movement, goes from the beginning of the reduction in the muscular length until it reaches the minimal value; the second one, associated to the backward movement, goes from the end of the first phase until the recovery of the original length. This subdivision is valid for both portions of the muscle that show similar performance. The percentage of shortening varies, for the upper rectus

TABLE I.—Variation in the length of the rectus abdominis (in %) – Curl-up and sit-up.

TABELLA I. — *Variazione in lunghezza del muscolo retto dell'addome (in %) – Curl-up e sit-up.*

Position	Portion	%	P
<i>Curl-up</i>			
Flexed legs	URA	-35(±6)	P<0.01
	LRA	-17(±8)	
Extended legs	URA	-33(±6)	P<0.01
	LRA	-15(±5)	
<i>Sit-up</i>			
Flexed legs	URA	-51(±7)	P<0.01
	LRA	-34(±9)	
Extended legs	URA	-49(±7)	P<0.01
	LRA	-36(±10)	

TABLE II.—Comparison of the initial angle of the pelvis (in degrees) – Curl-up and sit-up.

TABELLA II. — *Confronto dell'angolo iniziale pelvico (in gradi) – Curl-up e sit-up.*

Position	Portion	%	P
<i>Curl-up</i>			
Flexed legs	Initial angle	69(±9)	P<0.01
	Extended legs	Final angle	
<i>Sit-up</i>			
Flexed legs	Initial angle	68(±10)	P<0.01
	Extended legs	Final angle	

tificate due fasi: la prima corrispondente al movimento concentrico, che va dall'inizio della riduzione nella lunghezza muscolare fino al raggiungimento del valore minimo; la seconda, associata al movimento eccentrico, va dalla fine della prima fase fino al recupero della lunghezza originale. Questa suddivisione è valida per entrambe le porzioni di muscolo poiché esse presentano prestazioni simili. La percentuale di accorciamento varia per URA del 33-35% rispetto alla lunghezza iniziale, mentre per LRA del 15-17%. Tale differenza è risultata statisticamente significativa negli esercizi effettuati sia a gambe flesse che estese, mostrando valori simili (Tabella I).

La posizione a gambe flesse influisce significativamente solo sulla lunghezza iniziale di LRA con una riduzione del 8,3% rispetto ai risultati osservati a gambe estese. Comunque, questa differenza non ha avuto conseguenze sulla percentuale di accorciamento della porzione inferiore del muscolo. Non sono state osservate variazioni nell'ampiezza dell'angolo pelvico durante l'esecuzione dell'esercizio. L'ampiezza iniziale di questo angolo era di almeno 8° maggiore a gambe flesse rispetto alle gam-

TABLE III.—Variation of the angle of the trunk (in degrees) – Curl-up and sit-up.

TABELLA III. — *Variazione dell'angolo del tronco (in gradi) – Curl-up e sit-up.*

Position	Angle	Degree
<i>Curl-up</i>		
Flexed legs	Initial angle	176(±13)
	Final angle	146(±9)
	Variation	-30(±8)
Extended legs	Initial angle	180(±16)
	Final angle	152(±10)
	Variation	-27(±11)
<i>Sit-up</i>		
Flexed legs	Initial angle	171(±16)
	Final angle	121(±16)
	Variation	-49(±10)
Extended legs	Initial angle	178(±16)
	Final angle	127(±16)
	Variation	-51(±12)

abdominis (URA) of 33-35% respect to the initial length while for the lower rectus abdominis (LRA) of the 15-17%. Such a difference was significant in the exercises performed with either flexed and extended legs, showing similar values (Table I).

The flexed legs position affects significantly only the initial length of the LRA with a decrease of 8.3% with respect to the results observed with extended legs. However, this difference had not consequences upon the percentage of shortening of the inferior portion of the muscle. No variation in the amplitude of the pelvic angle was observed during the execution of the exercise. The initial amplitude of this angle was almost 8° higher with flexed legs with respect to extended legs (Table II). The trunk angle showed a mean reduction of the amplitude of about 30° with flexed legs and 27° with extended legs (Table III and Figure 1C): in all the subjects it began with the beginning of the first phase and reached a minimal value at the end of the phase.

SIT-UP

Three phases were recognized during sit-up (Figure 2A). The first phase began with shortening of the muscle until it reached a minimal value; the second phase include an interval time in which the value remained rather constant; the third phase began with an increase of the muscle length and finished when the muscle reached its original length. All the first phase and half of the second one corresponded to the forward movement; the remaining part of

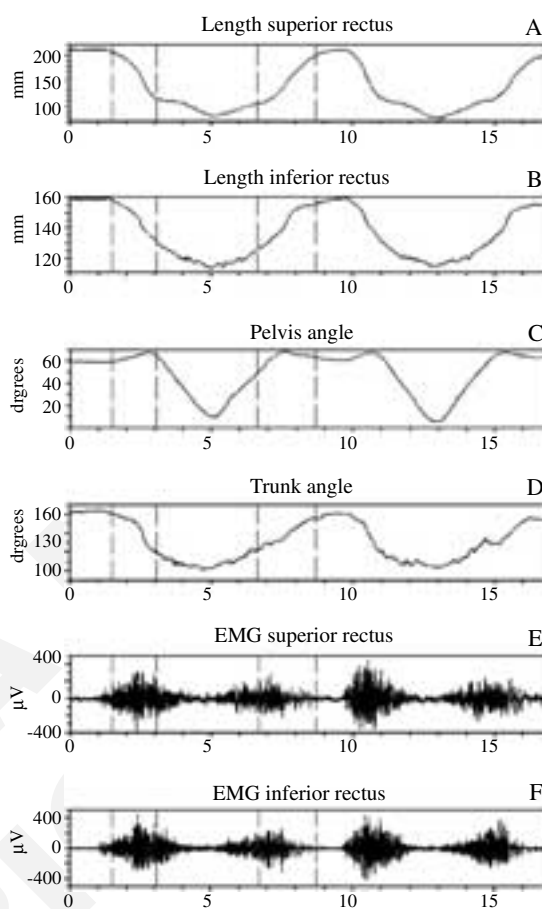


Figure 2.—Sit-up. The figure illustrates the length variation of the URA (A) and of the LRA (B); the variation of the pelvis angle (C) and the trunk angle (D); the EMG line for the URA (E) and the LRA (F). The Y axis expresses the time in seconds. Vertical dotted lines represent the different phases of the movement.

