

# Μεταβολισμός του Μυός και Απόδοση στα σπριντ



# Σκοπός

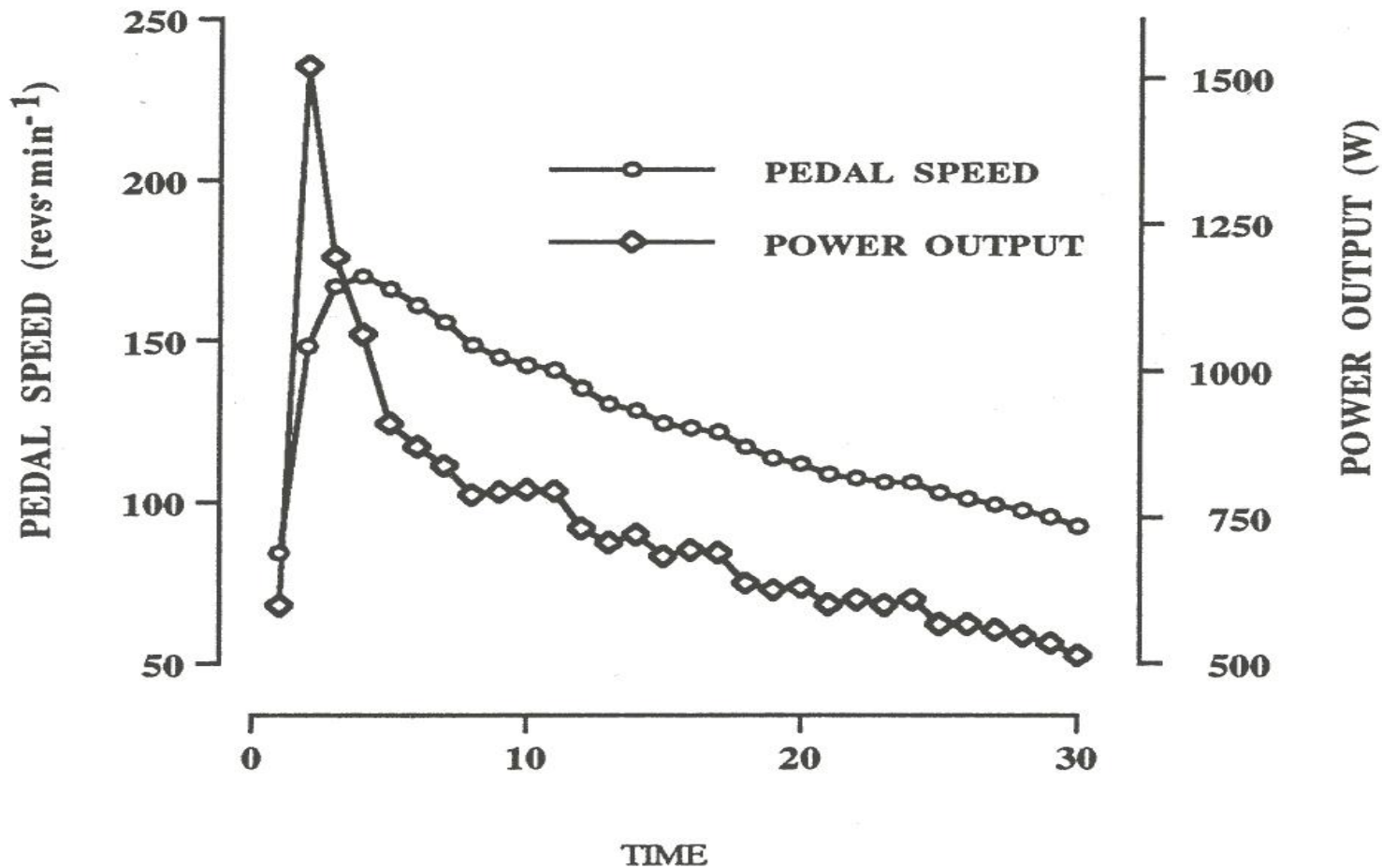
- ◆ Σκοπός αυτής της διάλεξης είναι να παρουσιάσει ορισμένες βασικές αρχές που άπτονται του «αναερόβιου» μεταβολισμού και να τις συνδέσει με την απόδοση

- ◆ Μέχρι τώρα όταν αναφερόταν κανείς σε μέγιστη άσκηση εννοούσε τη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου
- ◆ Ωστόσο, έχει βρεθεί πως η μέγιστη παραγωγή ισχύος κατά τη διάρκεια σπρινταρίσματος 30 δευτερολέπτων είναι περίπου δύο με τρεις φορές μεγαλύτερη από αυτή που απαιτείται για να φτάσει κανείς σε επίπεδα μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου

Τι οδήγησε στη μεγαλύτερη συλλογή πληροφοριών για το μεταβολισμό του μυός;

- ◆ Δύο μεθοδολογικές εξελίξεις:
  1. Μυϊκή βιοψία
  2. Wingate

# Απόδοση Ισχύος σε Wingate ΤΕΣΤ



**Figure 19.1** Power output (corrected for kinetic energy of the flywheel) and pedal speed during a maximal 30-s cycle ergometer sprint ( $n = 1$ ).

**Table 19.1 Blood Lactate and Serum Growth Hormone After a 30-s Treadmill Sprint in Male Sprint- and Endurance-Trained Athletes**

	Rest	Minutes postsprint		
		10 min post	30 min post	60 min post
Blood lactate (mmol · L <sup>-1</sup> )				
ST	1.1 ± 0.1	19.7 ± 0.7	12.5 ± 1.3	3.8 ± 0.3
ET	1.2 ± 0.1	13.8 ± 0.9	8.3 ± 0.9	2.9 ± 0.4 <sup>a, b, c</sup>
Serum growth hormone (mU · L <sup>-1</sup> )				
ST	4.0 ± 0.8	57.7 ± 8.1	84.4 ± 21.1	44.9 ± 11.0
ET	4.8 ± 1.3	24.3 ± 8.8	25.1 ± 6.7	23.5 ± 6.8 <sup>a, b, c</sup>

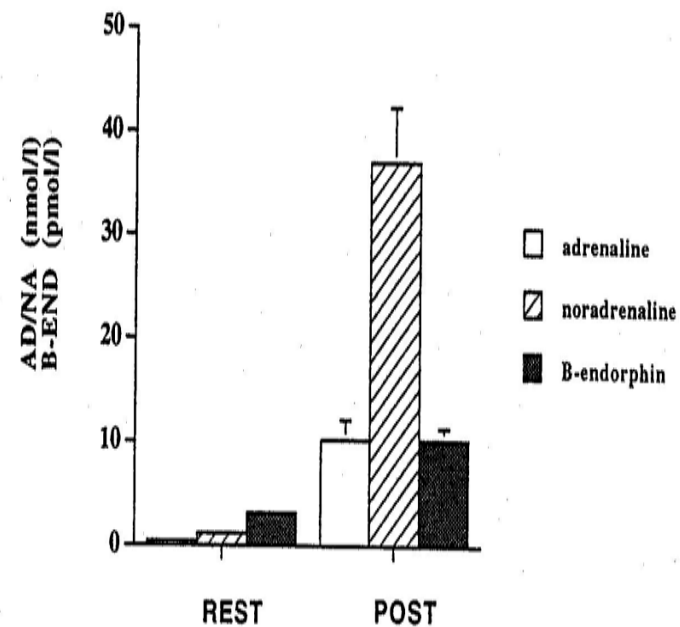
ST *n* = 6, ET *n* = 6; mean + SE. Data from Nevill et al. 1993 (28) and unpublished results by the same authors.

