

BIOΧΗΜΕΙΑ

Φατούρος Ιωάννης, Αναπληρωτής Καθηγητής

Μεταβολισμός υδατανθράκων

Κατηγορίες Οργανικών Ενώσεων

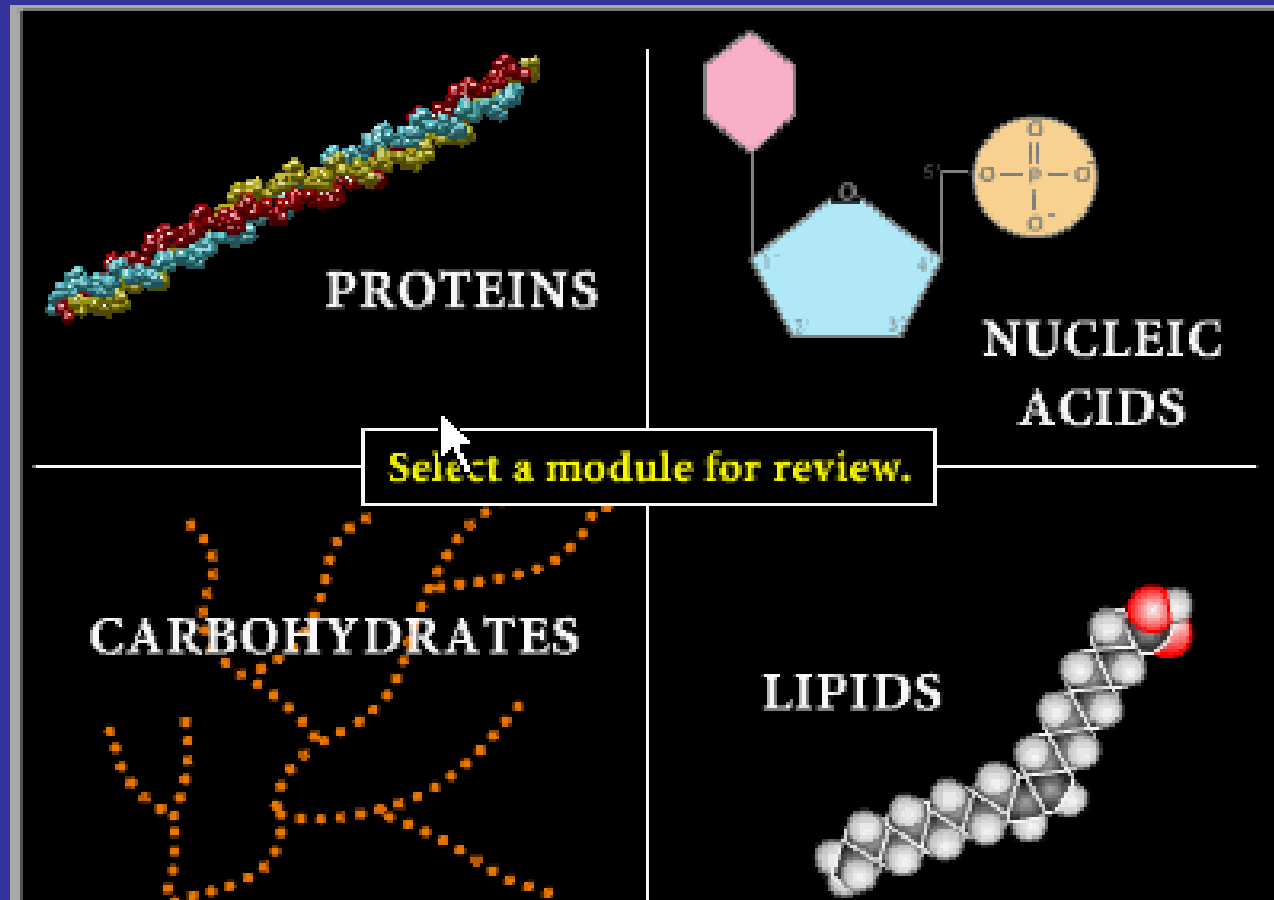
- **Οργανικές Ενώσεις:** οι ενώσεις του άνθρακα.
- **Μακρομόρια ή Πολυμερή:** μεγάλα σε μέγεθος μόρια που αποτελούνται από χιλιάδες άτομα.
- **Κατηγορίες οργανικών μορίων:**

Υδατάνθρακες

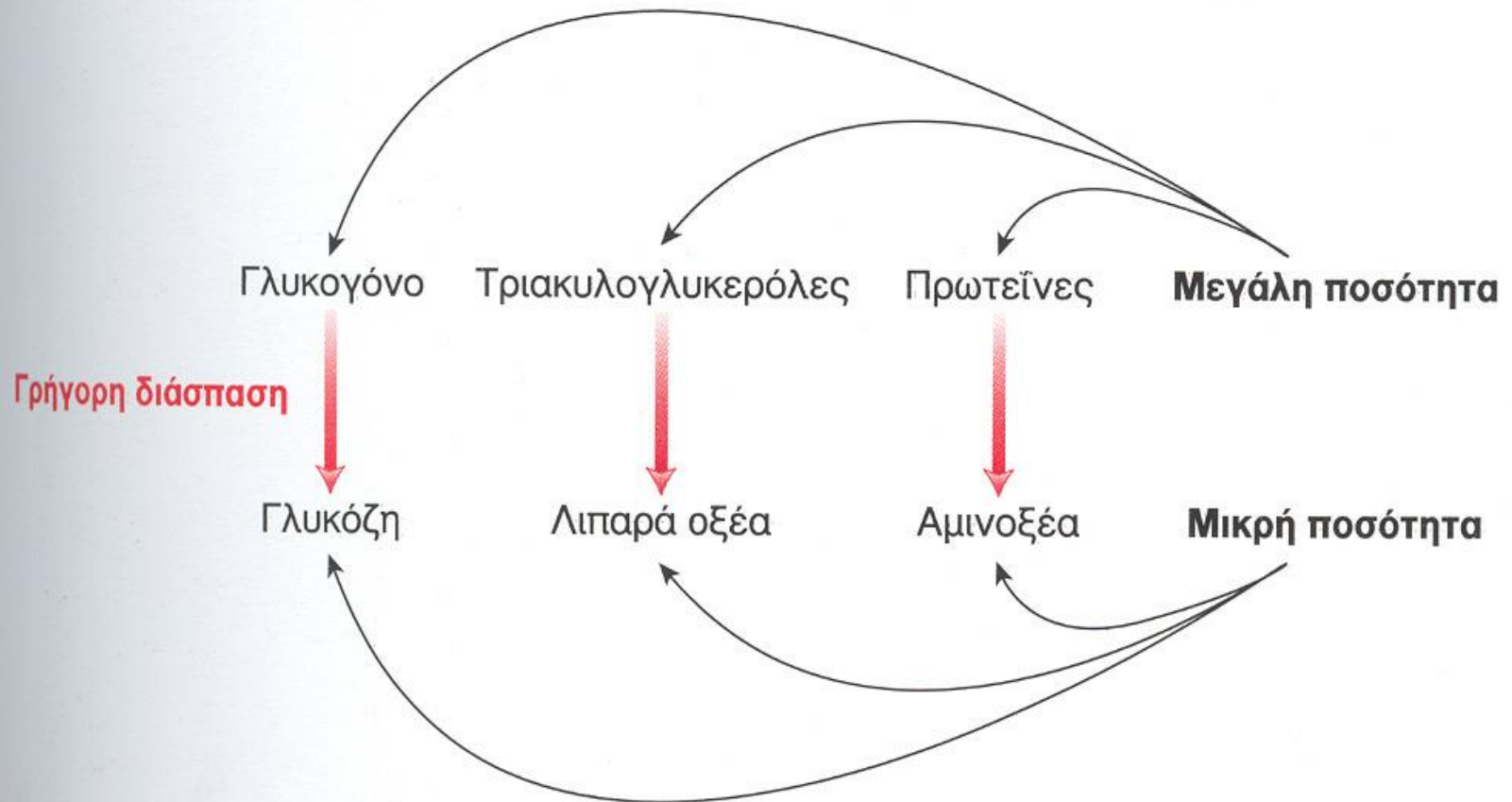
Λιπίδια

Πρωτεΐνες

Νουκλεϊκά οξέα



ΜΑΚΡΟΜΟΡΙΑ



ΕΙΚΟΝΑ 9.1 Από τις αποθήκες στην κατανάλωση. Το σώμα διαθέτει μεγάλες ποσότητες μακρομορίων ή αποθηκευτικών μορίων και μικρές ποσότητες των δομικών συστατικών τους. Όμως τα πρώτα μπορούν να διασπαστούν στα δεύτερα με απλές αντιδράσεις που επιτρέπουν τη γρήγορη διάθεσή τους για άμεσες ανάγκες, όπως η παραγωγή ενέργειας για την άσκηση.