Figura 2. — Sit-up. La figura illustra la variazione di lunghezza di URA (A) e di LRA (B); la variazione dell'angolo pelvico (C); il segnale EMG per URA (E) e per LRA (F). L'asse Y esprime il tempo in secondi. Le linee tratteggiate verticali rappresentano le differenti fasi del movimento.

be estese (Tabella II). L'angolo del tronco ha mostrato una riduzione media di circa 30° con le gambe flesse e 27° con le gambe estese (Tabella III e Figura 1C): in tutti i soggetti l'angolo è stato considerato dall'inizio della prima fase e fino al raggiungimento del valore minimo al termine della stessa fase.

SIT-UP

Tre fasi sono state riconosciute durante il sit-up (Figura 2A). La prima fase inizia con l'accorciamento del muscolo fino al raggiungimento del valo-

the second phase and the whole third phase corresponded to the backward movement (Figure 2B). The LRA showed a similar performance, slightly out of phase with respect to the URA. In fact, it reached the minimal length just after the end of the first phase and then started again to lengthen just before the beginning of the third phase.

The shortening of the URA, as a percentage of the initial length, was higher with respect to the LRA (49-51% and 34-36%, respectively) in the exercises performed either with extended and flexed legs (Table I). Variations induced by the position of the legs on the initial length of the LRA as well as on the initial pelvic angle were the same described for curl-up.

The pelvic angle at the beginning of the movement showed a reduction of about 5° (contemporarily the SIAS shifted backward of about 2 cm). Shortly before the end of the first phase the pelvis inverted its movement and the angle began to close, reaching a minimal value during the middle of the second phase, when the subject reached the sitting position. Together with the beginning of the backward movement the angle began to increase and reached the initial value at the end of the third phase (Figure 2C). The mean range of amplitude variation was 65°.

The trunk angle showed a decrease in the amplitude of about 49° with flexed legs and about 51° with extended legs (Table III and Figure 2D) that began with the forward movement and reached the minimal value towards the end of the first phase. During the second phase, the angle remained rather constant (with the subject in the sitting position) and showed a slight increase contemporary to the increase in length of the inferior portion of the rectus abdominis. At the end of the third phase it returned again to the initial value.

EMG

The unprocessed EMG signal displayed a characteristic shape in all subjects and in both portions of the muscle that changes according to the exercise. Curl-up showed in fact a continuous signal from the beginning of the forward phase until the end of the backward phase (Figures 1D, E). While sit-up, showed two different parts of the signal, one related to the forward phase and the other one to the backward phase, even if the movement was always continuous (Figures 2E, F).

TABLE IVA.—EMG. Comparison between curl-up and sit-up.

TABELLA IVA. — EMG. Confronto tra curl-up e sit-up.

Exercise and position	Portion	Mean (μ V)	P
Curl-up flexed legs	URA	497(\pm 296)	NS
Sit-up flexed legs	URA	495(\pm 210)	
Curl-up flexed legs	LRA	345(\pm 135)	P<0.05
Sit-up flexed legs	LRA	440(\pm 160)	
Curl-up extended legs	URA	475(\pm 262)	NS
Sit-up extended legs	URA	484(\pm 239)	
Curl-up extended legs	LRA	351(\pm 111)	P<0.05
Sit-up extended legs	LRA	427(\pm 157)	

Mean values of EMG signal in μ V, rectified integrated, and normalized with respect to the time from four repetitions of each subject. NS: not significant.

re minimo; la seconda fase include un intervallo di tempo nel quale il valore rimane pressoché costante; la terza fase inizia con un aumento della lunghezza muscolare e finisce quando il muscolo raggiunge la sua lunghezza originale. La prima fase e metà della seconda corrispondono al movimento concentrico; la rimanente parte della seconda fase e tutta la terza fase corrispondono al movimento eccentrico (Figura 2B). LRA ha mostrato una prestazione simile, leggermente fuori fase rispetto a URA. Infatti, esso raggiunge la lunghezza minima appena dopo il termine della prima fase e quindi inizia nuovamente ad allungarsi appena prima dell'inizio della terza fase.

L'accorciamento di URA, in termini di percentuale della lunghezza iniziale, era maggiore rispetto a LRA (49-51% e 34-36%, rispettivamente) negli esercizi effettuati sia a gambe estese che a gambe flesse (Tabella I). Variazioni indotte dalla posizione delle gambe sulla lunghezza iniziale di LRA come pure sull'angolo pelvico iniziale erano le stesse di quelle descritte per il curl-up.

