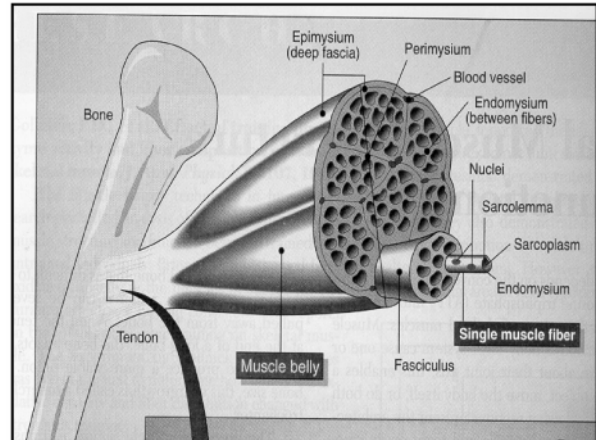


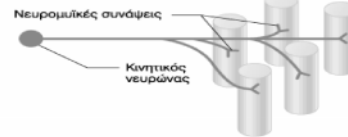
Άσκηση και Μυϊκή Βλάβη



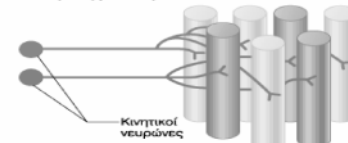
- ◆ **Κινητική μονάδα:** Σωματικό κινητικό νευρικό κύτταρο με τον άξονα του και τις διακλαδώσεις του και τις μυϊκές ίνες στις οποίες καταλήγουν οι διακλαδώσεις αυτές.
- ◆ Ο αριθμός των μυϊκών ινών που περιλαμβάνονται σε μία κινητική μονάδα εξαρτάται από το **είδος** του μυός και την **λεπτότητα των κινήσεων** που επιτελεί.
- ◆ Μύες ματιού=2-12 μυϊκές ίνες/κιν. Μονάδα
- ◆ Μύες κάτω άκρων=600-1000 »

Κινητική μονάδα

(α) Μία κινητική μονάδα



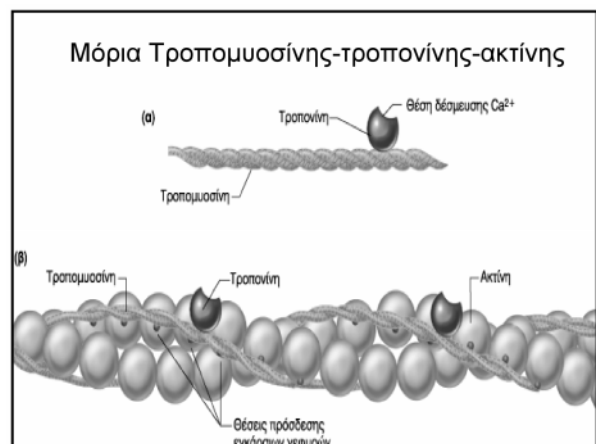
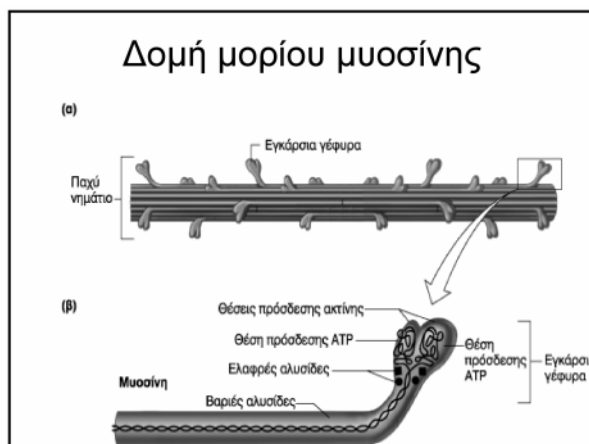
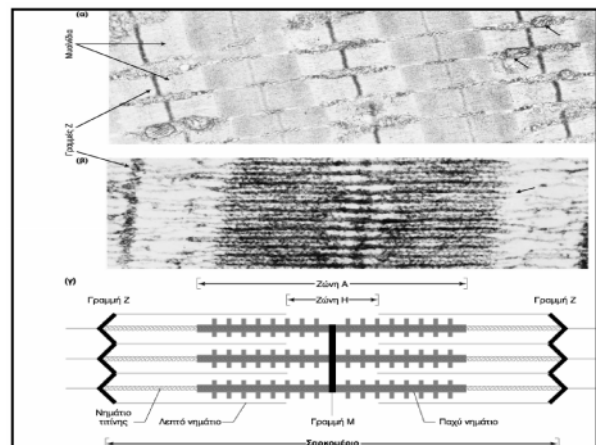
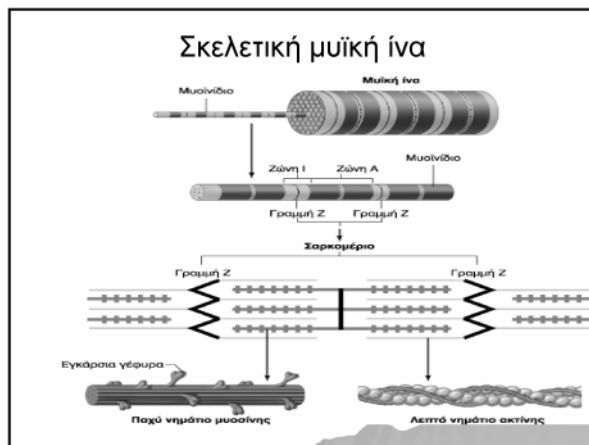
(β) Δύο κινητικές μονάδες