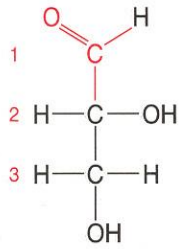
**ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ
ΥΔΑΤΑΝΘΡΑΚΩΝ
ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ**

Υδατάνθρακες

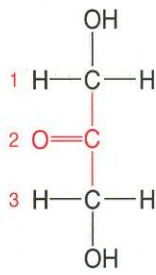
- Βιολογικές ενώσεις με κοινό χαρακτηριστικό την παρουσία C,H,O. Ο γενικός τύπος είναι:
(CH₂O)

Ρόλος των υδατανθράκων

- Άμεση πηγή (γλυκόζη) και αποθήκευση ενέργειας (άμυλο και γλυκογόνο).
- Απόδοση ενέργειας = 4 θερμίδες ανά γραμμάριο
- Εξωτερική προστασία στα κύτταρα (κυτταρίνη)
- Αναγνώριση μορίων ή κυττάρων
- Παρουσία στα νουκλεϊκά οξέα (ριβόζη και δεοξυριβόζη)
- Μονοσακχαρίτες (τριόζες, πεντόζες, εξόζες)
- Δισακχαρίτες (Σακχαρόζη = γλυκόζη + φρουκτόζη) - Γλυκοσιδική ένωση ($H + OH = H_2O$)
- Ολιγοσακχαρίτες (3-10 μονοσακχαρίτες)
- πολυσακχαρίτες (>10 μονοσακχαρίτες)

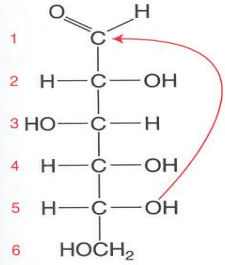


D-Γλυκεραλδεΐδη

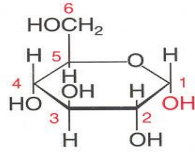


Διυδροξυακετόνη

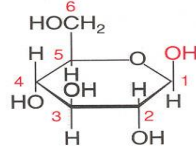
ΕΙΚΟΝΑ 5.1 Τριόζες. Οι απλούστεροι υδατάνθρακες είναι οι τριόζες γλυκεραλδεΐδη και διυδροξυακετόνη. Αριστερά, η αριθμηση των ατόμων άνθρακα.



D-Γλυκόζη

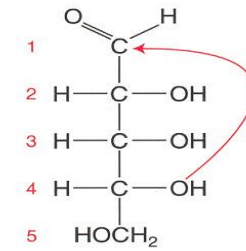


α-D-Γλυκοπυρανόζη

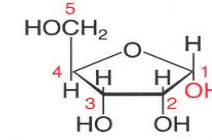


β-D-Γλυκοπυρανόζη

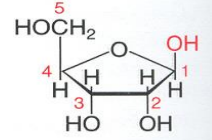
ΕΙΚΟΝΑ 5.3 Γλυκόζη. Η D-γλυκόζη, βασική πηγή ενέργειας των κυττάρων, υπάρχει σε γραμμική και κυκλική μορφή. Η δεύτερη διακρίνεται από την πρώτη με την παρεμβολή του συνθετικού *-πυρανο-*, που χαρακτηρίζει τον εξαμελή δακτύλιο με ένα άτομο O. Υπάρχουν δύο κυκλικά ισομερή, τα α και β, που διαφέρουν ως προς τη θέση της υδροξυλομάδας του C1.



D-Ριβόζη

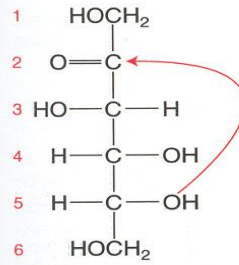


α-D-Ριβοφουρανόζη

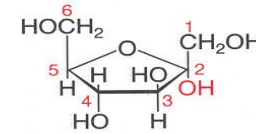


β-D-Ριβοφουρανόζη

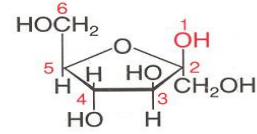
ΕΙΚΟΝΑ 5.2 Ριβόζη. Η D-ριβόζη υπάρχει σε γραμμική και κυκλική μορφή. Το βέλος δείχνει τον τρόπο κυκλοποίησης της γραμμικής μορφής. Η κυκλική μορφή ξεχωρίζεται από τη γραμμική με την παρεμβολή του συνθετικού *-φουρανο-*, που χαρακτηρίζει τον πενταμελή δακτύλιο με ένα άτομο O. Υπάρχουν δύο κυκλικά ισομερή, τα α και β, που διαφέρουν ως προς τη θέση της υδροξυλομάδας του C1.



D-Φρουκτόζη

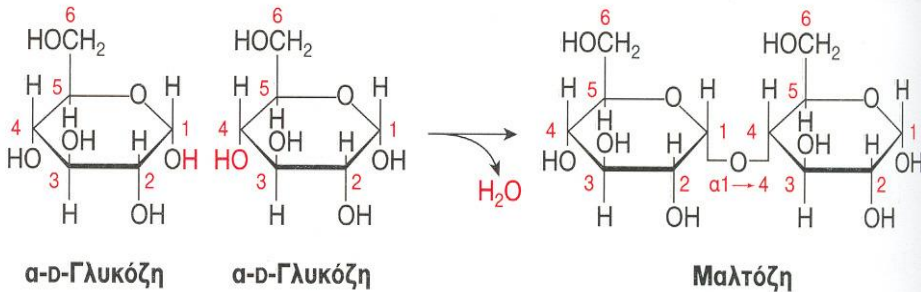


α-D-Φρουκτοφουρανόζη



β-D-Φρουκτοφουρανόζη

ΕΙΚΟΝΑ 5.4 Φρουκτόζη. Η D-φρουκτόζη διαφέρει από τη D-γλυκόζη κατά το ότι έχει την καρβonyλομάδα στη θέση 2 αντί της θέσης 1. Αποτέλεσμα αυτού είναι η κυκλική μορφή της φρουκτόζης να αποτελείται από πενταμελή φουρανικό δακτύλιο. Ο χαρακτηρισμός της φρουκτοφουρανόζης ως α ή β στηρίζεται στη θέση της υδροξυλο-

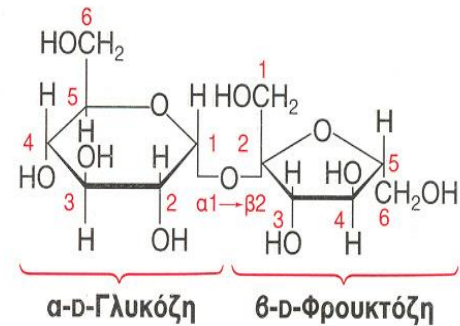


α-D-Γλυκόζη

α-D-Γλυκόζη

Μαλτόζη

ΕΙΚΟΝΑ 5.5 Γλυκοζιδική σύνδεση. Δυο μονοσακχαρίτες μπορούν να ενωθούν μέσω υδροξυλομάδων τους με αποβολή ενός μορίου νερού. Στο παράδειγμα δυο μόρια α-D-γλυκόζης ενώνονται με μια α1 → 4 γλυκοζιδική σύνδεση για να σχηματίσουν το δι-σακχαρίτη μαλτόζη.