L'angolo pelvico all'inizio del movimento mostrava una riduzione di circa 5° (contemporaneamente SIAS si sposta indietro di circa 2 cm). Poco prima del termine della prima fase, la pelvi invertiva il suo movimento e l'angolo iniziava a chiudersi, raggiungendo un valore minimo a metà della seconda fase, quando il soggetto raggiungeva la posizione seduta. Insieme all'inizio del movimento indietro, l'angolo iniziava ad aumentare e raggiungeva il valore iniziale al termine della terza fase (Figura 2C). Il range medio della variazione di ampiezza era di 65°.

L'angolo del tronco ha evidenziato una riduzione dell'ampiezza di circa 49° a gambe flesse e di circa 51° a gambe estese (Tabella III e Figura 2D), che iniziava con il movimento concentrico e rag-

TABLE IVB.—Comparison of the forward and backward phases in curl-up and sit-up

TABELLA IVB. — *EMG. Confronto delle fasi in avanti e indietro nel curl-up e sit-up.*

Exercise and position	Portion	Phase	Mean (μ V)	P
Curl-up flexed legs	URA	Forward	306(\pm 173)	NS
Sit-up flexed legs	URA	Forward	272(\pm 114)	
Curl-up flexed legs	URA	Backward	191(\pm 126)	NS
Sit-up flexed legs	URA	Backward	222(\pm 100)	
Curl-up flexed legs	LRA	Forward	205(\pm 75)	NS
Sit-up flexed legs	LRA	Forward	247(\pm 85)	
Curl-up flexed legs	LRA	Backward	140(\pm 65)	P<0.05
Sit-up flexed legs	LRA	Backward	193(\pm 82)	
Curl-up extended legs	URA	Forward	302(\pm 158)	NS
Sit-up extended legs	URA	Forward	266(\pm 130)	
Curl-up extended legs	URA	Backward	173(\pm 116)	NS
Sit-up extended legs	URA	Backward	218(\pm 117)	
Curl-up extended legs	LRA	Forward	217(\pm 72)	NS
Sit-up extended legs	LRA	Forward	243(\pm 85)	
Curl-up extended legs	LRA	Backward	134(\pm 48)	P<0.05
Sit-up extended legs	LRA	Backward	184(\pm 80)	

Mean values of EMG signal in μ V, rectified integrated, and normalized with respect to the time from four repetitions of each subject. NS: not significant.

TABLE IVC.—Comparison of the forward and backward phases during the same exercise.

TABELLA IVC. — *EMG. Confronto della fase forward e backward durante lo stesso esercizio.*

Exercise and position	Portion	Phase	Mean (μ V)	P
Curl-up flexed legs	URA	Forward	306(\pm 173)	P<0.01
Curl-up flexed legs	URA	Backward	191(\pm 126)	
Curl-up flexed legs	LRA	Forward	205(\pm 75)	P<0.01
Curl-up flexed legs	LRA	Backward	140(\pm 65)	
Curl-up extended legs	URA	Forward	302(\pm 158)	P<0.01
Curl-up extended legs	URA	Backward	173(\pm 116)	
Curl-up extended legs	LRA	Forward	217(\pm 72)	P<0.01
Curl-up extended legs	LRA	Backward	134(\pm 48)	
Sit-up flexed legs	URA	Forward	272(\pm 114)	p<0.01
Sit-up flexed legs	URA	Backward	222(\pm 100)	
Sit-up flexed legs	LRA	Forward	247(\pm 85)	p<0.01
Sit-up flexed legs	LRA	Backward	193(\pm 82)	
Sit-up extended legs	URA	Forward	266(\pm 130)	p<0.01
Sit-up extended legs	URA	Backward	218(\pm 117)	
Sit-up extended legs	LRA	Forward	243(\pm 85)	p<0.01
Sit-up extended legs	LRA	Backward	184(\pm 80)	

Mean values of EMG signal in μ V, rectified integrated, and normalized with respect to the time from four repetitions of each subject. NS: not significant.

CURL-UP

Coupling the graphs of the URA and LRA lengths and the related EMG signal (Figures 1D, E) it was possible to note that the end of the first phase on the EMG corresponded to the maximal shortening of the two portions of the muscle and to the maximal closing value of the trunk angle.

SIT-UP

When analyzing the EMG signal of the two muscular portions together with the graph of their shortening it was possible to divide the EMG graph into three phases (Figures 2E, F). The muscle activation began about 0.1 second before the beginning of the first phase, continued during the second phase and reached minimal values in an interval corresponding to the minimal value of the trunk angle (subject in the sitting position). The muscle activation, as it has showed in the EMG signal, started again in the middle of the second phase ending with the end of the third phase (thus reaching the initial position). The EMG activity of the two portions of the rectus abdominis appeared synchronized.

There were significant differences for the LRA when comparing the EMG signals recorded in

giungeva i valori minimi verso la fine della prima fase. Durante la seconda fase, l'angolo rimaneva pressoché costante (con il soggetto in posizione seduta) e mostrava un lieve incremento contemporaneamente all'aumento in lunghezza della porzione inferiore del muscolo retto addominale. Al termine della terza fase, esso ritornava nuovamente al valore iniziale.

EMG

Il segnale EMG non elaborato ha mostrato una caratteristica forma in tutti i soggetti e in entrambe le porzioni di muscolo, che cambiava con l'esercizio. Il curl-up ha evidenziato, infatti, un segnale continuo dall'inizio della fase concentrica fino al termine della fase eccentrica (Figure 1D, E). Al contrario il sit-up ha mostrato due differenti parti del segnale, una relativa alla fase concentrica e l'altra relativa alla fase eccentrica, anche se il movimento era sempre continuo (Figure 2E, F).