- ◆ Σαρκόπλασμα είναι το κυτταρόπλασμα του μυϊκού κυττάρου και το χαρακτηριστικό του γνώρισμα είναι η διαφοροποίηση του σε μυϊκά ινίδια (200-2000/μυϊκή ίνα) και στην καλή οργάνωση του ενδοπλασματικού δικτύου (σαρκοπλασματικού δικτύου).
- ◆ Τα μυϊκά ινίδια έχουν σχήμα κυλίνδρου, πάχος μέχρι 1μm, εκτείνονται σε όλο το μήκος του μυός και παρουσιάζουν **δομική και οπτική μεταμέρεια** ανά 3-4 μm = **εγκάρσια γράμμωση μυϊκής ίνας**

Γραμμωτοί μύες

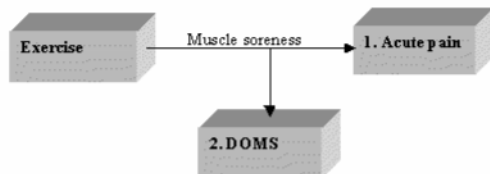
- ◆ Εναλλασσόμενες σκοτεινές και φωτεινές περιοχές
- ◆ Σκοτεινή περιοχή (Λωρίδα A)
- ◆ Φωτεινή περιοχή (Λωρίδα I)



- ◆ Διέγερση-παραγωγή νευρικής ώσης
- ◆ Νευρομυϊκή σύνδεση
- ◆ Διέγερση εγκάρσιων σωληναρίων
- ◆ Απελευθέρωση Ca^{++} από το ΣΔ (καλσηκουεστρίνη-40 θέσεις σύνδεσης Ca^{++})
- ◆ Αύξηση $[Ca^{++}]$ ενδοκυττάρια
- ◆ Σύνδεση ασβεστίου με τροπονίνη (calmodulin)
- ◆ Μετατόπιση τροπομυοσίνης
- ◆ Σύνδεση ακτίνης και μυοσίνης
- ◆ Δραστηριοποίηση της μυοσίνης ΑΤΡασης (Ca^{++})
- ◆ Διάσπαση ΑΤΡ-ενέργεια
- ◆ Μετατόπιση των κεφαλών της μυοσίνης
- ◆ Διολίσθηση ακτίνης

- ◆ Διακοπή νευρικής διέγερσης
- ◆ Επαναπρόσληψη Ca^{++} από το ΣΔ (αντλία Ca^{++} - 2 ΑΤΡ για μεταφορά 1 Ca^{++})
- ◆ Αποσύνδεση ακτίνης-μυοσίνης
- ◆ Επαναφορά της τροπονίνης και τροπομυοσίνης στην αρχική θέση στην ακτίνη

Οξύς και Καθυστερημένος Μυϊκός Πόνος



Οξύς Μυϊκός Πόνος

- ◆ Συμβαίνει συνήθως αμέσως μετά από την άσκηση εξαιτίας της κόπωσης
- ◆ Συμβαίνει εξαιτίας αυξημένης συγκέντρωσης παραπροϊόντων της άσκησης
- ◆ Κράμπες, κόπωση, κινητική δυσλειτουργία
- ◆ Απομάκρυνση συμπτωμάτων μετά από μερικά λεπτά αποκατάστασης
- ◆ Επανάληψη της άσκησης μετά την απομάκρυνση των συμπτωμάτων

Αιτίες Εμφάνισης του Οξύ Μυϊκού Πόνου (Κόπωσης)

- ◆ Αυξημένη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος
- ◆ Μείωση των επιπέδων του μυϊκού γλυκογόνου

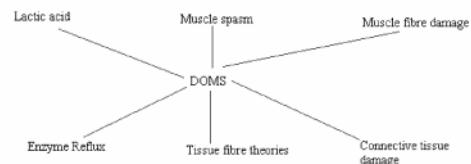
Καθυστερημένος Μυϊκός Πόνος

- ◆ Αίσθηση την οποία αντιλαμβάνεται κάποιος που έχει πραγματοποιήσει ασυνήθιστη μυϊκή προσπάθεια
- ◆ Το επίπεδο της προπονητικής κατάστασης και ο βαθμός της ασυνήθιστης μυϊκής προσπάθειας μπορούν να επηρεάσουν το επίπεδο του καθυστερημένου μυϊκού πόνου. (Ross M, 1999)