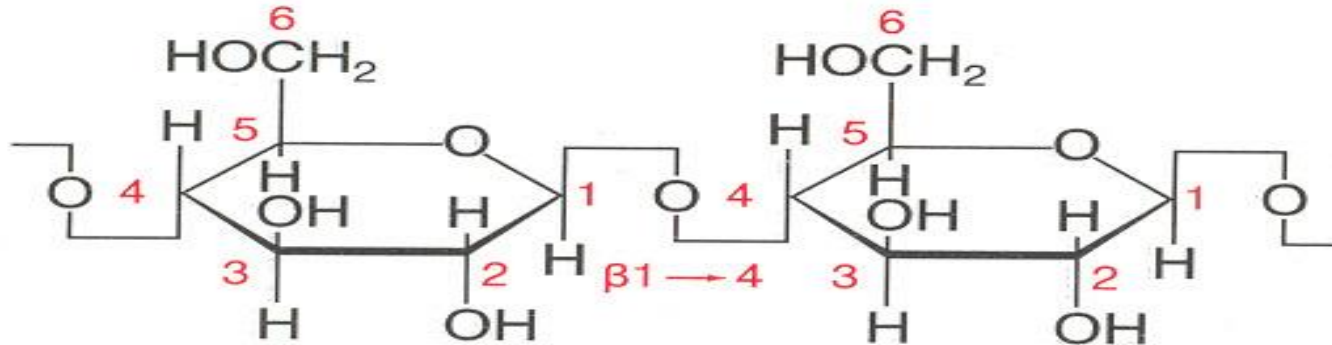


α-D-Γλυκόζη

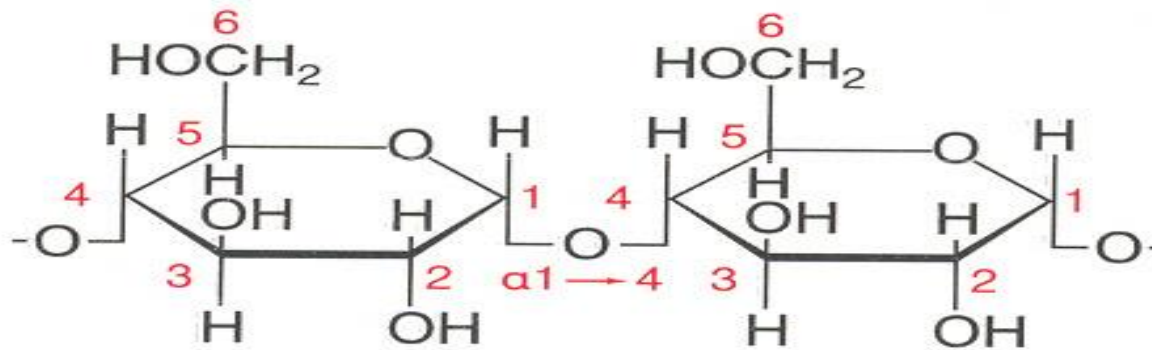
β-D-Φρουκτόζη

ΕΙΚΟΝΑ 5.6 Ζάχαρη. Η σακχαρόζη (ζάχαρη), η πιο κοινή γλυκαντική ουσία, είναι ένας δι-σακχαρίτης αποτελούμενος από γλυκόζη και φρουκτόζη. Προσέξτε ότι η μονάδα της β-D-φρουκτόζης έχει γυριστεί ανάποδα σε σχέση με την εικόνα 5.4.