CURL-UP

Confrontando i grafici della lunghezza del URA e del LRA e il relativo segnale EMG (Figure 1D, E), è stato possibile notare che la fine della prima fase dell'EMG corrispondeva all'accorciamento massimale delle due porzioni del muscolo e al massimo valore di chiusura dell'angolo del tronco.

curl-up and sit-up exercise. The LRA showed a higher activation of 22-28% in sit-up (Table IVA). When comparing separately the phases of each exercise (forward in curl-up *vs* forward in sit-up; backward in curl-up *vs* backward in sit-up), such difference was significant only during the backward movement (Table IVB).

There were significant differences also when comparing the forward and backward phases of a single exercise (Table IVC). In curl-up the URA showed a greater activity of 67% whereas the LRA showed a percentage 55% higher, during the forward movement with respect to the backward one. In sit-up the percentage difference between forward and backward was less evident, *i.e.* 22% for the URA respect to 28-32% for the LRA.

The comparison of the different position of the legs (flexed legs in curl-up *vs* extended legs in curl-up; flexed legs in sit-up *vs* extended legs in sit-up) did not show any statistical significant different in the EMG signal of both muscular portions, either when comparing the exercises or when comparing the different phases.

Discussion

The shortening of the rectus abdominis during the forward movement of curl-up allowed to analyze the first part of the electromyographic signal as a phase of the concentric activity of the muscle. This movement was followed by a progressive lengthening of the muscle that characterized the eccentric phase of the backward movement.²⁴

In contrast to the results reported by Ricci²⁶ at the beginning of the first phase, the pelvic angle did not show variations associated to antiversion movements, nor any lengthening of the rectus abdominis related to an eccentric contraction in response to lumbar hyperextension. In the present study the subjects were all trained, and they were most likely able to stabilize the lumbar tract as requested. Moreover a stable surface was always used: in fact, it has been demonstrated that performing the exercise on different surfaces (stable or unstable) varies the level of muscle activity and the stabilization of the spine and the whole body.²⁷⁻³⁰

The trunk angle reached its maximal closure contemporarily to the maximal shortening of the two portions of the rectus abdominis at the end of the first phase. This demonstrated that the

SIT-UP

Analizzando il segnale EMG delle due porzioni muscolari insieme al grafico del loro accorciamento, è stato possibile dividere il grafico EMG in tre fasi (Figure 2E, F). L'attivazione muscolare inizia 0,1 secondi prima dell'inizio della prima fase, continuava durante la seconda fase e raggiungeva i valori minimi in un intervallo corrispondente al valore minimo dell'angolo del tronco (soggetto in posizione seduta). L'attivazione muscolare, come evidenziato dal segnale EMG, iniziava nuovamente a metà della seconda fase terminando con la fine della terza fase (raggiungendo così la posizione iniziale). L'attività EMG delle due porzioni del muscolo retto addominale è apparsa sincronizzata.

*Vi sono state differenze statisticamente significative per LRA, confrontando i segnali EMG registrati nell'esercizio di curl-up e sit-up. LRA ha mostrato una maggiore attivazione del 22-28% nel sit-up (Tabella IVA). Confrontando separatamente le fasi di ciascun esercizio (concentrico nel curl-up *vs* concentrico nel sit-up; eccentrico nel curl-up *vs* eccentrico nel sit-up), tale differenza era statisticamente significativa solo durante il movimento eccentrico (Tabella IVB).*

Vi sono state, inoltre, differenze statisticamente significative, confrontando le fasi concentrica ed eccentrica di un singolo esercizio (Tabella IVC). Nel curl-up, URA ha mostrato una maggior attività del 67%, mentre LRA del 55%, durante il movimento concentrico, rispetto al movimento eccentrico. Nel sit-up, la differenza percentuale tra concentrico ed eccentrico era meno evidente, in particolare 22% per URA rispetto a 28-32% per LRA.

*Il confronto della differente posizione delle gambe (gambe flesse nel curl-up *vs* gambe estese nel curl-up; gambe flesse nel sit-up *vs* gambe estese nel sit-up) non ha evidenziato alcuna differenza statisticamente significativa nel segnale EMG in entrambe le porzioni muscolari, sia confrontando gli esercizi, sia confrontando le differenti fasi.*

Discussione

L'accorciamento del muscolo retto dell'addome durante il movimento in avanti del curl-up ci ha permesso di analizzare la prima parte del segnale elettromiografico come una fase dell'attività concentrica del muscolo. Questo movimento è stato seguito da un progressivo allungamento del muscolo che ha caratterizzato la fase eccentrica del movimento indietro²⁴.

In contrasto con quanto riportato da Ricci²⁶ all'inizio della prima fase, l'angolo pelvico non ha subito variazioni associate ai movimenti di antiversione.

beginning of the backward movement and the lengthening of the muscle (eccentric phase) occur at the same time.

In sit-up, the first part of the signal of the URA related to the forward movement showed a phase of concentric activity while the second part of the signal is an expression of an isometric phase. The LRA showed similar behavior, with a longer concentric phase and a lower isometric activity; this portion of the muscle stopped its shortening with a minimal myoelectric activity; the beginning of the eccentric phase of the LRA showed a restarting of myoelectric activity

The interruption of the EMG signal observed between the end of the forward phase and the beginning of the backward phase (observed in sit-up but not in curl-up) may be ascribed to the diminution in the moment of gravitational force of the trunk as the subject approached the sitting position. As a consequence, when the moment became null the rectus abdominis stopped to contract, as being not requested to stabilize the load of the trunk.