<sup>a</sup>Main effect time.

<sup>b</sup>Main effect group (sprint vs. endurance).

<sup>c</sup>Interaction (all *p* < .05).

Τα σπριντ αποτελούν σημαντικό στρες για τον οργανισμό, κάτι που φαίνεται από τις αποκρίσεις των κατεχολαμινών και της β-ενδορφίνης



**Figure 19.2** Plasma catecholamine (rest and 1 min post,  $n = 10$  males) and  $\beta$ -endorphin (rest and 3 min post,  $n = 10$  males) before and after a maximal 30-s treadmill sprint (mean  $\pm$  SE). Catecholamine data from Allsop et al. 1990 (1);  $\beta$ -endorphin data from Brooks et al. 1988 (11).

# Μεταβολές σε μεταβολίτες του μυός μετά από άσκηση 10 και 20 sec

**Table 19.3 Muscle Metabolites at Rest and After 10 and 20 s of Cycle Ergometer Sprinting**

	Rest	10 s	20 s
Glycogen	403.8 ± 20.1	357.4 ± 18.6	329.7 ± 21.4 <sup>b</sup>
PCr	80.7 ± 3.2	36.1 ± 3.0	21.4 ± 2.2 <sup>a</sup>
ATP	25.6 ± 0.7	20.2 ± 1.3	19.8 ± 1.4
HMP	1.5 ± 0.1	21.2 ± 2.3	29.0 ± 1.7 <sup>a</sup>
*Pi	2.9	14.8 ± 1.8	17.4 ± 2.0
Lactate	4.5 ± 0.4	51.0 ± 4.6	81.7 ± 4.7 <sup>a</sup>

mmol · kg<sup>-1</sup> dry muscle; *n* = 8 males; mean ± *SE*. Data from Bogdanis et al. 1994.

<sup>a</sup>*p* < .01, <sup>b</sup>*p* < .05 different from 10 s sprint

\*calculated inorganic phosphate (mmol · L<sup>-1</sup> muscle water)

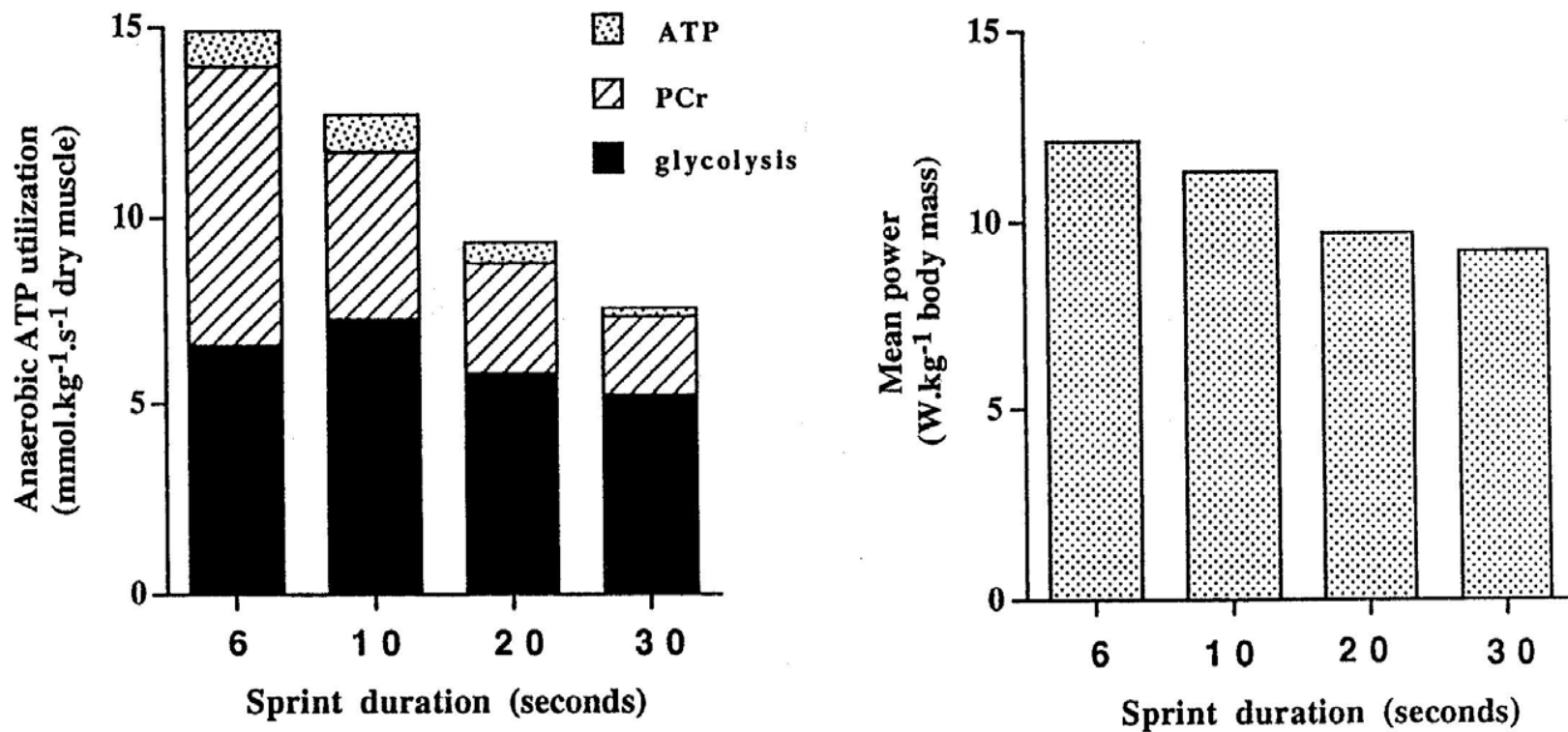


# Μεταβολές σε μεταβολίτες του μυός μετά από άσκηση 30 sec

	Rest	Post
Glycogen	317.0 ± 19.3	214.5 ± 18.9
PCr	84.0 ± 4.4	28.0 ± 4.5
Total creatine	119.2 ± 4.0	116.0 ± 5.6
ATP	26.7 ± 1.4	19.2 ± 4.0
G1P	0.2 ± 0.1	2.5 ± 0.6
G6P	1.2 ± 0.2	20.7 ± 2.2
F6P	0.3 ± 0.1	5.6 ± 0.5
Pyruvate	1.0 ± 0.2	3.8 ± 0.7
Lactate	4.1 ± 0.4	86.0 ± 10.8
Posttraining lactate	5.1 ± 1.4	103.6 ± 10.0*