Καθυστερημένος Μυϊκός Πόνος

- ◆ Η εμφάνιση του ξεκινάει 24-48 ώρες μετά το τέλος της μυϊκής προσπάθειας, κορυφώνεται στις 48-72 ώρες, και επιστρέφει στα κανονικά επίπεδα μέσα σε 3-7 ημέρες (Gullick DT, 1996)
- ◆ Συνδέεται με πόνο, stiffness, ευαισθησία και πόνο κατά τη διάρκεια μυϊκών προσπαθειών.
- ◆ Επηρεάζεται η ικανότητα για ανάπτυξη μυϊκού έργου και μειώνεται το εύρος της κίνησης

Θεωρίες για την εμφάνιση του Καθυστερημένου Μυϊκού Πόνου



Γαλακτικό Οξύ

- ◆ Χρόνος ημιζωής = 15 λεπτά
- ◆ Επαναφορά στα αρχικά επίπεδα μέσα σε 1 ώρα από το τέλος της άσκησης
- ◆ Ασθενείς με σύνδρομο του McArdle's όπου δεν παράγουν γαλακτικό οξύ εμφανίζουν καθυστερημένο μυϊκό πόνο
- ◆ Λιγότερο γαλακτικό οξύ με έκκεντρες ασκήσεις συγκριτικά με ομόκεντρες
- ◆ Δε μπορεί να είναι υπεύθυνο για κάτι το οποίο συμβαίνει μετά από 3-7 ημέρες

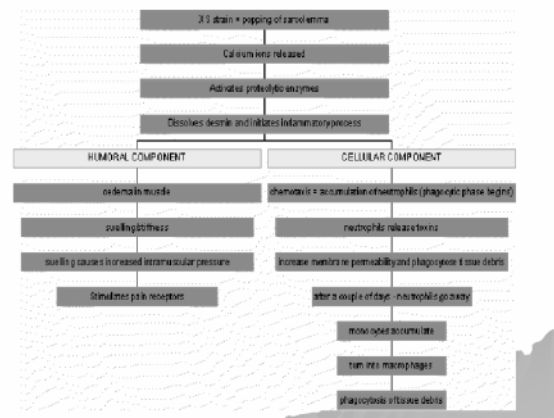
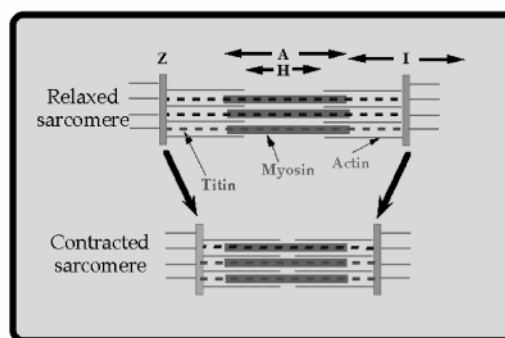
Θεωρία του Μυϊκού Σπασμού

- ◆ Αύξηση της ενδομυϊκής πίεσης εξαιτίας της αυξημένης παρουσίας υγρού μπορεί να διεγείρει απολήξεις νευρικών αισθητήρων που οδηγούν σε πόνο
- ◆ Η κορύφωση του πόνου προηγείται κατά 24 ώρες την κορύφωση του οιδήματος

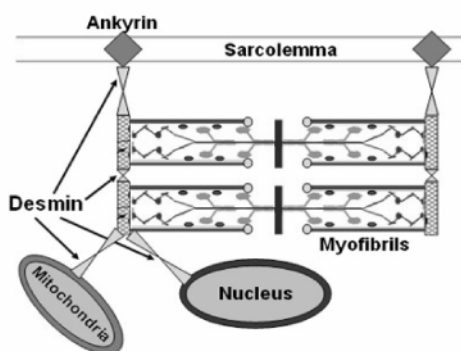
Θεωρία της Καταστροφής Μυϊκών Ινών

- ◆ Η καταστροφή έχει περισσότερη σχέση την υποβολή δύναμης που ασκείται στο μυ.
- ◆ Μεγαλύτερη όταν ο μυς βρίσκεται στο μέγιστο δυνατό σημείο μήκους μυός
- ◆ Αδυναμία ολίσθησης των μυονηματίων ακτίνας-μυοσίνης με αποτέλεσμα η γραμμή Z να δέχεται μεγαλύτερη πίεση. (Ross M, 1996)