As in curl-up, also in sit-up no antiverision of the pelvis or lengthening of the rectus abdominis was detected at the beginning of the movement, while the pelvic angle increased about 5°. Contemporarily, the SIAS shifted backwards of about 2 cm and showed an initial movement of pelvic retroversion that inverted the movement when the hip flexors contracted in order to bring the subject to the sitting position. In fact, the variations of the pelvic and trunk angles when the rectus abdominis stopped shortening are to be ascribed to the concentric action of the hip flexors. These results were supported by Kendall²⁰ who reported that subjects affected by paralysis of rectus abdominis can lift head and shoulders but are unable to reach the sitting position.

Leg position affected the initial length of the LRA which resulted shortened with flexed legs while the pelvis was retroversed. In the subjects considered in this study this fact did not have any effect upon the total shortening of the muscle or upon the EMG signal. However, the position with flexed legs may allow subjects with abdominal weakness to better control the pelvis avoiding a possible antiverision with an overload of the lumbar tract.^{3, 18}

The electrical activity of the LRA increases between 22-28%, in sit-up with respect to curl-up.¹ In the present study only the LRA showed significantly higher EMG activity in the two exer-

ne, né alcun allungamento del muscolo retto addominale correlata alla contrazione eccentrica in risposta all'iperestensione lombare. Nel presente studio, le partecipanti erano tutte ben allenate ed erano in grado con tutta probabilità di stabilizzare il tratto lombare come richiesto. Inoltre, abbiamo sempre usato una superficie stabile: infatti, è stato dimostrato che effettuare l'esercizio su differenti superfici (stabile o instabile) varia il livello di attività muscolare e la stabilizzazione della colonna vertebrale e di tutto il corpo²⁷⁻³⁰.

L'angolo del tronco ha raggiunto la sua massima chiusura contemporaneamente al massimo accorciamento delle due porzioni del muscolo retto dell'addome. Ciò dimostra che l'inizio del movimento indietro e l'allungamento del muscolo (fase eccentrica) si verificano nello stesso momento.

Nel sit-up, la prima parte del segnale di URA correlato al movimento in avanti ha evidenziato una fase di attività concentrica, mentre la seconda parte del segnale è un'espressione di una fase isometrica. LRA ha mostrato un comportamento simile, con una più lunga fase concentrica e una ridotta attività isometrica; questa porzione di muscolo ha interrotto il suo accorciamento con una minima attività mioelettrica; l'inizio della fase eccentrica di LRA ha mostrato una ripresa di attività mioelettrica.

L'interruzione del segnale EMG osservato tra la fine della fase in avanti e l'inizio della fase indietro (osservata nel sit-up ma non nel curl-up) potrebbe essere ascrivibile alla diminuzione nel momento della forza gravitazionale del tronco quando il soggetto si avvicina alla posizione seduta. Come conseguenza, quando il momento diventa nullo, il muscolo retto dell'addome smette di contrarsi, non essendo richiesto per stabilizzare il carico del tronco.

Come nel curl-up, anche nel sit-up, non abbiamo evidenziato antiverisione della pelvi o allungamento del muscolo retto dell'addome all'inizio del movimento, mentre l'angolo pelvico è aumentato di circa 5°. Contemporaneamente, la SIAS si è spostata indietro di circa 2 cm e ha mostrato un iniziale movimento di retroversione pelvica che ha invertito il movimento quando i muscoli flessori dell'anca si sono contratti per portare il soggetto in posizione seduta. Infatti, le variazioni degli angoli pelvico e del tronco quando il muscolo retto dell'addome smette di accorciarsi, sono da ascrivere all'azione concentrica dei muscoli flessori dell'anca. I risultati di questo studio sono supportati da Kendall²⁰, il quale ha riportato che i soggetti affetti da paralisi del muscolo retto addominale possono sollevare la testa e le spalle ma non sono in grado di raggiungere la posizione seduta.

cises considered: this might be related to different percentage of shortening of the two portions of the muscle, shifting from curl-up to sit-up. Why such a higher activity of the LRA resulted significant only in the backward phase may be due to the different mechanical conditions. During the forward movement in sit-up the greater shortening recorded in the LRA with respect to curl-up is explained by favorable mechanical conditions (the subject approaches the sitting position and the electrical activity decreases). During the backward movement in the two different exercises, conversely, the LRA works in unfavorable mechanical conditions (isometric and eccentric contraction) and the lengthening of the muscle showed a statistical significant difference in the mioelectrical activity. In addition, the forward movement of the trunk takes advantage of the inertia acquired during the lifting up, while during the backward movement the rectus abdominis is involved from the beginning in order to contrast the moment of force of the trunk's load.

There was a statistical significant differences when comparing EMG signal of LRA and URA recorded during the forward and backward phases of the same exercise. Several authors have reported a higher activation of the abdominal muscles during the forward phase of sit-up exercises with respect to the backward phase.^{11, 12, 14, 15, 17, 22, 26, 30, 31} Andersson *et al.*¹ reported that, during curl-up and sit-up exercises EMG signal of abdominal muscles is increased of about 50% in the forward phase with respect to the backward phase. In the present study it was possible to quantify this rate. In particular, in curl-up with flexed legs the URA showed an amplitude EMG signal of about 61.5% during the concentric phase with respect to the eccentric one, and the LRA showed similar values with a percentage of about 59.4% and the same exercise performed with extended legs showed a similar performance for the URA, 63.5% and LRA 61.8%. In sit-up, both with flexed and extended legs, this percentage decreases of about 22% for URA and 32% for the LRA. A possible explanation may be the different muscle recruitment during the concentric, isometric and eccentric contraction.^{6, 21}

During the eccentric contraction the activation levels are less than during concentric contraction because a lower number of motor units are recruited even if they are more intensively

La posizione delle gambe interessa la lunghezza iniziale di LRA che risulta accorciato con le gambe flesse mentre la pelvi è retroversa.