ΠΟΛΥΣΑΓΧΑΡΙΤΕΣ

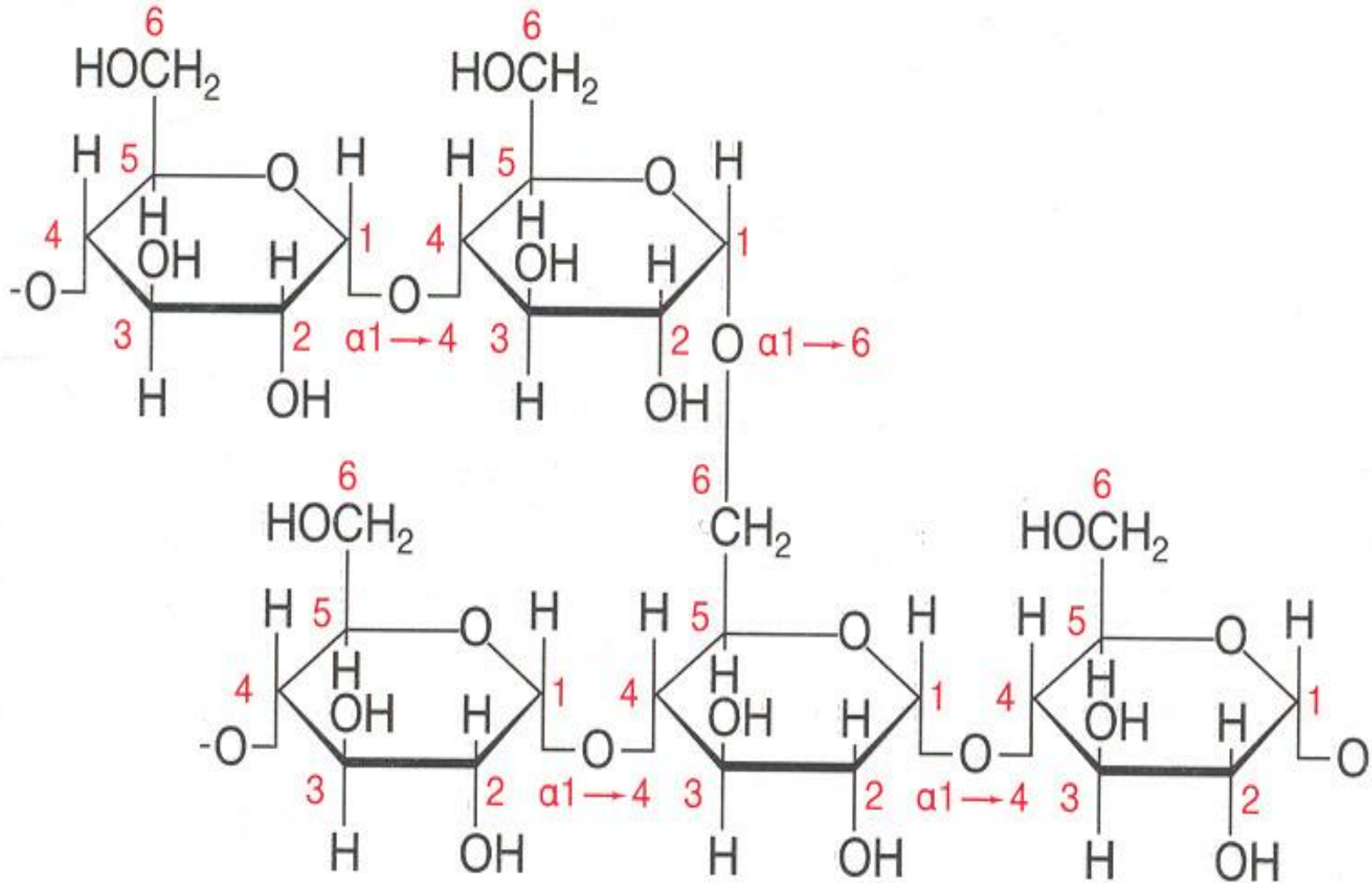


Κυτταρίνη



Αμυλόζη

ΓΛΥΚΟΓΟΝΟ



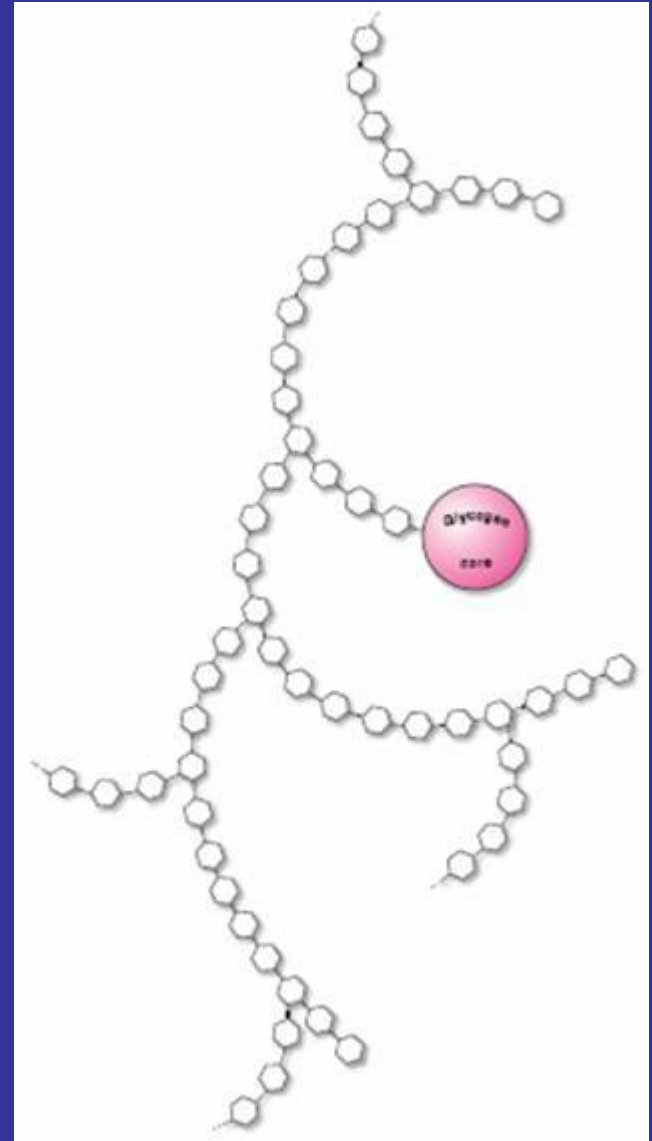
Αμυλοπηκτίνη & Γλυκογόνο

Μεταβολισμός του γλυκογόνου

Το γλυκογόνο αποθηκεύεται κυρίως στο ήπαρ (3-7% κατά βάρος) και στους μύες (1-1,5% κατά βάρος).

Σε έναν άνδρα 70 kg το ήπαρ του ζυγίζει περίπου 1,8 kg και οι μύες του 28 kg (40% του σωματικού βάρους).

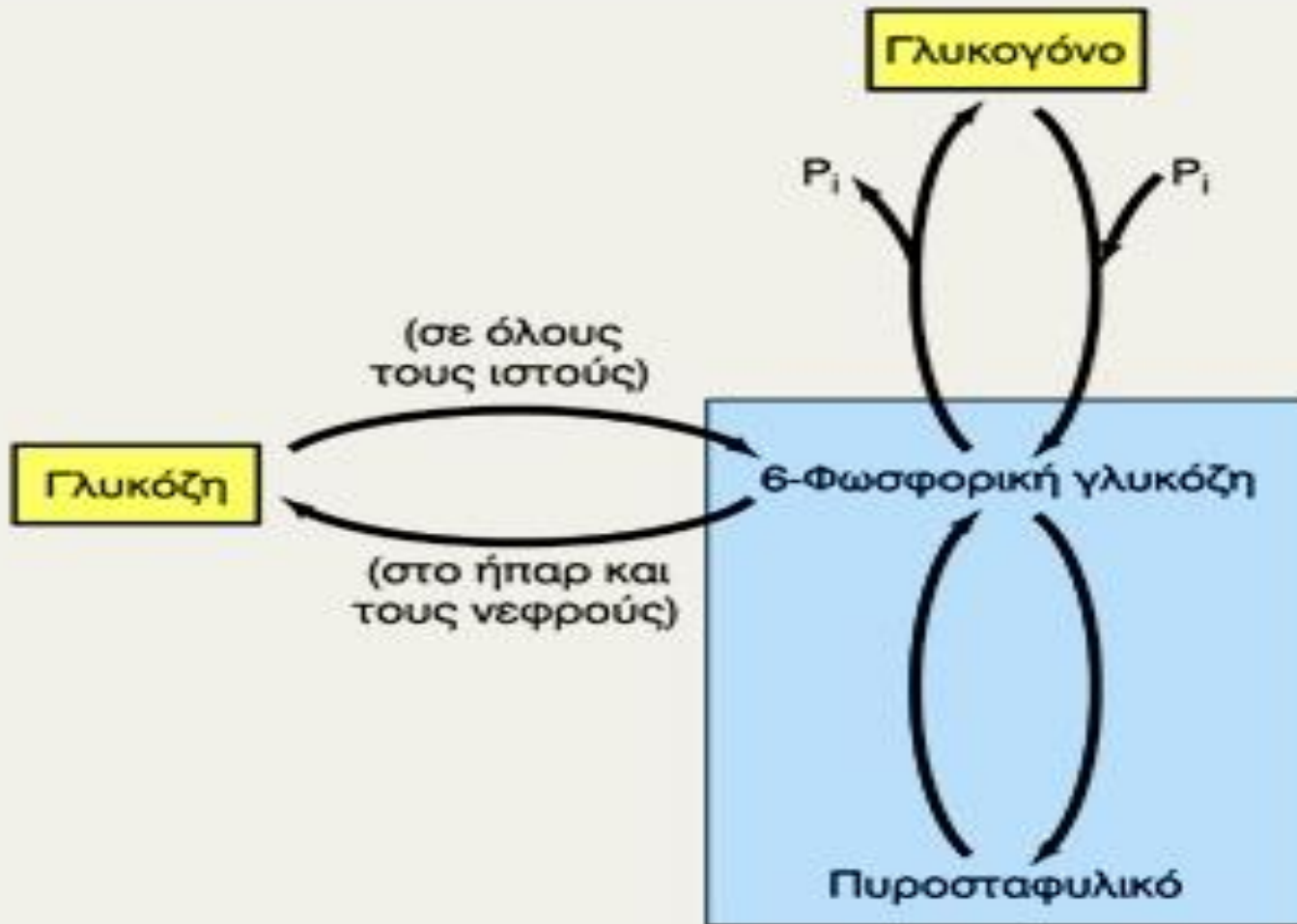
Συνεπώς, η μέση ποσότητα σε γλυκογόνο στο ήπαρ θα είναι 90 g και στους μύες 350 g.