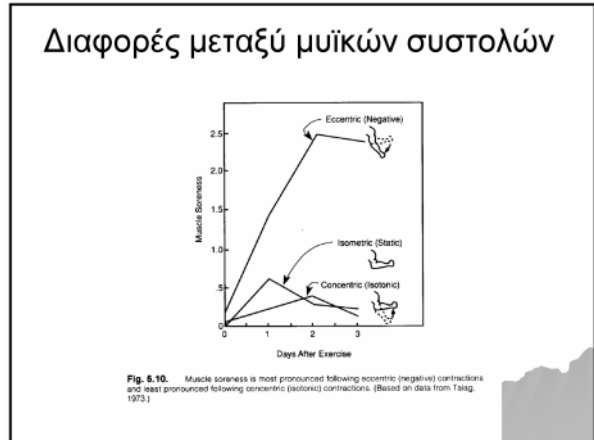
Μυϊκή συστολή



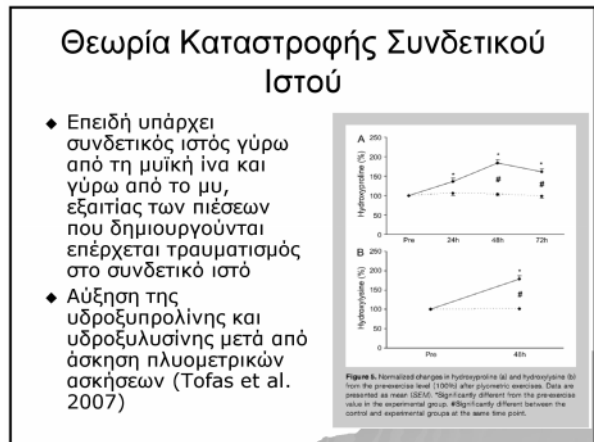
Αδυναμία δεσμίνης να δεχτεί την πίεση στην οποία υποβάλλεται ο μυς



- ◆ Μεγαλύτερη καταστροφή στις μυϊκές ίνες τύπου II απ' ότι στις μυϊκές ίνες τύπου I
- ◆ Οι μυϊκές ίνες τύπου II έχουν πιο πλατιές τις γραμμές Z και μεγαλύτερο συνδετικό ιστό που περικλείει τις ίνες
- ◆ Έκλυση ενζύμων και άλλων ουσιών που σχετίζονται με τον Καθυστερημένο μυϊκό πόνο (κρεατινική κινάση, γαλακτική αφυδρογονάση, μιοσφαιρίνη)



- ### Αιτίες εμφάνισης μεγαλύτερου καθυστερημένου μυϊκού πόνου μετά από έκκεντρη άσκηση
- ◆ Για το ίδιο φορτίο πραγματοποίησης μιας προσπάθειας απαιτούνται λιγότερες μυϊκές ίνες και λιγότερη ενέργεια. Μεγαλύτερο ποσό δύναμης ανά μυϊκή ίνα εφαρμόζεται σε κάθε μυϊκή ίνα και έτσι αυξάνεται η πιθανότητα μυϊκής καταστροφής σε αυτές τις μυϊκές ίνες
 - ◆ Κατά τη διάρκεια έκκεντρης άσκησης το σώμα δραστηριοποιεί περισσότερες μυϊκές ίνες τύπου II οι οποίες είναι και περισσότερο ευαίσθητες προς μυϊκή βλάβη εξαιτίας των μεγαλύτερων Z γραμμών
 - ◆ Κατά τη διάρκεια των έκκεντρων συστολών υπάρχει διάταση των στοιχείων του συνδετικού ιστού των τενόντων και των συνδέσμων με αποτέλεσμα την αύξηση της πιθανότητας βλάβης και σε αυτούς τους ιστούς



- ### Δείκτες μυϊκής βλάβης
- ◆ Απεικονιστικές μέθοδοι (ιστοχημεία, MRI)
 - ◆ Βιοχημικοί Δείκτες (CK, μιοσφαιρίνη, LDH, myosin heavy chain)
 - ◆ Λειτουργικοί δείκτες (Δύναμη, ROM)
 - ◆ DOMS

| TIME | SOR | | | | Inflammation | |
|----------------------|-----|-----|-----|-------|--------------|--|
| | CK | T2 | STR | Acute | Chronic | |
| Exercise Stimulus | | | ↓↓↓ | ↑ | | |
| 1-12 h post-exercise | | | ↓↓↓ | ↑↑↑ | | |
| 24 h post-exercise | ↑↑↑ | ↑ | ↑ | ↓↓↓ | ↑ | |
| 48 h post-exercise | ↑↑↑ | ↑ | ↑ | ↓↓ | ↑ | |
| 3-7 d post-exercise | ↑ | ↑↑ | ↑↑ | ↓ | ↑↑ | |
| 5-7 d post-exercise | ↑ | ↑↑↑ | ↑↑↑ | ↓ | ↑↑↑ | |
| 7 d post-exercise | | ↑↑ | ↑↑ | ↓ | ↑↑ | |

Figure 1: Time course of changes after maximal eccentric exercise. One arrow, minor increase/decrease; two arrows, moderate increase/decrease; three arrows, large increase/decrease. SOR, soreness; CK, creatine kinase; STR, strength.

Ιστοχημεία

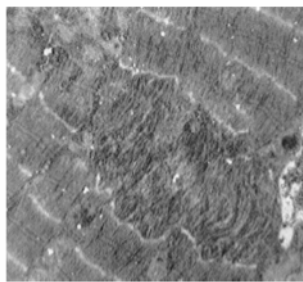


Figure 2: Electron micrograph illustrating muscle damage of the vastus lateralis. Muscle sample taken 48 hr after the subject performed 900 eccentric contractions. Original magnification, $\times 12,000$; JGEL. Transmission electron microscope. Photograph courtesy of Douglas Mikosky and Mark Tarnopolsky, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada.