Nei soggetti considerati nel presente studio ciò non ha sortito alcun effetto sull'accorciamento totale del muscolo o sul segnale EMG. Comunque, la posizione a gambe flesse può permettere ai soggetti con debolezza addominale di controllare meglio la pelvi, evitando una possibile antiversione con sovraccarico del tratto lombare^{3, 18}.

L'attività elettrica di LRA aumenta del 22-28% nel sit-up rispetto al curl-up¹. Nel presente studio, solo LRA ha mostrato una attività EMG significativamente aumentata nei due esercizi considerati: ciò potrebbe essere dovuto a differenti percentuali di accorciamento delle due porzioni del muscolo, passando dal curl-up al sit-up. La maggior attività di LRA statisticamente significativa solo nella fase indietro potrebbe essere dovuta a differenti condizioni meccaniche. Durante il movimento in avanti nel sit-up il maggior accorciamento registrato in LRA rispetto al curl-up è spiegato da condizioni meccaniche favorevoli (il soggetto raggiunge la posizione seduta e l'attività elettrica si riduce). Durante il movimento indietro nei due differenti esercizi, al contrario, LRA lavora in condizioni meccaniche sfavorevoli (contrazione isometrica ed eccentrica) e l'allungamento del muscolo mostra una differenza statisticamente significativa in termini di attività mioelettrica. Inoltre, il movimento in avanti del tronco si avvantaggia dall'inerzia acquisita durante la fase di innalzamento, mentre durante il movimento indietro il muscolo retto dell'addome è coinvolto dall'inizio per contrastare il movimento di forze del carico sul tronco.

*Vi sono state differenze statisticamente significative confrontando il segnale EMG di LRA e URA registrati durante le fasi in avanti e indietro dello stesso esercizio. Diversi autori hanno riportato una più alta attivazione dei muscoli addominali durante la fase in avanti degli esercizi di sit-up rispetto alla fase indietro^{11, 12, 14, 15, 17, 22, 26, 30, 31}. Andersson *et al.*¹ hanno riportato che, durante gli esercizi di curl-up e sit-up il segnale EMG dei muscoli addominali è incrementato di circa il 50% nella fase in avanti rispetto alla fase indietro. Nel presente studio, è stato possibile quantificare questa percentuale. In particolare, nel curl-up a gambe flesse, URA ha mostrato un'ampiezza del segnale EMG di circa il 61,5% durante la fase concentrica rispetto a quella eccentrica, e LRA ha mostrato valori simili con una percentuale di circa il 59,4% e lo stesso esercizio effettuato a gambe estese una prestazione simile per URA, 63,5% e LRA 61,8%. Nel sit-up, sia a gambe flesse che a gambe estese, tale percentuale scende di*

stressed. In contrast the isometric contraction has an intermediate activation level between the concentric and the eccentric phase. In sit-up, the isometric phase resulted equally present at the end of the concentric phase and reaching the sitting position and at the beginning of the backward phase and the beginning of the eccentric phase. The EMG signal recorded during these isometric phases would therefore flatten the differences between the forward and backward phases.

No significant differences were found in the activity of the rectus abdominis when varying the legs position. Although the literature reported conflicting results^{4, 11, 12, 15, 19, 22, 31} about this matter, several authors agreed with these conclusions.^{1, 16, 23} This may be based on the different ways of processing the EMG signal as well as on the different experimental protocols used. This finding support the evidence that both curl-up and sit-up correctly performed require similar effort of the rectus abdominis muscle, while the involvement of the hip flexors is necessary only for completing the sit-up.

The present study has allowed to evaluate the different performance of the two portions of the rectus abdominis and to identify the different conditions of muscular contraction (concentric, isometric, eccentric). This was possible by associating the motion analysis of the single skeletal elements involved in curl-up and sit-up exercises with the EMG data.

The quantitative evaluation of the EMG data showed a greater EMG activity of the LRA in sit-up (backward phase) with respect to curl-up. The URA did not show significant differences of its activity between the two exercises. The different types of muscle performance in the two exercises should be considered during training sessions of competitive athletes. In fact, it is well known that training on a specific contraction regime may improve the muscular performance under that type of regime.³² Moreover, performing endurance test should be considered since fatigued abdominal muscles are compensated by hip flexors. Adequate muscle tone in the abdominal area is undoubtedly important in performing every day tasks and in sport activities; however, one should be cautious when beginning abdominal training and start with exercises such as curl-up and sit-up. Sit-up provides the strengthening of LRA, thus positively enhancing spinal and pelvic stabilization and increasing intrabdominal

circa il 22% per URA e 32% per LRA. Una possibile spiegazione potrebbe essere il differente reclutamento muscolare durante la contrazione concentrica, isometrica ed eccentrica^{6, 21}.

Durante la contrazione eccentrica, i livelli di attivazione sono ridotti rispetto alla contrazione concentrica a causa di un minor numero di unità motorie reclutate anche se sottoposte a stress più intenso. Al contrario, la contrazione isometrica ha un'attivazione intermedia tra la fase concentrica e quella eccentrica. Nel sit-up, la fase isometrica è risultata ugualmente presente al termine della fase concentrica, raggiungendo la posizione seduta, all'inizio della fase in avanti e all'inizio della fase eccentrica. Il segnale EMG registrato durante queste fasi isometriche pertanto smorza le differenze tra le fasi in avanti e indietro.