mmol · kg<sup>-1</sup> dry muscle; *n* = 6, 3 males and 3 females; mean ± *SE*. Data from Nevill et al. 1989 (27).

\**p* < .05 significant difference between experimental and control group (data not shown) in response to exercise after training (group × training × exercise interaction)



**Figure 19.3** Utilization of ATP derived from anaerobic metabolism and mean power output during maximal sprint cycling of 6-, 10-, 20-, and 30-s duration (6 s:  $n = 8$ ; 10 s and 20 s:  $n = 8$ ; 30 s:  $n = 16$ ; all males). Data for 6-s sprint from Gaitanos et al. 1993 (13); data for 10- and 20-s sprints from Bogdanis et al. 1994 (8); data for 30-s sprint from Bogdanis et al. (9) and Bogdanis et al. 1994 (10).

# Μεταβολίτες του μυός μετά από 2 διαδοχικά σπριντ

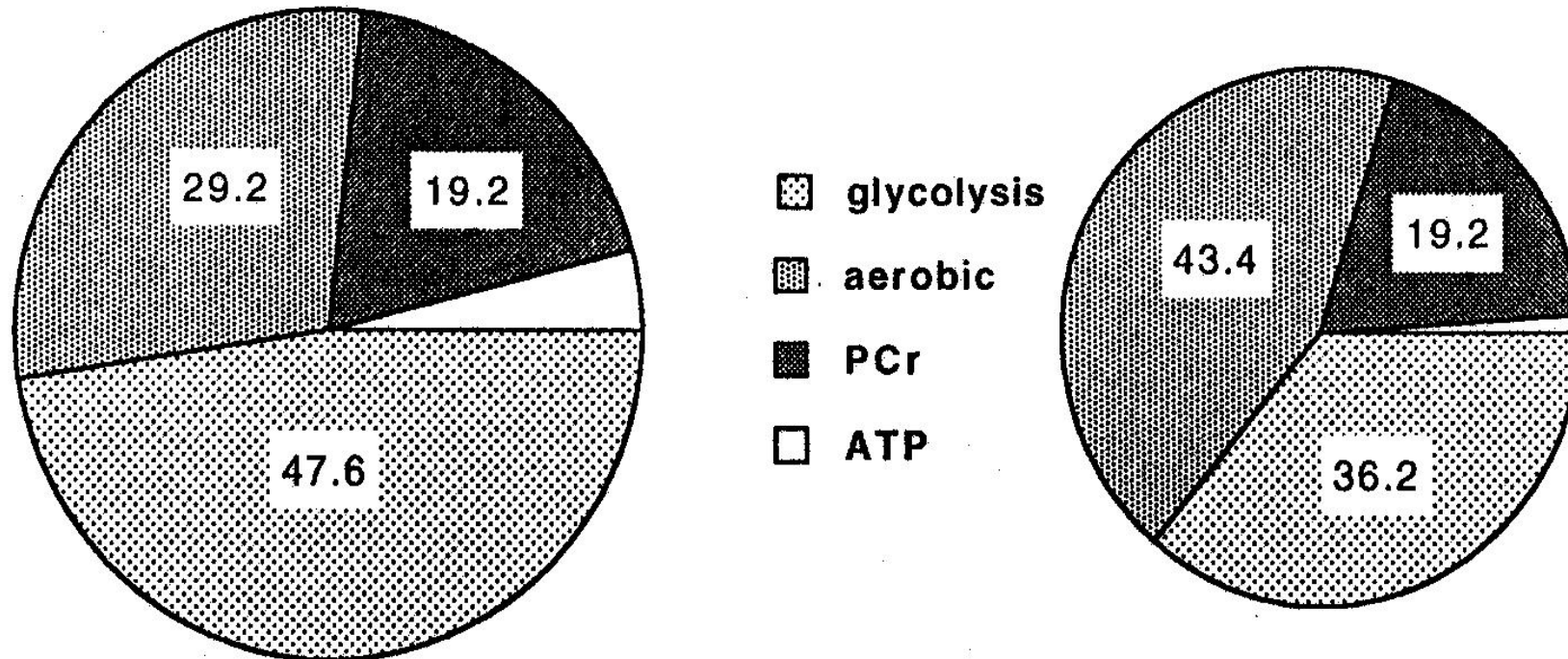
**Table 19.4 Muscle Metabolites Before and After Two 30-s Sprints Separated by 4 min of Passive Recovery**

	Rest	Post-sprint 1	Pre-sprint 2	Post-sprint 2
Glycogen	320.7 ± 14.9	218.4 ± 19.5 <sup>a</sup>	240.5 ± 23.9 <sup>a</sup>	184.0 ± 15.8 <sup>a, d</sup>
PCr	76.5 ± 4.3	13.5 ± 1.4 <sup>a</sup>	56.6 ± 1.4 <sup>a, b</sup>	9.4 ± 2.4 <sup>a, c</sup>
ATP	27.3 ± 0.8	20.7 ± 1.3 <sup>a</sup>	22.2 ± 1.0 <sup>a</sup>	20.8 ± 1.2 <sup>a</sup>
G6P	1.4 ± 0.1	26.3 ± 1.7 <sup>a</sup>	14.2 ± 0.7 <sup>a, b</sup>	22.3 ± 1.3 <sup>a, b, c</sup>
Lactate	5.6 ± 0.9	106.1 ± 4.5 <sup>a</sup>	72.8 ± 5.5 <sup>a, b</sup>	130.5 ± 4.9 <sup>a, b, c</sup>

mmol · kg<sup>-1</sup> dry muscle; *n* = 8 males, mean ± SE. Data from Bogdanis et al. (9).

<sup>a</sup>*p* < .01 from rest; <sup>b</sup>*p* < .01 from post-sprint 1; <sup>c</sup>*p* < .01 from pre-sprint 2; <sup>d</sup>*p* < .05 from pre-sprint 2.