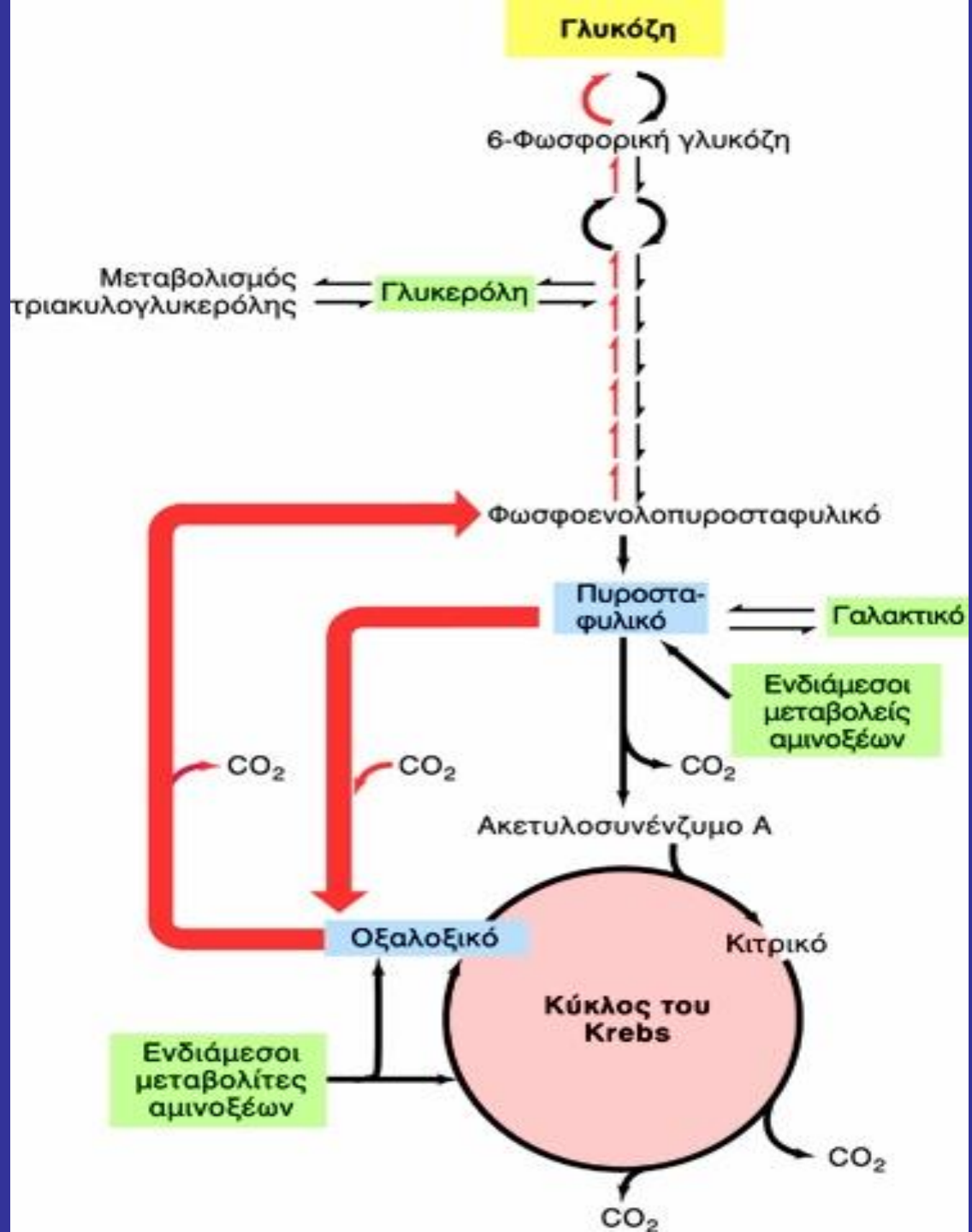
ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΑ ΜΟΝΟΠΑΤΙΑ ΥΔΑΤΑΝΘΡΑΚΩΝ

- Σύνθεση γλυκογόνου
- Διάσπαση γλυκογόνου
- Γαλακτική γλυκόλυση
- Αερόβια γλυκόλυση
- Γλουκονεογένεση
- Κύκλος των Cori

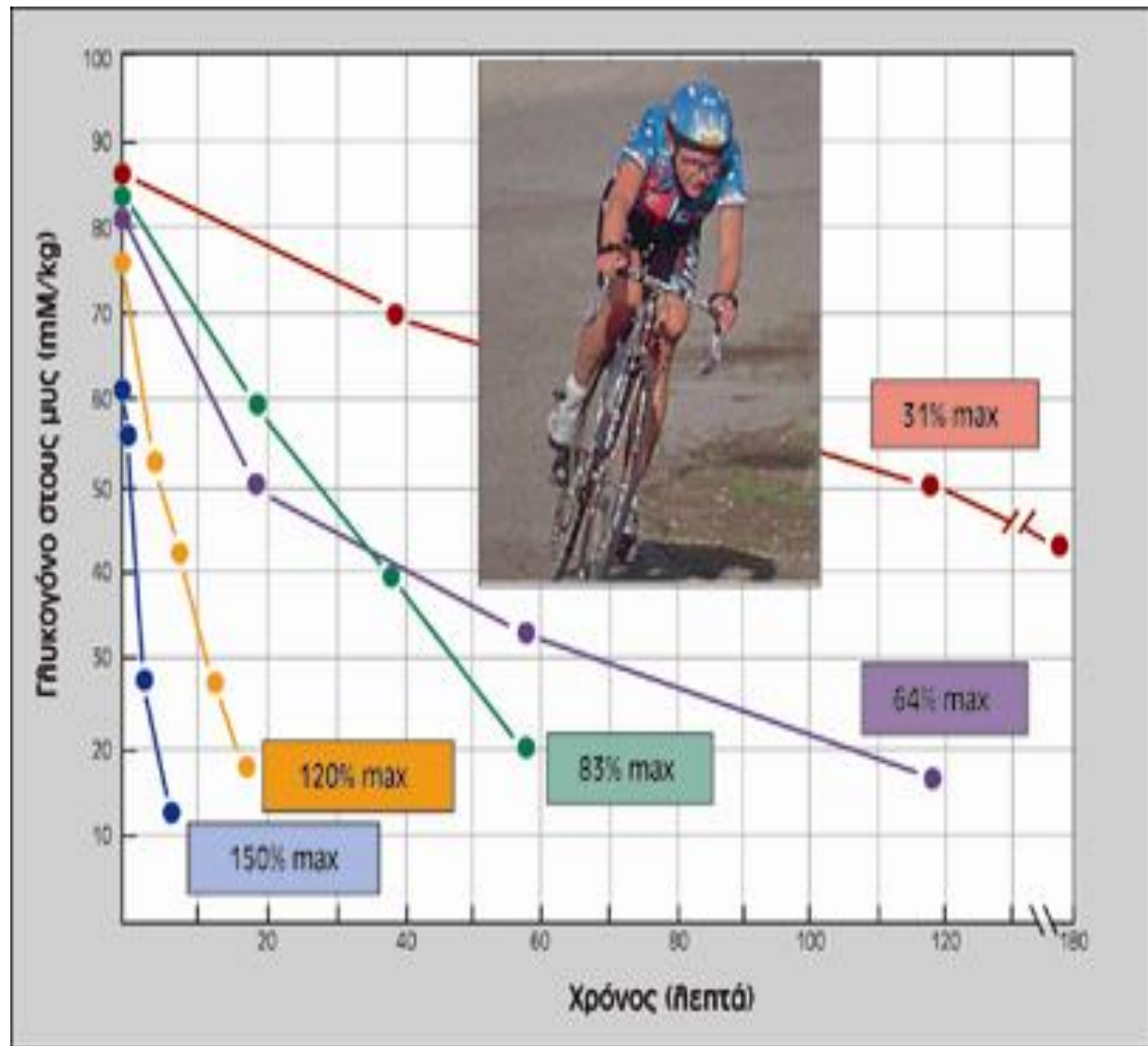
Ο ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΓΛΥΚΟΖΗΣ



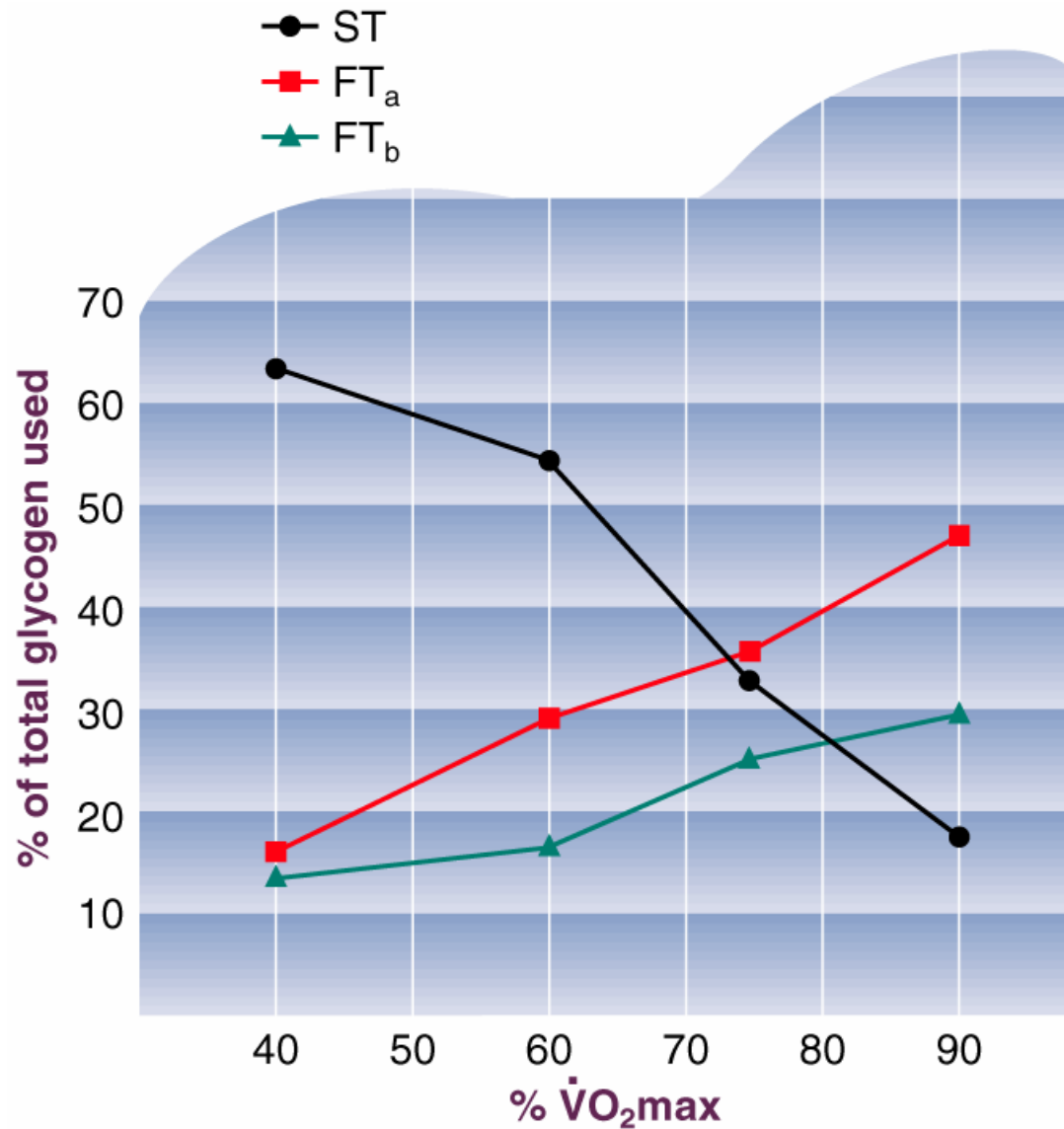
Ο ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΓΛΥΚΟΖΗΣ



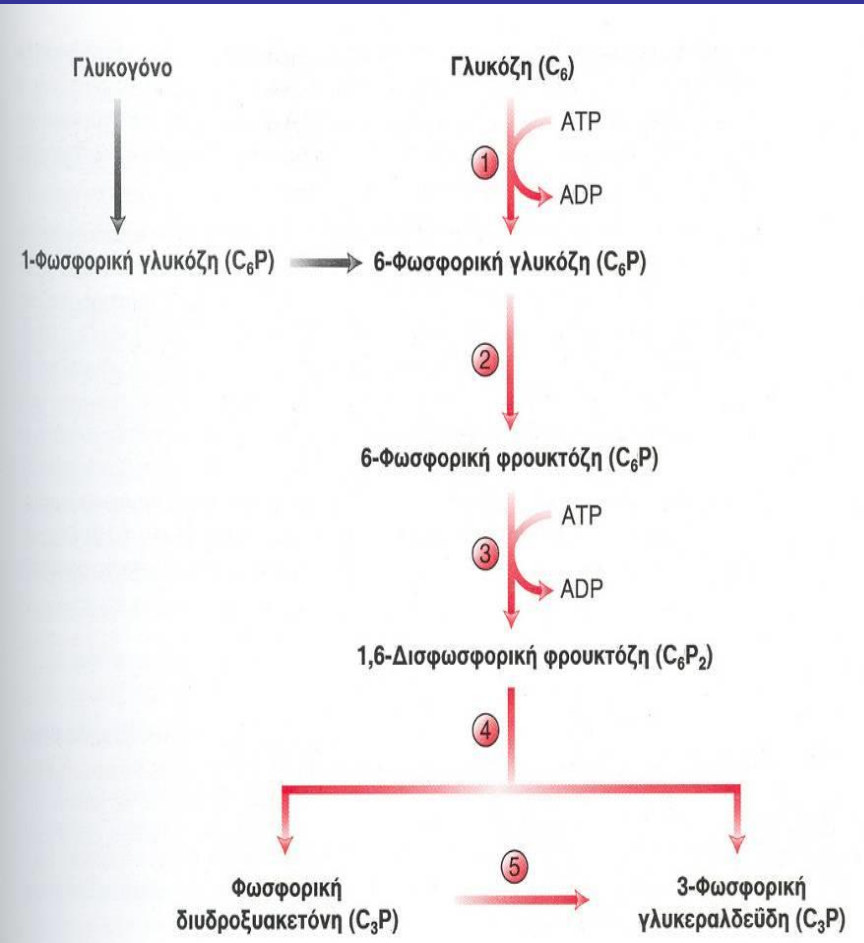
ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΥΪΚΟΥ ΓΛΥΚΟΓΟΝΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ



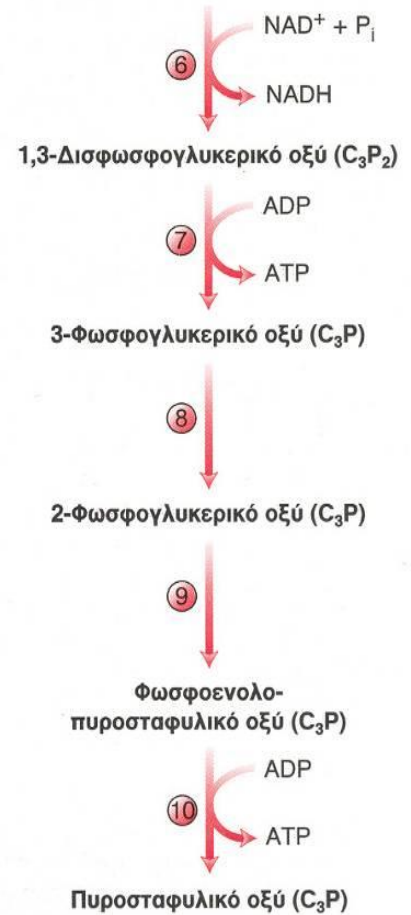
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΜΥΪΚΟΥ ΓΛΥΚΟΓΟΝΟΥ ΣΤΙΣ ΜΥΪΚΕΣ ΙΝΕΣ