Non sono emerse differenze statisticamente significative in termini di attività del muscolo retto dell'addome in base alla variazione della posizione delle gambe. Sebbene i risultati disponibili in Letteratura siano contrastanti^{4, 11, 12, 15, 19, 22, 31}, diversi autori concordano con le nostre conclusioni^{1, 16, 23}. Ciò potrebbe essere dovuto alla maniera differente di elaborare il segnale EMG, come pure ai diversi protocolli sperimentali utilizzati. Questi dati supportano l'evidenza che sia il curl-up che il sit-up correttamente effettuati richiedano uno sforzo simile del muscolo retto addominale, mentre il coinvolgimento dei muscoli flessori dell'anca è necessario solo per completare il sit-up.

Il presente studio ha permesso di valutare la diversa prestazione delle due porzioni di muscolo retto dell'addome e di identificare le differenti condizioni di contrazione muscolare (concentrica, isometrica, eccentrica). Ciò è stato possibile associando l'analisi del movimento dei singoli elementi scheletrici coinvolti negli esercizi di curl-up e sit-up con i dati EMG.

La valutazione quantitativa dei dati ha mostrato una maggior attività EMG di LRA nel sit-up (fase in avanti) rispetto al curl-up. URA non ha mostrato differenze statisticamente significative per quanto riguarda la sua attività tra i due esercizi. Le differenti prestazioni muscolari nei due esercizi devono essere prese in considerazione durante le sessioni di allenamento di atleti professionisti. Infatti, è noto che l'allenamento in un regime di specifica contrazione può migliorare la prestazione muscolare.³² Inoltre, effettuando test di resistenza, i muscoli addominali affaticati sono compensati dai muscoli flessori dell'anca. Un adeguato tono muscolare dell'area addominale è senza dubbio importante per effettuare le attività di tutti i giorni e le attività sportive; comunque, occorre molta cautela quando si inizia un allenamento

pressure. However, in those athletes presenting shortening and/or hyperactivity of the iliopsoas muscle, sit-up with flexed legs may exacerbate their condition. Furthermore, sit-up exercise with flexed legs has been shown to generate greater lumbar intradiscal pressure and compression and for this reason it should not be recommended for all athletes who need to minimize lumbar spine flexion or compressive forces because of lumbar pathologies.^{3, 18, 32}

The results of this study do not allow to draw conclusions on the activity of iliopsoas muscles, since it is very difficult to evaluate carefully the activation of this deep muscle that tends to generate together with lumbar paraspinal muscles a force couple that attempts to anteriorly rotate the pelvis, increasing either lumbar lordosis or L4-L5 compression and generating an anterior shear force at L5-S1.³³ The shortening of iliopsoas muscle causes an hypomobility of the trunk increasing lumbar lordosis and exacerbating low-back pain in athletes with low back pathologies.

Conclusions

In conclusions the following points are firmly recommended: before performing this two kind of abdominal exercises, especially the sit-up with flexed legs, it is necessary to evaluate with kinesiological set-up the extensibility status of paraspinal muscles, in particular the iliopsoas muscle and the overall mobility of the trunk; the choice of the kind of position should be dictated by the ability to perform correctly the exercises rather than by the level of physical

addominale e con esercizi quali il curl-up e il sit-up. Il sit-up induce un rafforzamento del LRA, potenziando così la stabilizzazione spinale e pelvica e aumentando la pressione intraddominale. Comunque negli atleti che presentano accorciamento e/o iperattività del muscolo ileo-ptoas, il sit-up a gambe flesse può esacerbare la loro condizione. Inoltre, l'esercizio di sit-up a gambe flesse può generare una maggior pressione intradiscale e compressione a livello lombare e per tale motivo non dovrebbe essere raccomandato a quegli atleti che debbano minimizzare la flessione della colonna vertebrale lombare o le forze compressive a causa di patologie lombari^{3, 18, 32}.

*I risultati di questo studio non permettono di trarre conclusioni sull'attività dei muscoli ileo-ptoas, poiché è ben nota la difficoltà di valutare attentamente l'attivazione di questo muscolo profondo che tende a generare, con i muscoli paraspinali lombari, una coppia di forze che cerca di ruotare anteriormente la pelvi, aumentando la lordosi lombare o la compressione su L4-L5 e generando una forza deformante anteriore a livello di L5-S1*³³. *L'accorciamento del muscolo ileo-ptoas causa ipomobilità del tronco aumentando la lordosi lombare ed esacerbando il dolore lombare in atleti con patologie del rachide lombare.*

Conclusioni

In conclusione, si raccomandano i seguenti punti: prima di effettuare questi due tipi di esercizi addominali soprattutto il sit-up a gambe flesse è necessario valutare con un set-up chinesiológico, lo stato di estensibilità dei muscoli paraspinali, in particolare il muscolo ileo-ptoas e la mobilità complessiva del tronco; la scelta del tipo di posizione dovrebbe essere dettata dalla capacità di effettuare correttamente gli esercizi piuttosto che dal livello di attività fisica.