# Συνεισφορά του αερόβιου μεταβολισμού στην απόδοση σπριντ



**Figure 19.4** Estimated total ATP utilization from aerobic and anaerobic metabolism during two maximal 30-s sprints separated by 4 min of passive recovery ( $n = 8$  males, see text for assumptions).

Data from Bogdanis et al. 1994 (10).

# Συνεισφορά του αερόβιου μεταβολισμού στην απόδοση σπριντ

- ◆ Παραμένει σταθερή η συνεισφορά των φωσφαγόνων στην απόδοση στο δεύτερο σπριντ
- ◆ Μειώνεται η συνεισφορά της αναερόβιας γλυκόλυσης
- ◆ Αυξάνεται η συνεισφορά του αερόβιου μεταβολισμού κατά 15%

# Γιατί είναι σημαντική η συνεισφορά του αερόβιου μεταβολισμού;

- ◆ Η ανάπτυξη της αερόβιας ικανότητας σχετίζεται με την ανασύνθεση της φωσφοκρεατίνης
- ◆ Η συσχέτιση μεταξύ της ανασύνθεσης της φωσφοκρεατίνης και του ποσοστού της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου στο οποίο βρέθηκε μία συγκέντρωση γαλακτικού οξέος 4 mM (μία τιμή που σχετίζεται με το γαλακτικό κατώφλι και την αερόβια ικανότητα ενός αθλητή) ήταν 0.94
- ◆ Η κινητικότητα της φωσφοκρεατίνης είναι ταχύτερη στους αθλητές ταχύτητας απ' ό,τι σε αγύμναστα άτομα

# Αερόβιες προσαρμογές

- ◆ Αύξηση του όγκου των μιτοχονδρίων
- ◆ Αύξηση του αριθμού των μιτοχονδρίων
- ◆ Αύξηση αριθμού αερόβιων ενζύμων
- ◆ Αύξηση δραστηριότητας αερόβιων ενζύμων
- ◆ Αυξημένο δίκτυο τριχοειδών αγγείων

# Επανασύνθεση PC

- ◆ Η επανασύνθεση της PC γίνεται διαμέσου της μιτοχονδριακής CK (*mit CK*)
- ◆  $C + ATP \rightleftharpoons CP + ADP + H$
- ◆ Βρίσκεται στην εσωτερική μιτοχονδριακή μεμβράνη
- ◆ Άμεση ανασύνθεση από το ATP που εξέρχεται από τα μιτοχόνδρια
- ◆ Ποσότητα που έχει διασπαστεί
- ◆ Αιματική ροή (ενεργητική αποκατάσταση)
- ◆ VO2 max
- ◆ 3-10 λεπτά



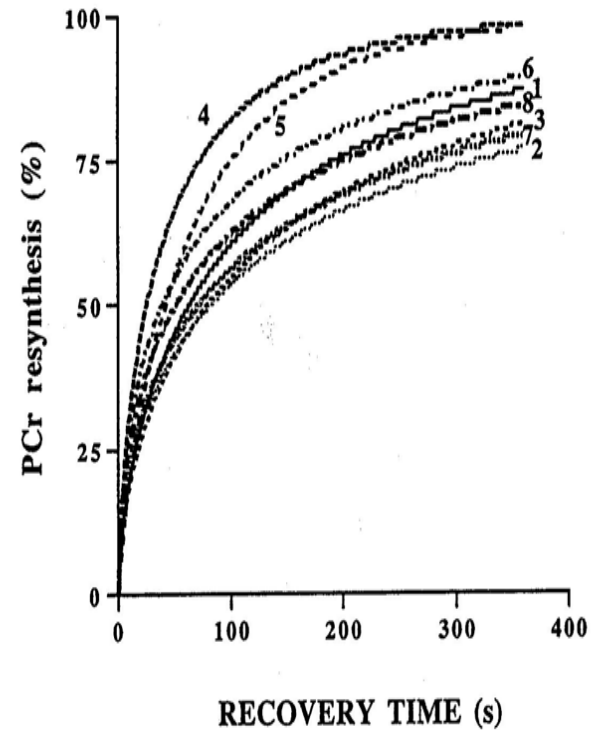
**Table 19.5 Muscle Metabolites at Rest and During Recovery After a Single 30-s Cycle Ergometer Sprint**

	Rest	Post	1.5 min	3 min	6 min
Glycogen	321.5 ± 18.2	211.6 ± 18.5 <sup>a</sup>	223.2 ± 19.5 <sup>a</sup>	217.2 ± 21.0 <sup>a</sup>	221.0 ± 18.3 <sup>a</sup>
PCr	77.1 ± 2.4	15.1 ± 1.0 <sup>a</sup>	49.7 ± 1.1 <sup>a, b</sup>	57.2 ± 2.0 <sup>a, b, c</sup>	65.5 ± 2.2 <sup>a, b, c, d</sup>
Pi	2.9	18.5 ± 1.4 <sup>a</sup>	7.7 ± 1.1 <sup>a, b</sup>	7.4 ± 1.3 <sup>a, b</sup>	6.4 ± 0.7 <sup>a, b</sup>
ATP	25.6 ± 0.4	18.1 ± 1.7 <sup>a</sup>	19.1 ± 0.9 <sup>a</sup>	18.8 ± 1.1 <sup>a</sup>	19.5 ± 0.9 <sup>a</sup>
G6P	1.21 ± 0.2	22.8 ± 1.2 <sup>a</sup>	20.9 ± 0.6 <sup>a</sup>	16.6 ± 0.8 <sup>a, b, c</sup>	11.0 ± 1.2 <sup>a, b, c, d</sup>
Lactate	3.8 ± 0.3	119.0 ± 4.6 <sup>a</sup>	107.3 ± 3.8 <sup>a</sup>	95.4 ± 5.6 <sup>a, b</sup>	81.9 ± 6.0 <sup>a, b, c, e</sup>

mmol · kg<sup>-1</sup> dry muscle; muscle glycogen in mmol glucosyl units · kg<sup>-1</sup> dry muscle; mean ± SE, *n* = 8 males. Pi, calculated inorganic phosphate (mmol · L<sup>-1</sup> muscle water). Data from Bogdanis et al. 1994 (10).

<sup>a</sup>*p* < .01 from rest; <sup>b</sup>*p* < .01 from post; <sup>c</sup>*p* < .01 from 1.5 min; <sup>d</sup>*p* < .01 from 3 min; <sup>e</sup>*p* < .05 from 3 min.