MRI

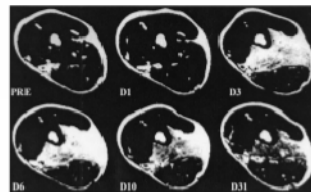


Figure 3: Time course of change in magnetic resonance images (before (PRE) and days (D) 1, 3, 6, 10, and 31 after exercise) of a subject who performed 24 maximal eccentric exercises of the elbow flexors. In this particular case, the brachialis muscle is predominantly affected by the exercise. Image courtesy of Dr. Kazuo Nozaki, Yokohama City University, Yokohama, Japan.

Κρεατινική κινάση

- ◆ CK-MM, CK-MB, CK-BB
- ◆ Υψηλή συσχέτιση με τον καθυστερημένο μυϊκό πόνο
- ◆ Καλή ένδειξη προσδιορισμού του μεγέθους της μυϊκής καταστροφής

Κρεατινική κινάση

- ◆ Έμφραγμα του μυοκαρδίου
- ◆ Καθυστερημένη αύξηση. Κορύφωση στις 24-72 ώρες μετά το τέλος της προπόνησης
- ◆ Οι αθλητές έχουν μεγαλύτερες τιμές από μη-αθλούμενους

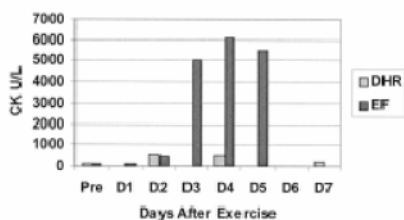
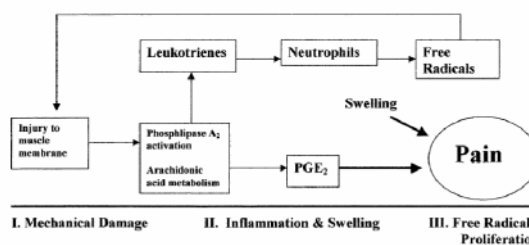
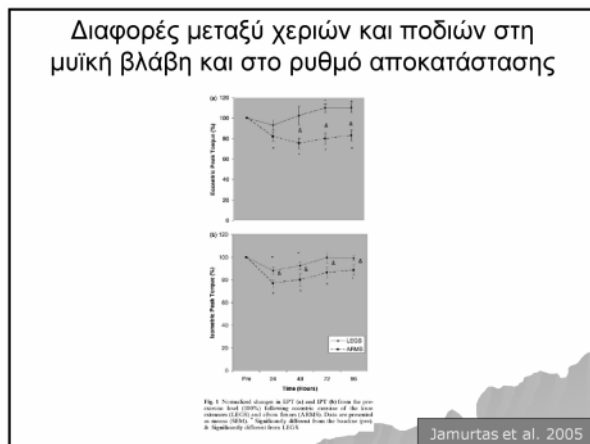
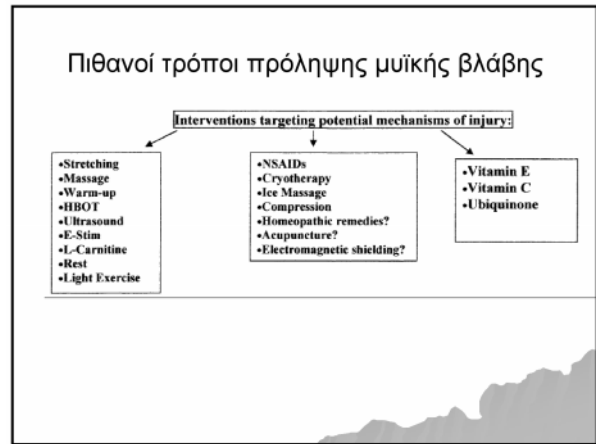
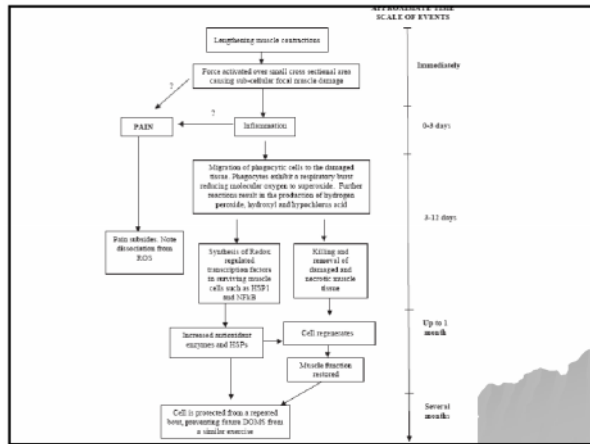


Figure 4: Plasma creatine kinase (CK) activity after downhill running (data modified from Eston et al.²³) and elbow flexion maximal eccentric contractions (data modified from Nozaki et al.³²).