References/Bibliografia

- 1) Andersson EA, Nilsson J, Ma Z, Thorstensson A. Abdominal and hip flexor muscle activation during various training exercises. *Eur J Appl Phys Occup Phys* 1997;75:115-23.
- 2) Avedisian L, Kowalsky DS, Albro RC, Goldner D, Gill RC. Abdominal strengthening using the AbVice machine as measured by surface electromyographic activation levels. *J Strength Cond Res* 2005;19:709-12.
- 3) Clark KM, Holt LE, Sinyard J. Electromyographic comparison of the upper and lower rectus abdominis during abdominal exercises. *J Strength Cond Res* 2003;17:475-83.
- 4) Bird M, Fletcher KM, Koch AJ. Electromyographic comparison of the Ab-slide and crunch exercises. *J Strength Cond Res* 2006;20:436-40.
- 5) Axler CT, McGill SM. Low back loads over a variety of abdominal exercises: searching for the safest abdominal challenge. *Med Sci Sport Exerc* 1997;6:804-10.
- 6) Bankoff ADP, Furlani J. Electromyographic study of the rectus abdominis and external oblique muscles during exercises. *Electr Clin Neurophys* 1984;24:501-10.
- 7) De Luca CJ. The use of surface electromyography in biomechanics. *J Appl Biomech* 1997;13:135-63.
- 8) Escamilla RF, Babb E, Dewitt WR, Jew P, Kelleher P, Burnham T *et al*. Electromyographic analysis of traditional and nontraditional abdominal exercises: implications for rehabilitation and training. *Phys Ther* 2006;86:656-71.
- 9) Drysdale CL, Earl JE, Hertel J. Surface electromyographic activity of the abdominal muscles during pelvic tilt and abdominal hollowing exercises. *J Athletic Training* 2004;39:32-6.
- 10) Demont RG, Lephart SM, Giraldo JL, Giannantonio FP, Yuktanandana P, Fu FH. Comparison of two abdominal training devices with an abdominal crunch using strength and EMG measurements. *J Sports MedPhys Fitness* 1999;39:253-8.
- 11) Gilleard WL, Brown JMM. An electromyographic validation of an abdominal muscle test. *Arch Phys Med Rehab* 1994;75:1002-7.
- 12) Flint MM, Gudgeon J. Electromyographic study of abdominal muscular activity during exercise. *Res Q* 1965;36:29-37.

- 13) Flint M. An electromyographic comparison of the function of the iliacus and the rectus abdominis muscles. *J Appl Toxicol* 1965;45:248-52.
- 14) Girardin Y. EMG action potentials of rectus abdominis muscle during two types of abdominal exercises. In: Cerquiglini S, Venerando A, Wartenweiler J, editors. *Biomechanics III*. Basel Switzerland: S. Karger AG; 1973. p. 301-8.
- 15) Halpern AA, Bleck EE. Sit-up exercises: an electromyographic study. *Clin Orthop* 1979;145:172-8.
- 16) Gutin B, Lipetz S. An electromyographic investigation of the rectus abdominis in abdominal exercises. *Res Q* 1971;42:256-63.
- 17) Guimares AC, Vaz MA, De Campos MI, Marantes R. The contribution of the rectus abdominis and rectus femoris in twelve selected abdominal exercises. An electromyographic study. *J Sport Med Phys Fitness* 1991;31:222-30.
- 18) Hall SJ, Lee J, Wood TM. Evaluation of selected sit-up variations for the individual with low back pain. *J Appl Sport Sci Res* 1990;4:42-6.
- 19) Godfrey KE, Kindig LE, Windell EJ. Electromyographic study of duration of muscle activity in sit-up variations. *Arch Phys Med Rehab* 1977;58:132-5.
- 20) Kendall FP, McCreary EK, Provance PG. *Muscle, testing and function. With posture and pain*. 4th ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1993.
- 21) Komi PV, Buskirk ER. Effect of eccentric and concentric muscle conditioning on tension and electrical activity of human muscle. *Ergonomics* 1972;15:417-34.
- 22) Norris CM. Abdominal muscle training in sport. *Br J Sports Med* 1993;27:19-27.
- 23) Lipetz S, Gutin B. An electromyographic study of four abdominal exercises. *Med Sci Sports* 1970;2:35-8.
- 24) McGill SM. The mechanics of torso flexion: situps and standing dynamic flexion manoeuvres. *Clin Biomech* 1995;10:184-92.
- 25) Partridge MJ, Walters CE. Participation of the abdominal muscles in various movements of the trunk in man. An electromyographic study. *Phys Ther Rew* 1959;39:791-800.
- 26) Ricci B, Marchetti M, Figura F. Biomechanics of sit-up exercises. *Med Sci Sports Exerc* 1981;13:50-9.
- 27) Vera-Garcia FJ, Grenier SG, McGill SM. Abdominal muscle response during curls ups on both stable and labile surfaces. *Phys Ther* 2000;80:564-9.
- 28) Sheffield FJ, Major MD. Electromyographic study of the abdominal muscles in walking and other movements. *Am J Phys Med* 1962;4:143-7.
- 29) Sands WA, McNeal JR. A kinematic comparison of four abdominal training devices and a traditional abdominal crunch. *J Strength Cond Res* 2002;16:135-41.
- 30) Szasz A, Zimmerman A, Frey E, Brady D, Spalletta R. An electromyographical evaluation of the validity of the 2-minute sit-up section of the Army Physical Fitness Test in measuring abdominal strength and endurance. *Military Med* 2002;167:950-3.
- 31) Walters CE, Partridge MJ. Electromyographic study of the differential action of the abdominal muscles during exercise. *Am J Phys Med* 1957;36:259-68.
- 32) Sarti MA, Monfort MS, Fuster MA, Villaplana LA. Muscle activity in upper and lower rectus abdominis during abdominal exercises. *Arch Phys Med Rehabil* 1996;77:1293-7.
- 33) Juker D, McGill S, Kropf P, Steffen T. Quantitative intramuscular myoelectric activity of lumbar portion of psoas and the abdominal wall during a wide variety of tasks. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30:301-10.

Corresponding author: M. Ripani, MD, University of Motor Sciences (IUSM), piazza Lauro De Bosis 6, 00194 Rome, Italy. E mail: ripani@iusm.it