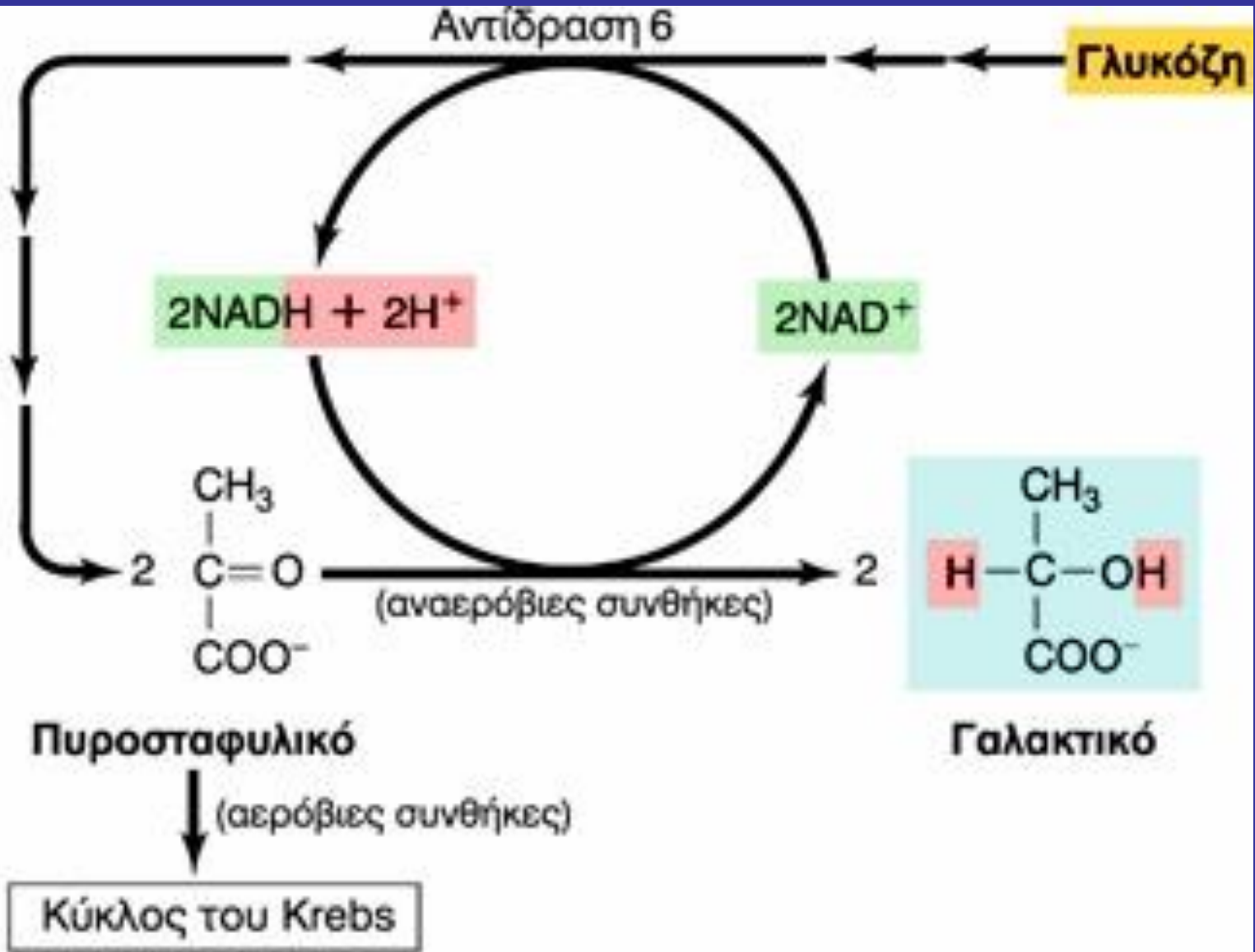
Η ΓΛΥΚΟΛΥΣΗ



ΕΙΚΟΝΑ 9.12 Γλυκόλυση. Η γλυκόλυση είναι ένα μονοπάτι θεμελιώδους σημασίας για το μεταβολισμό των υδατανθράκων. Μέσω των αντιδράσεων της η γλυκόζη και η 1-φωσφορική γλυκόζη (το κύριο προϊόν της γλυκογονόλυσης) μετατρέπονται σε πυροσταφυλικό οξύ ανασυνθέτοντας ATP από ADP. Στις παρενθέσεις τα άτομα άνθρακα και φωσφόρου κάθε ένωσης.