Χρονική σειρά γεγονότων στη μυϊκή βλάβη





Διαφορές μεταξύ χεριών και ποδιών στη μυϊκή βλάβη και στο ρυθμό αποκατάστασης

Table 1 Changes in ROM and DOMS before (pre) and 24-96 h following eccentric exercise of the knee extensors (LEGS) and elbow flexors (ARMS)

| | Pre | 24 | 48 | 72 | 96 |
|------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| ROM | | | | | |
| LEGS | 100 (0) | 82.1 (4.2)* | 78.7 (6.1)* | 80.3 (5.4)* | 87.4 (4.1)* |
| ARMS | 100 (0) | 87.6 (1.5)* | 83.4 (2.5)* | 85.7 (4.2)* | 87.1 (4.4)* |
| DOMS | | | | | |
| LEGS | 1.0 (0) | 3.9 (0.7)* | 4.5 (1.0)* | 3.9 (0.9)* | 2.6 (0.2)* |
| ARMS | 1.0 (0) | 4.4 (0.6)* | 5.0 (0.5)* | 4.4 (0.1)* | 3.5 (1.1)* |

Data are presented as means (SEM)
* Significantly different from the baseline (pre). For ROM, the pre-exercise level was expressed as 100%

Jamurtas et al., 2005

Διαφορές μεταξύ χεριών και ποδιών στη μυϊκή βλάβη και στο ρυθμό αποκατάστασης

Table 2 Changes in serum CK and LDH activities and Mb concentration before (pre) and 24-96 h following eccentric exercise of the knee extensors (LEGS) and elbow flexors (ARMS). Data are presented as means (SEM)

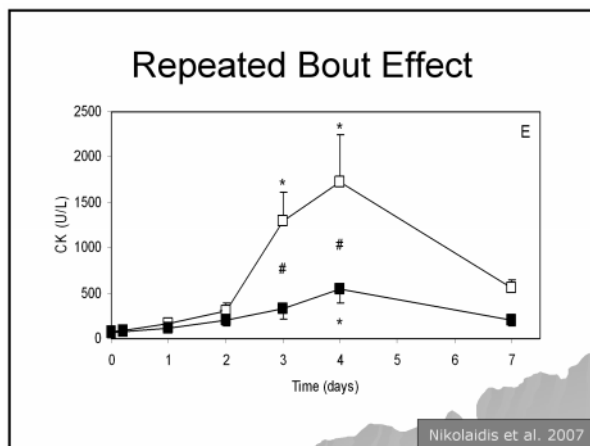
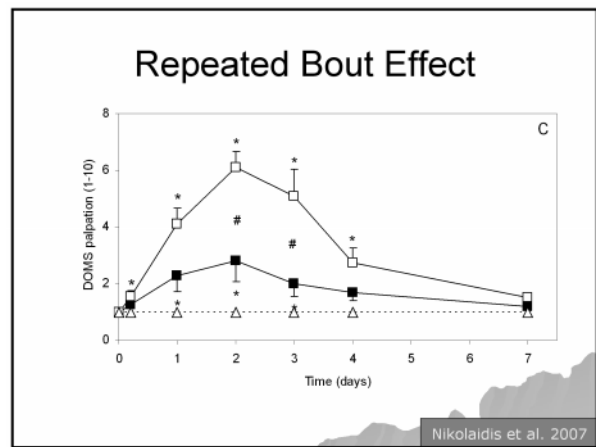
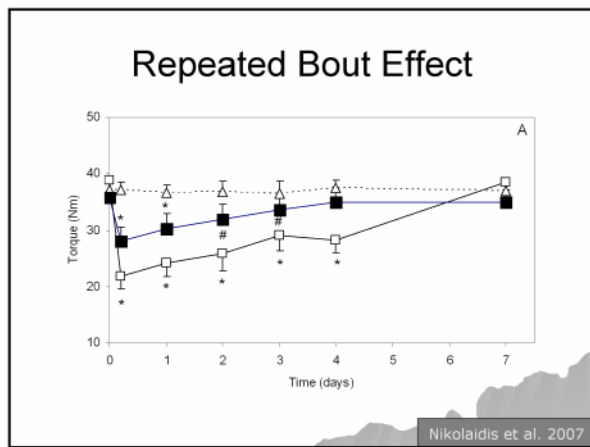
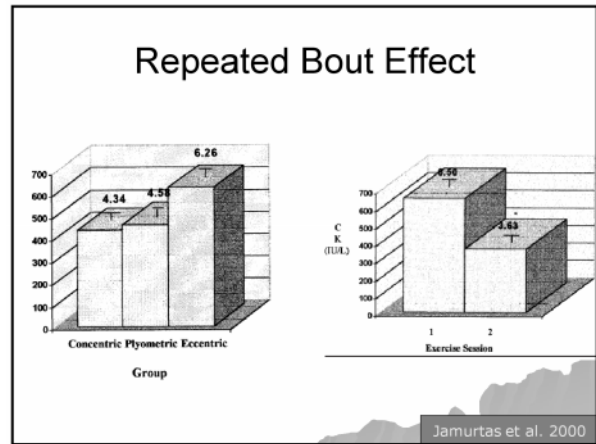
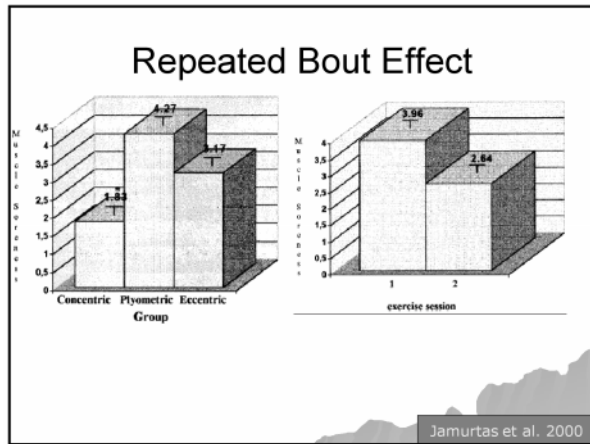
| | Pre | 24 | 48 | 72 | 96 |
|--------------------------|----------|------------|-------------|--------------|--------------|
| CK (IU L ⁻¹) | | | | | |
| LEGS | 114 (25) | 254 (70)* | 357 (155) | 320 (130) | 459 (141)* |
| ARMS | 90 (16) | 407 (134)* | 1044 (1345) | 3759 (1517)* | 3670 (1531)* |
| LDH (U L ⁻¹) | | | | | |
| LEGS | 157 (20) | 155 (11) | 178 (21) | 175 (19) | 155 (19) |
| ARMS | 105 (13) | 164 (18)* | 178 (24)* | 270 (65)* | 218 (40)* |
| Mb (ng L ⁻¹) | | | | | |
| LEGS | 21 (4) | 66 (20) | 75 (17) | 75 (16)* | 78 (20)* |
| ARMS | 26 (2) | 121 (75) | 521 (146) | 729 (262)* | 752 (279)* |