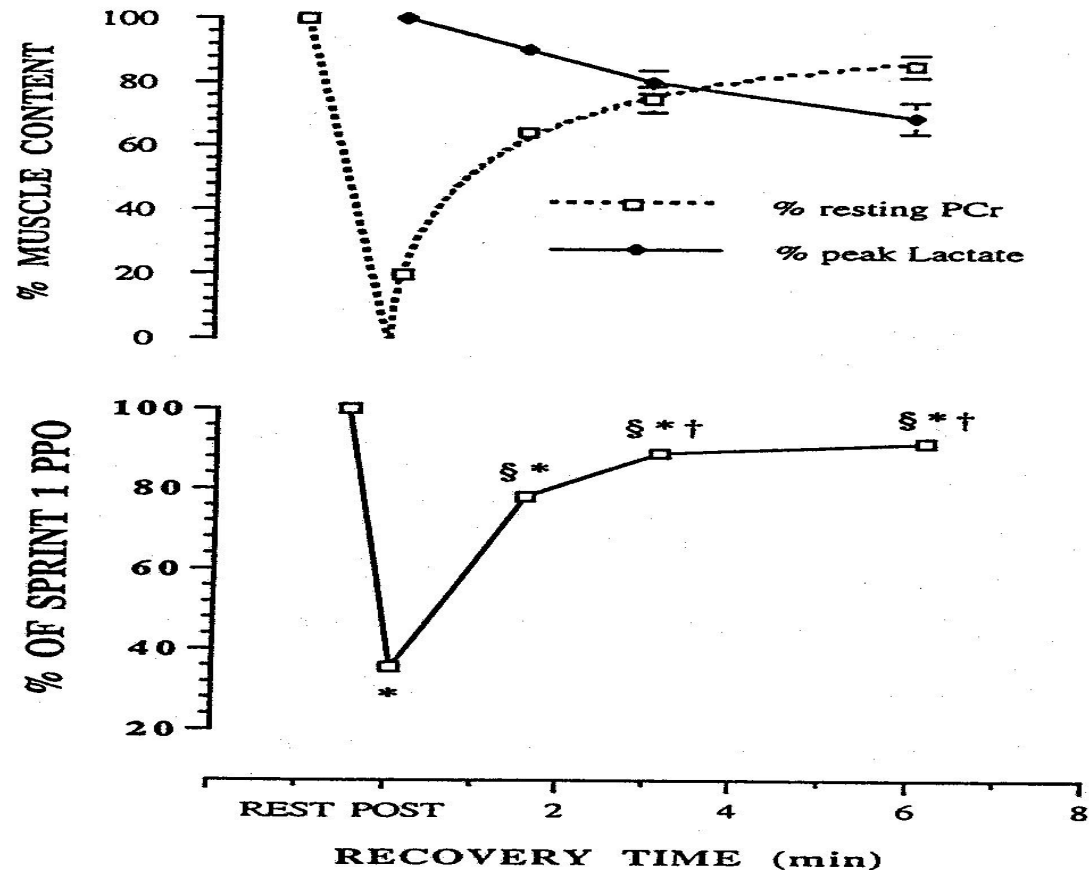
- ◆ Η ολοκλήρωση της ποσοστιαίας ανασύνθεσης της φωσφοκρεατίνης μπορεί να διαρκέσει πάνω από τέσσερα λεπτά



**Figure 19.5** Individual phosphocreatine (PCr) resynthesis curves, fitted using a mono-exponential model, during passive recovery after a maximal 30-s cycle ergometer sprint. Values for PCr are expressed as a percentage of the resting concentration. Numbers 1 to 8 represent individual subjects.

Reprinted from Bogdanis, Nevill, Boobis, Lakomy, and Nevill 1995.