Data are presented as means (SEM)
* Significantly different from the baseline (pre).
* Significantly different from LEGS

Jamurtas et al., 2005

Repeated Bout Effect

- ◆ Φαινόμενο κατά το οποίο οι δυσμενείς επιπτώσεις της μυϊκής βλάβης από μια προπονητική συνεδρία παρουσιάζονται χαμηλότερες όταν επαναληφθεί μια προπονητική συνεδρία της ίδιας έντασης με την πρώτη
- ◆ Τα προστατευτικά αποτελέσματα μπορεί να διαρκέσουν μέχρι και έξι μήνες



Δρομική οικονομία και μυϊκή βλάβη

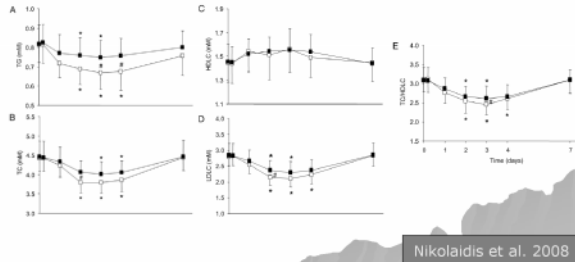
Table 1 Running economy indicators at the time points of assessment after eccentric exercise. Data are reported as mean \pm SEM

| Indicators | Baseline values (n=10) | 24 hours (n=10) | 48 hours (n=10) | 72 hours (n=10) | 96 hours (n=10) |
|---|------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| $\dot{V}O_2$ -133 m \cdot min $^{-1}$ (ml \cdot kg $^{-1}$ \cdot min $^{-1}$)# | 27.9 \pm 0.8 | 28.6 \pm 1.3 | 28.3 \pm 1.2 | 27.4 \pm 1 | 27.1 \pm 1 |
| $\dot{V}O_2$ -200 m \cdot min $^{-1}$ (ml \cdot kg $^{-1}$ \cdot min $^{-1}$) | 37.8 \pm 0.6 | 39.2 \pm 1.2 | 39.3 \pm 1.4 | 38.8 \pm 1 | 38.4 \pm 1.2 |
| \dot{V}_E -133 m \cdot min $^{-1}$ (l \cdot min $^{-1}$)# | 50.0 \pm 1.5 | 53.4 \pm 2.3 | 54.9 \pm 3.0 | 54.9 \pm 2.5 | 55.6 \pm 2.9 |
| \dot{V}_E -200 m \cdot min $^{-1}$ (l \cdot min $^{-1}$)# | 75.0 \pm 2.6 | 81.1 \pm 4.0 | 79.7 \pm 4.6 | 77.1 \pm 4.7 | 78.1 \pm 5.1 |
| RR-133 m \cdot min $^{-1}$ # | 0.909 \pm 0.02 | 0.905 \pm 0.02 | 0.929 \pm 0.02 | 0.929 \pm 0.02 | 0.915 \pm 0.02 |
| RR-200 m \cdot min $^{-1}$ # | 0.956 \pm 0.02 | 0.973 \pm 0.02 | 0.966 \pm 0.02 | 0.956 \pm 0.02 | 0.962 \pm 0.01 |
| RRM-133 m \cdot min $^{-1}$ (l \cdot min $^{-1}$)# | 27.0 \pm 2.7 | 30.8 \pm 2.8 | 35.2 \pm 2.6 | 34.1 \pm 3.0 | 35.2 \pm 2.9 |
| RRM-200 m \cdot min $^{-1}$ (l \cdot min $^{-1}$)# | 38.5 \pm 2.4 | 39.7 \pm 2.6 | 40.1 \pm 3.2 | 40.8 \pm 3.3 | 41.9 \pm 3.7 |
| HR-133 m \cdot min $^{-1}$ (beats \cdot min $^{-1}$)# | 138.8 \pm 6 | 147.7 \pm 10.7 | 138.0 \pm 8.0 | 135.4 \pm 9.2 | 136.0 \pm 9.1 |
| HR-200 m \cdot min $^{-1}$ (beats \cdot min $^{-1}$)# | 166.1 \pm 6.6 | 166.6 \pm 6.5 | 165.8 \pm 6.3 | 164.2 \pm 6.1 | 161.0 \pm 7.9 |