# Συσχέτιση της ανάκαμψης της απόδοσης ισχύος και της φωσφοκρεατίνης

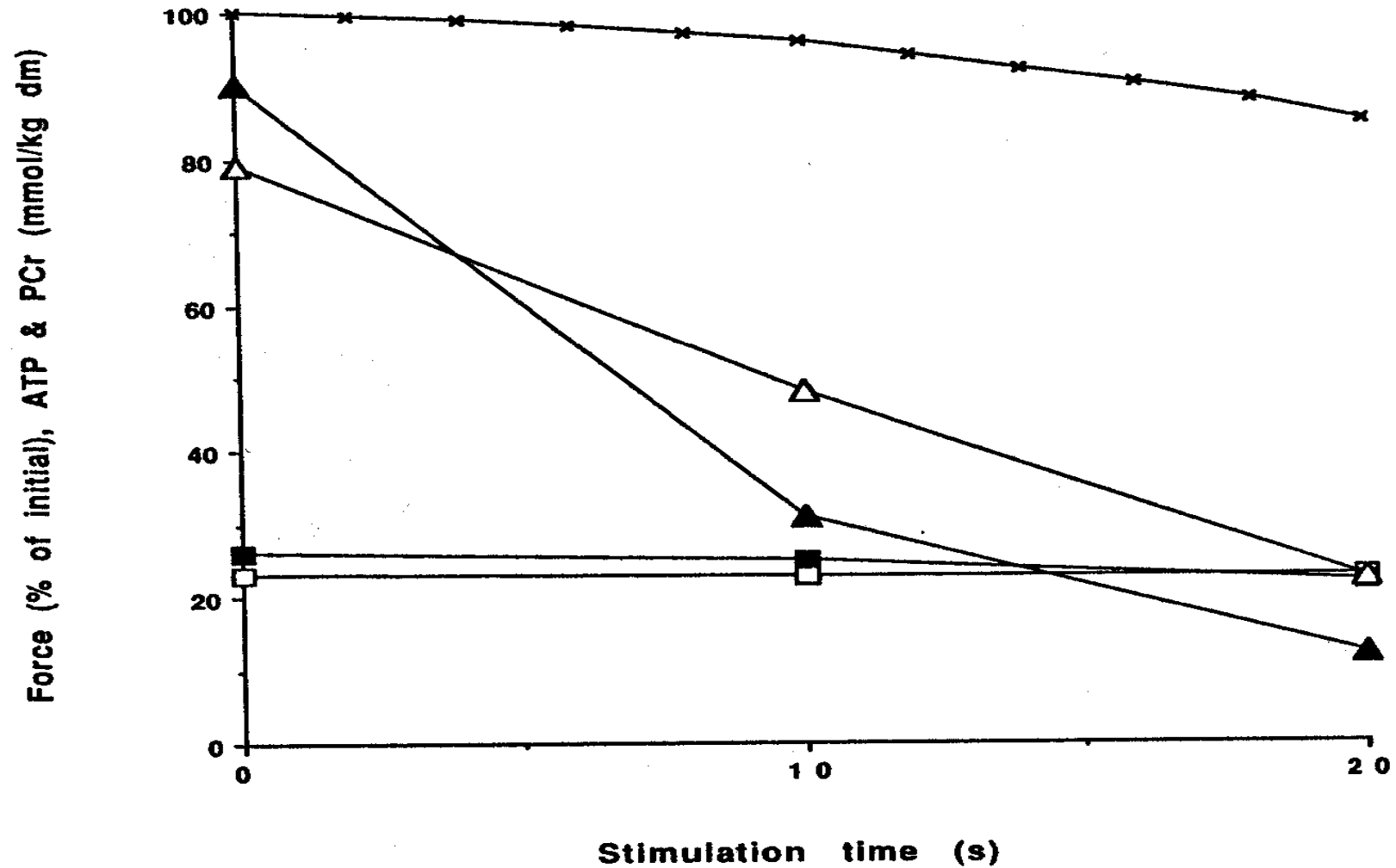


**Figure 19.6** Time course of phosphocreatine (PCr) resynthesis and muscle lactate disappearance (*top*) and peak power recovery (*bottom*) after a 30-s maximal cycle ergometer sprint. Values for PCr are expressed as a percentage of the peak concentration (mean  $\pm$  SE,  $n = 8$ ). The curve fitted to the PCr data represents the mean of the curves fitted on the individual data for each subject. \* $p < .01$  from sprint 1; \$ $p < .01$  from POST; † $p < .01$  from 1.5 min; see p. 253.

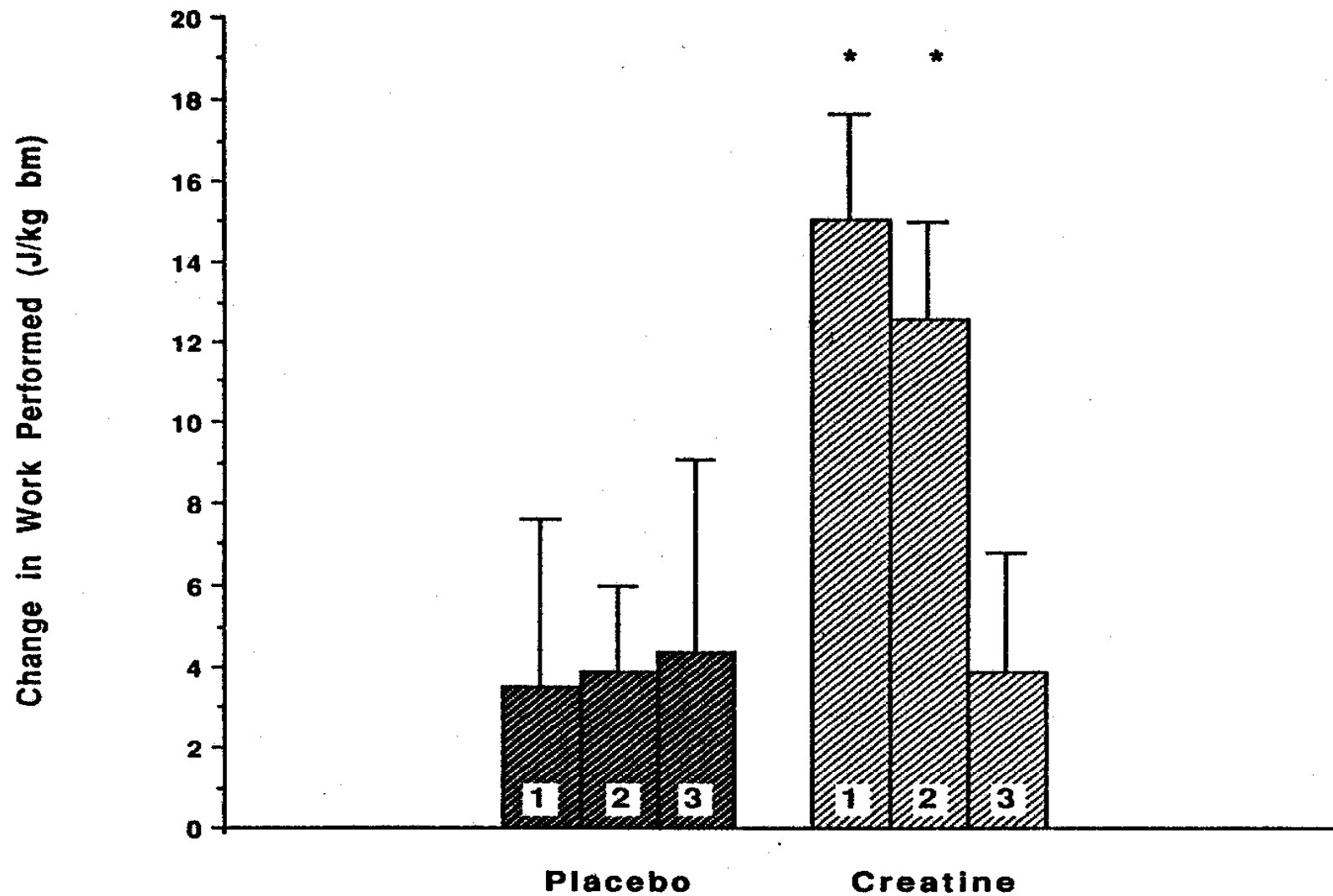
Reprinted from Bogdanis, Nevill, Boobis, Lakomy, and Nevill 1995.

# Συσχέτιση της ανάκαμψης της απόδοσης ισχύος και της φωσφοκρεατίνης

- ◆ Η πτώση των επιπέδων της φωσφοκρεατίνης συμβαδίζει με τη μείωση της απόδοσης ισχύος μετά από ένα μέγιστο τεστ 30 δευτερολέπτων στο ποδήλατο
- ◆ Η ανασύνθεση της φωσφοκρεατίνης ακολουθεί μία παράλληλη πορεία με αυτή της ανάκαμψης που υπάρχει στην απόδοση της ισχύος κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης



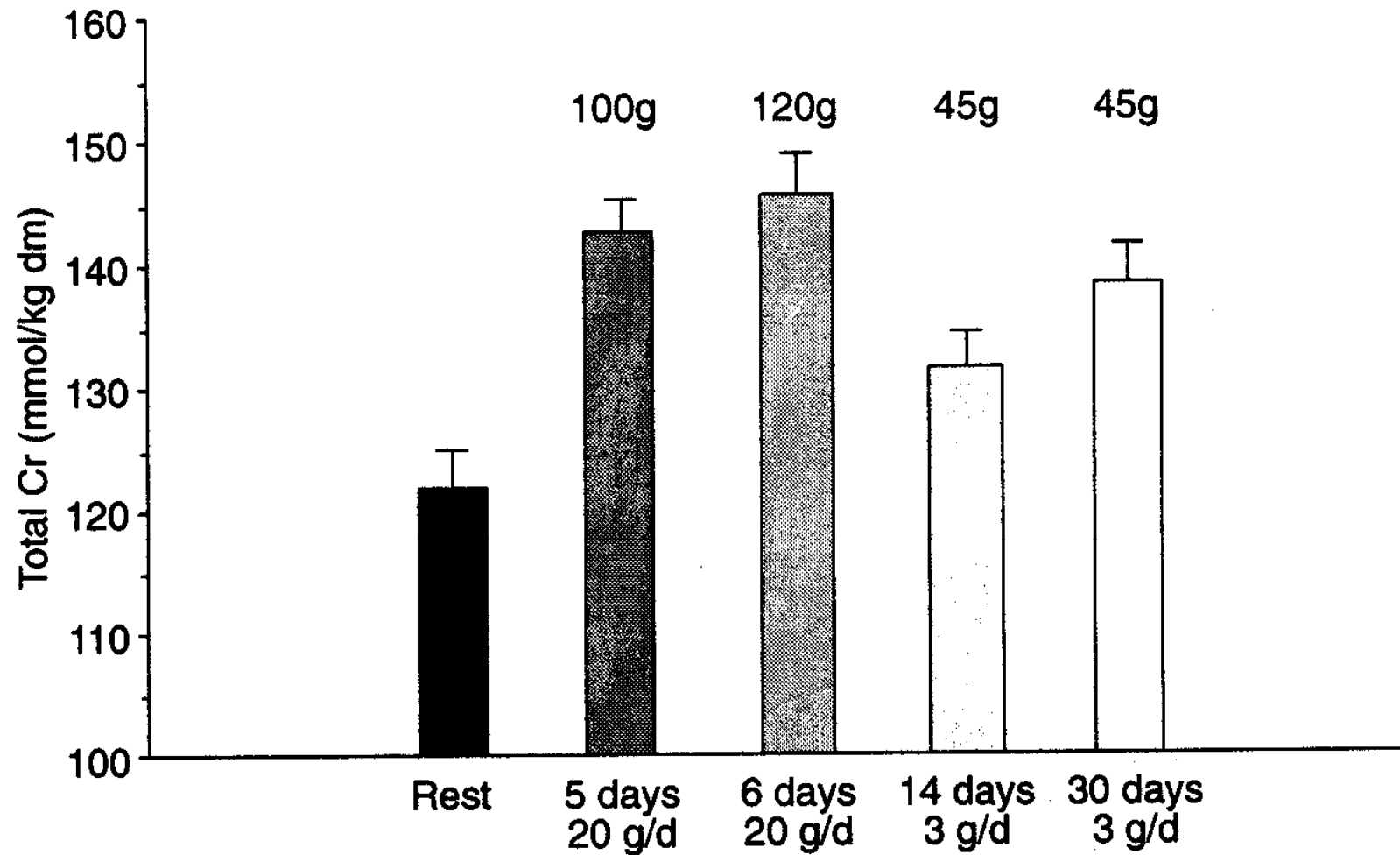
**Figure 18.3** Muscle isometric force production (x) and ATP (squares) and PCr (triangles) concentrations in type I (open symbols) and type II (filled symbols) muscle fibers during 20 s of intense electrical stimulation (1.6 s stimulation, 1.6 s rest; 50 Hz) in humans.



**Figure 18.8** The change in work production during  $3 \times 30$ -s bouts of maximal isokinetic cycling (80 rpm) in men following 5 d of placebo ( $20 \text{ g glucose polymer} \cdot \text{d}^{-1}$ ) and creatine ( $20 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$ ) ingestion. Each bout of exercise was separated by 4 min rest. Values represent mean  $\pm$  SE.  $*(p < .05)$  indicates significant increase from presupplementation work production.