Paschalis et al. 2005

Μυϊκή βλάβη και λιπίδια

◆ 12 γυναίκες, 2 συνεδρίες άσκησης, 75 έκκεντρες κάμψεις οπίσθιων μηριαίων, που επαναλήφθηκαν μετά από 3 εβδομάδες.



Nikolaidis et al. 2008

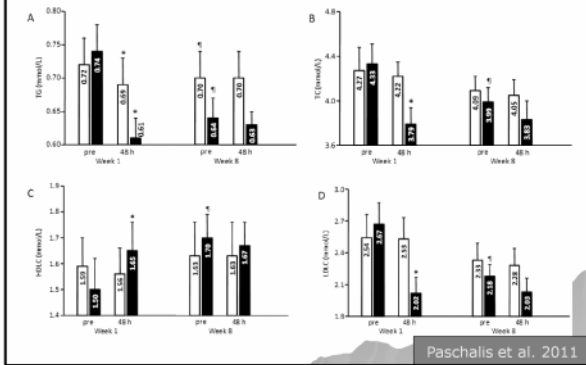
Μυϊκή βλάβη και λιπίδια

◊ Οι μεγαλύτερες αλλαγές πραγματοποιήθηκαν στις 3 μέρες μετά την άσκηση και ήταν

- > -18% και -9% για το TG,
 - > -14% και -10% για την TC,
 - > 8% και 7% για HDL,
 - > -25% και -18% για LDL,
 - > και -20% και -15% για TC/HDL
- μετά από 1 και 2, συνεδρίες,

Nikolaidis et al. 2008

Έκκεντρη προπόνηση και μεταβολή λιπιδίων



Paschalis et al. 2011

1. Paschalis V, Nikolaidis MG, Theodorou AA, Panayiotou G, Fatouros IG, Koutedakis Y, Jamurtas AZ. A weekly Bout of Eccentric Exercise Is Sufficient to Induce Health Promoting Effects. *Medicine and Science in Sports & Exercise*, 43(1):64-73, 2011.
2. Paschalis V, Giakas G, Koutedakis Y, Baltzopoulos V, Jamurtas AZ, Theoharis V, Kotzamanidis C. The effects of muscle damage following eccentric exercise on gait biomechanics. *Gait and Posture* 25(2):236-242, 2007.
3. V Paschalis, MG Nikolaidis, G Giakas, AZ Jamurtas, A Pappas, Y Koutedakis. The effect of eccentric exercise on position sense and joint reaction angle of the lower limbs. *Muscle and Nerve* 2007 Apr; 35(4):496-503
4. Michalis G, Nikolaidis, Vassilis Paschalis, Giannis Giakas, Ioannis G, Fatouros, Yiannis Koutedakis, Dimitris Kouretas, Athanasios Z, Jamurtas. Decreased blood oxidative stress after repeated eccentric exercise. *HSE 2007 Jul; 39(7):1080-9.*
5. Jamurtas AZ, Theoharis V, Tofas T, Tsiokanos A, Yfanti C, Paschalis V, Koutedakis Y, Nosaka K. Comparison between leg and arm eccentric exercise of the same relative intensity on indices of muscle damage. *European Journal of Applied Physiology* 95(2-3):179-85, 2005
6. Paschalis V, Koutedakis Y, Baltzopoulos V, Mougios V, Jamurtas AZ, Giakas G. Short vs. long length of rectus femoris during eccentric exercise in relation to muscle damage in healthy males. *Clinical Biomechanics*, 20(6): 617-622, 2005.
7. Paschalis V, Koutedakis Y, Jamurtas A.Z, Mougios V, Baltzopoulos. Equal Volumes of High and Medium Intensity of Eccentric Exercise in Relation to Muscle Damage and Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research* 19(1): 184-188, 2005.
8. Jamurtas, A.Z., Fatouros, J.G., Buckenmeyer, P.J., Kokkinidis, E., Taxildaris, K., Kambas, A., Kyriazis, G. Effects of plyometric exercise on muscle soreness and creatine kinase levels and its comparison to eccentric and concentric exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14 (1), 68-74, 2000.