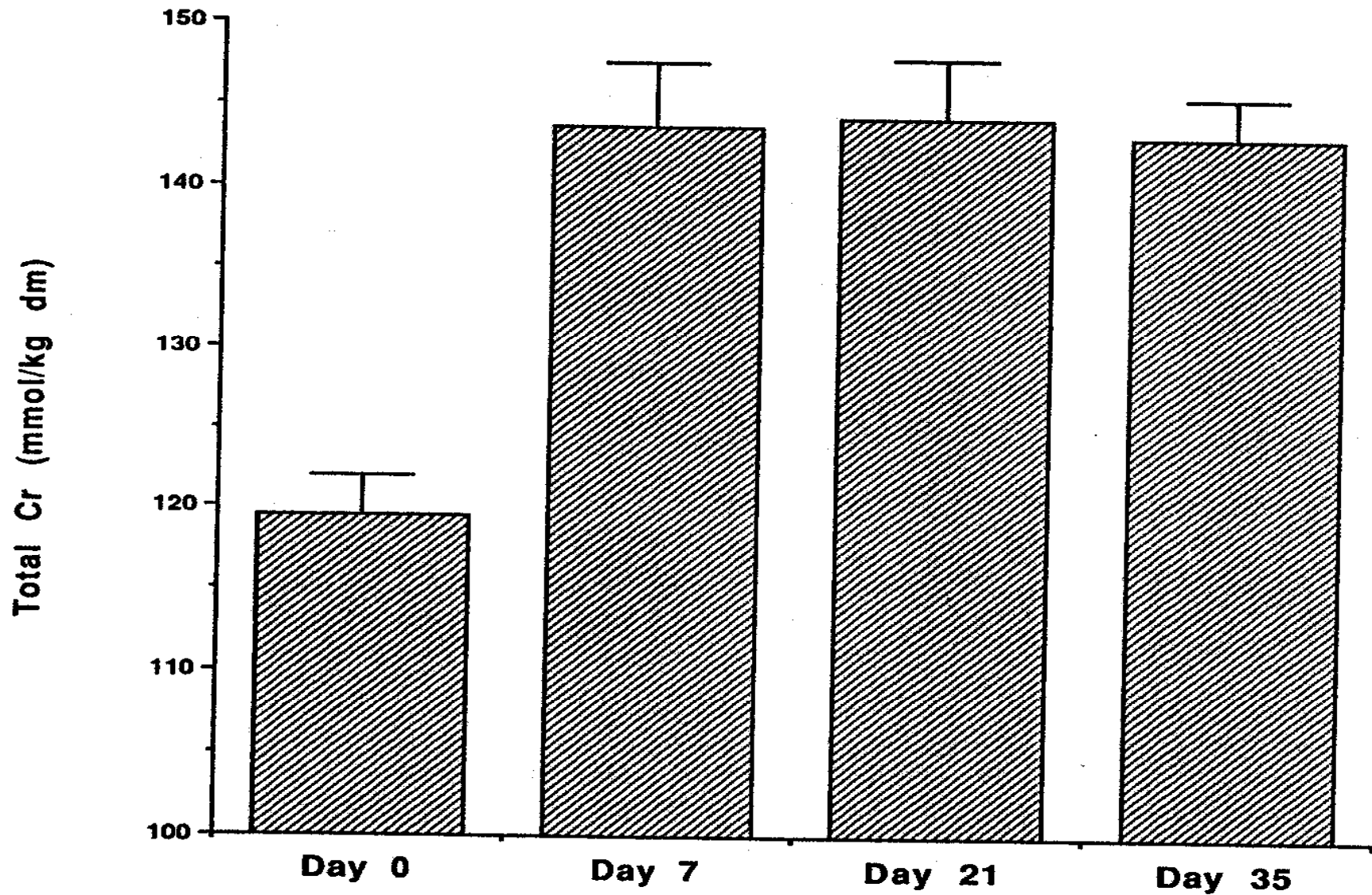
# Συμπληρωματική λήψη κρεατίνης

- ◆ Φάση υπερφόρτωσης
- ◆ Φάση διατήρησης
- ◆ Φάση αποχής



**Figure 18.6** Muscle total creatine (Cr) concentrations before and after Cr ingestion. Units at the base of each bar graph indicate the duration and rate of creatine ingestion. Units above each bar graph indicate the total amount of Cr ingested over the entire experimental period. Values represent mean  $\pm$  SE.

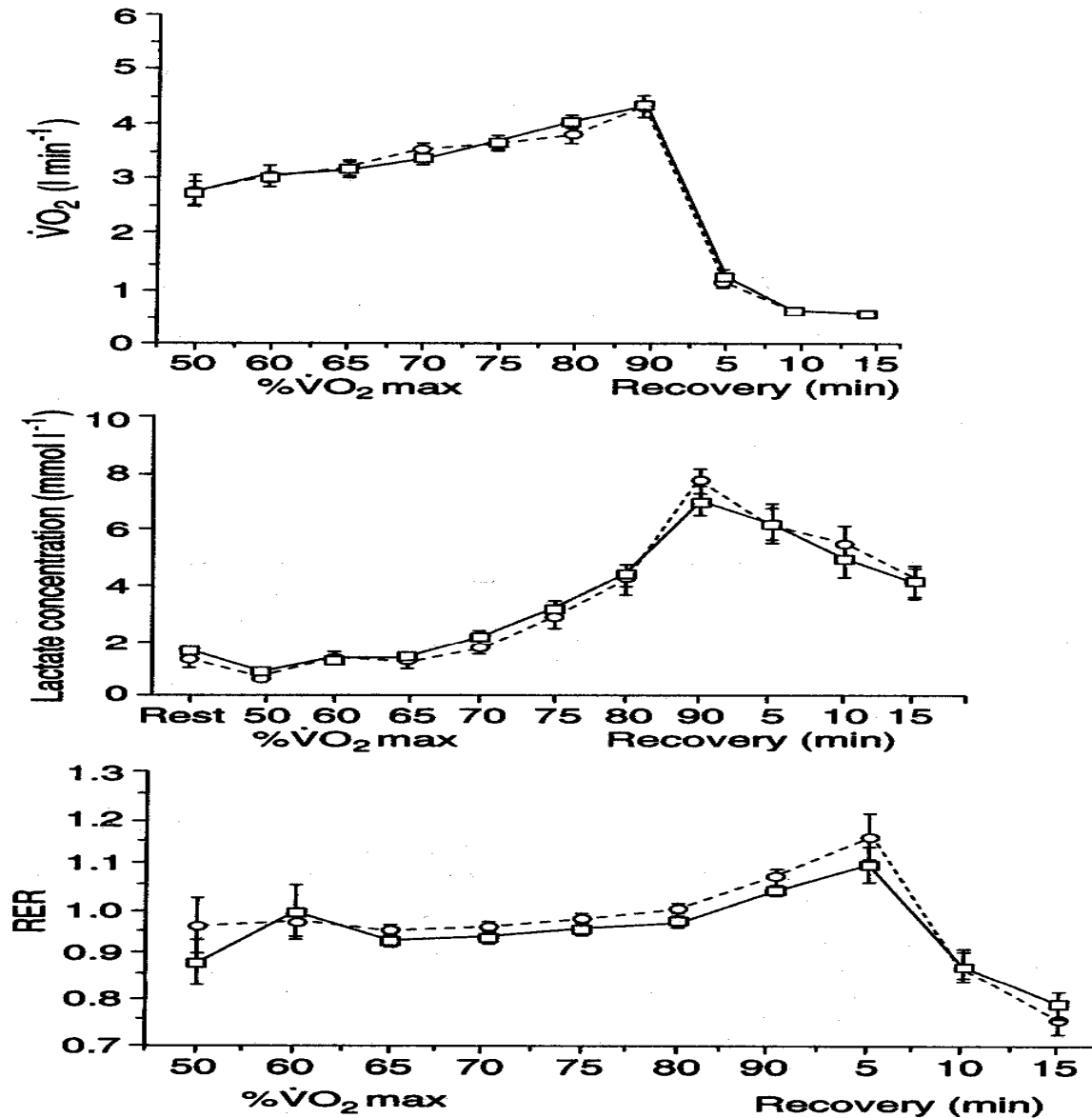




**Figure 18.7** Muscle total creatine (Cr) concentration before and after 34 d of Cr ingestion. Creatine was ingested at a rate of  $20 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$  for the initial 6 d and at a rate of  $2 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$  thereafter. Values represent mean  $\pm$  SE.

# Συμπληρωματική λήψη κρεατίνης

- ◆ Φάση υπερφόρτωσης
  - 6 ημέρες (20 γραμ./ημέρα)
- ◆ Φάση διατήρησης
  - 3 εβδομάδες (2-3 γραμ./ημέρα)
- ◆ Φάση αποχής
  - 1 εβδομάδα



**Figure 18.9** Oxygen consumption ( $\dot{V}O_2$ ), blood lactate concentration, and respiratory exchange ratio (RER) during treadmill running and recovery before (circles) and after (squares) 5 d of Cr ingestion ( $20 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$ ) in humans. Exercise was performed for 6 min at intensities equivalent to 50%, 60%, 65%, 70%, 75%, 80%, and 90% of maximal oxygen consumption ( $\dot{V}O_{2\text{max}}$ ). Values represent mean  $\pm$  SE.