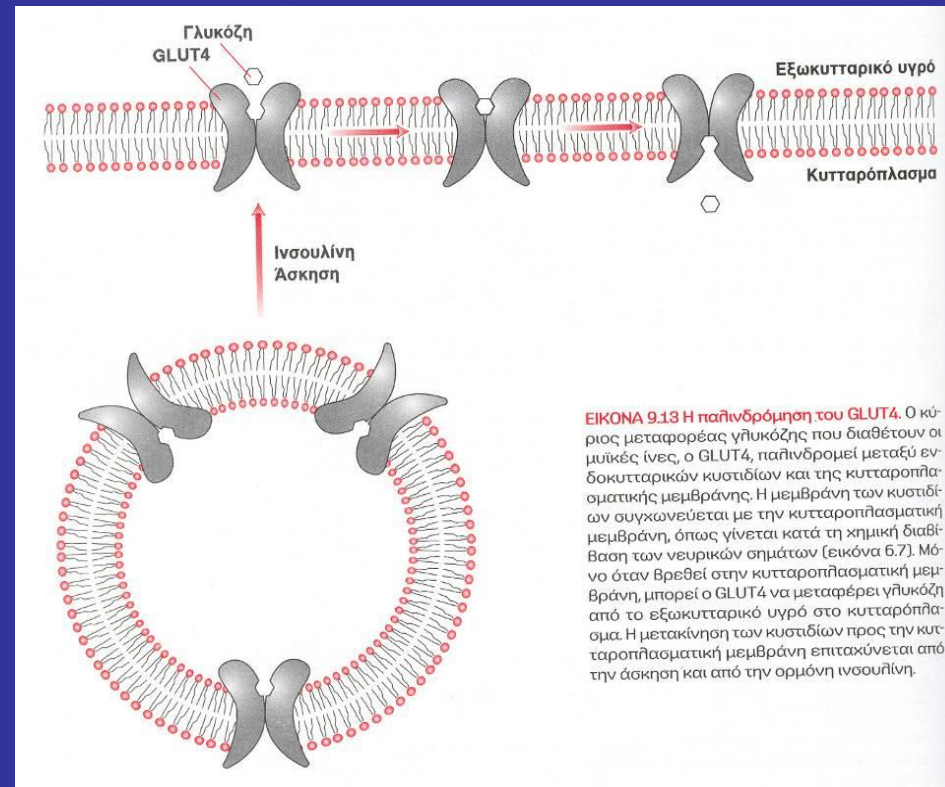


Η ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΤΩΝ NADH ΣΤΗΝ ΓΛΥΚΟΛΥΣΗ

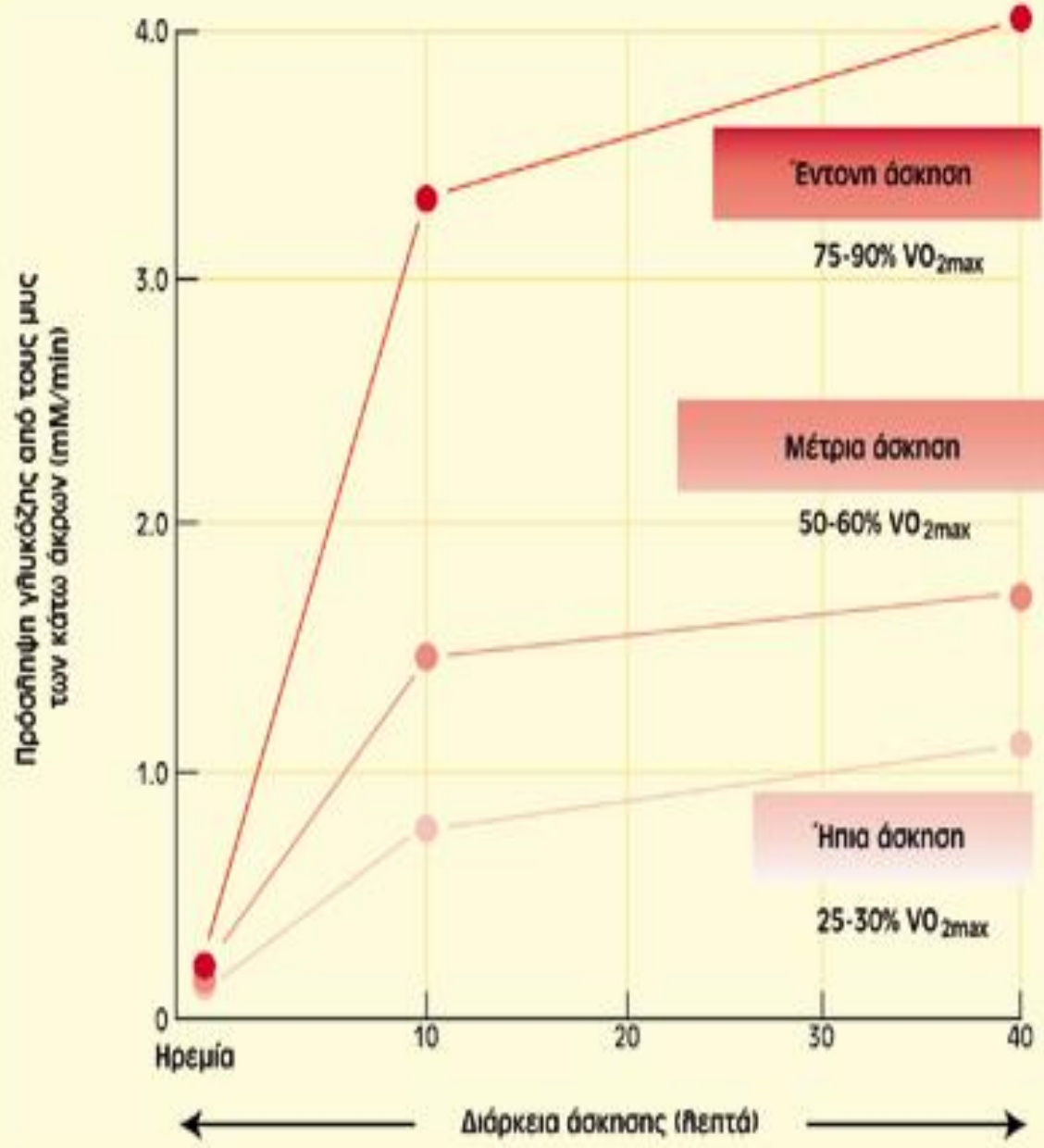


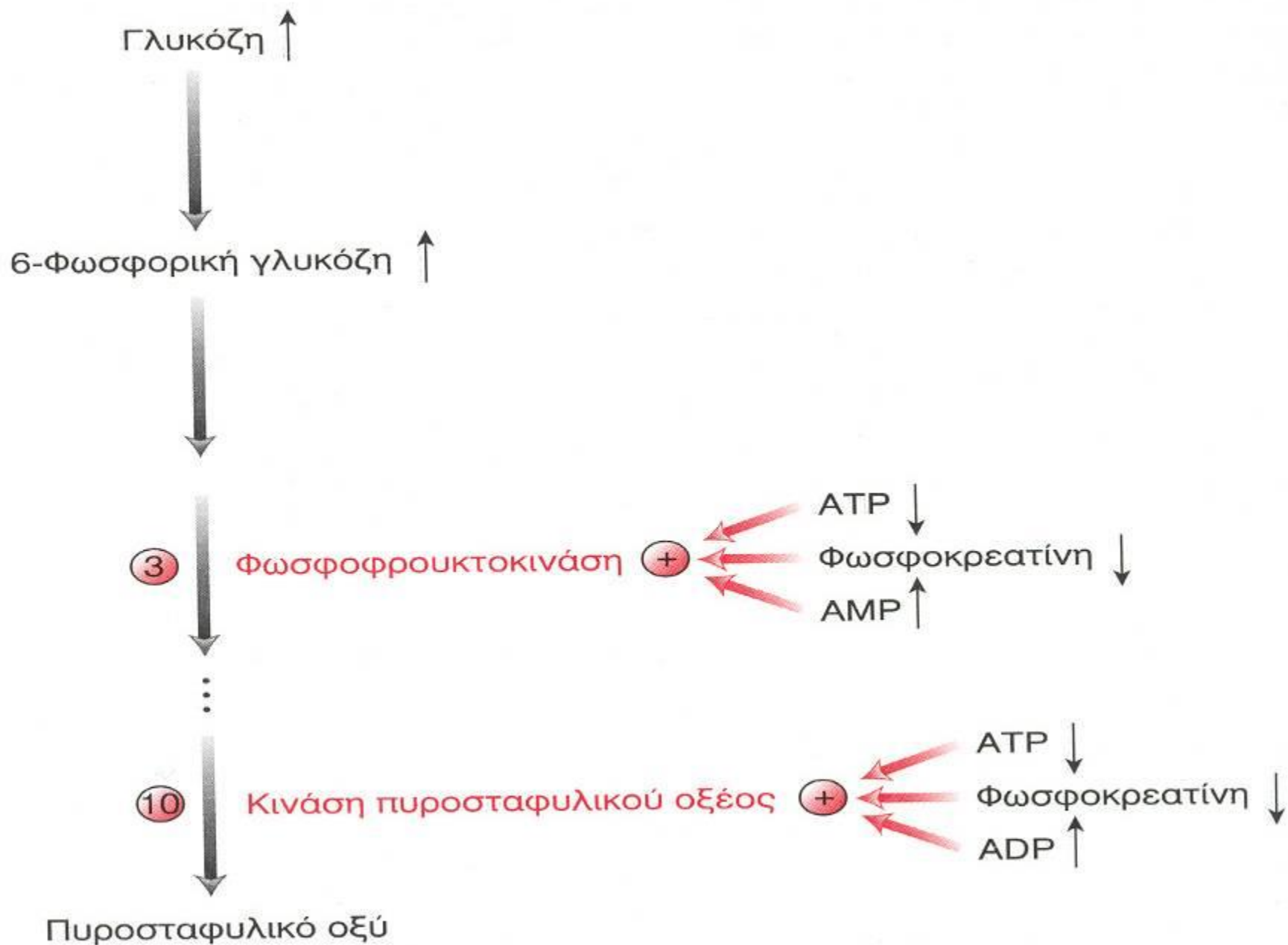
Επιτάχυνση της μυϊκής γλυκόλυσης κατά την άσκηση

1. Αυξημένη πρόσληψη γλυκόζης από το μυ.
2. Αύξηση της αιματικής ροής άρα και της τροφοδοσίας σε γλυκόζη.
3. Αύξηση των γλουκομεταφορέων.
4. Αύξηση του ασβεστίου και των φωσφορικών ομάδων.
5. Αύξηση των κατεχολαμινών.

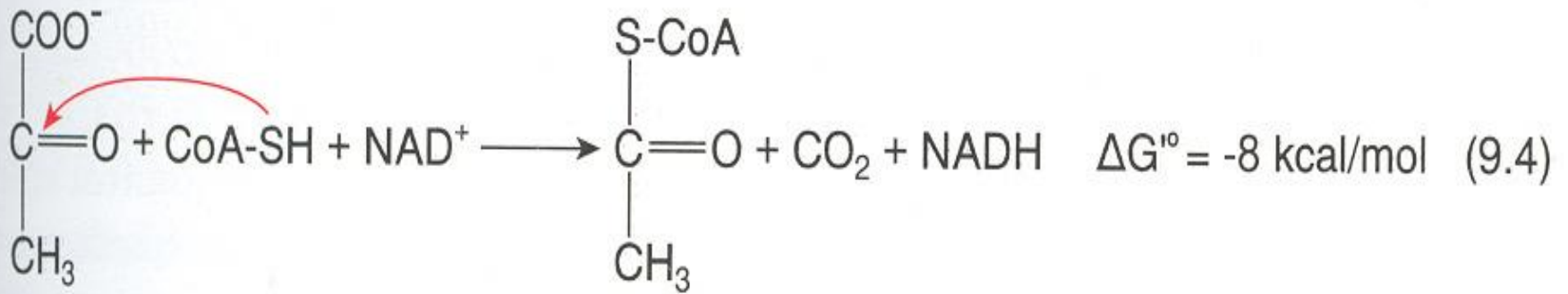


ΕΙΚΟΝΑ 9.13 Η παλινδρόμηση του GLUT4. Ο κύριος μεταφορέας γλυκόζης που διαθέτουν οι μυϊκές ίνες, ο GLUT4, παλινδρομεί μεταξύ ενδοκυτταρικών κυστιδίων και της κυτταροπλάσματικής μεμβράνης. Η μεμβράνη των κυστιδίων συγχωνεύεται με την κυτταροπλάσματική μεμβράνη, όπως γίνεται κατά τη χημική διαβίβαση των νευρικών σημάτων (εικόνα 6.7). Μόνο όταν βρεθεί στην κυτταροπλάσματική μεμβράνη, μπορεί ο GLUT4 να μεταφέρει γλυκόζη από το εξωκυτταρικό υγρό στο κυτταρόπλασμα. Η μετακίνηση των κυστιδίων προς την κυτταροπλάσματική μεμβράνη επιταχύνεται από την άσκηση και από την ορμόνη ινσουλίνη.



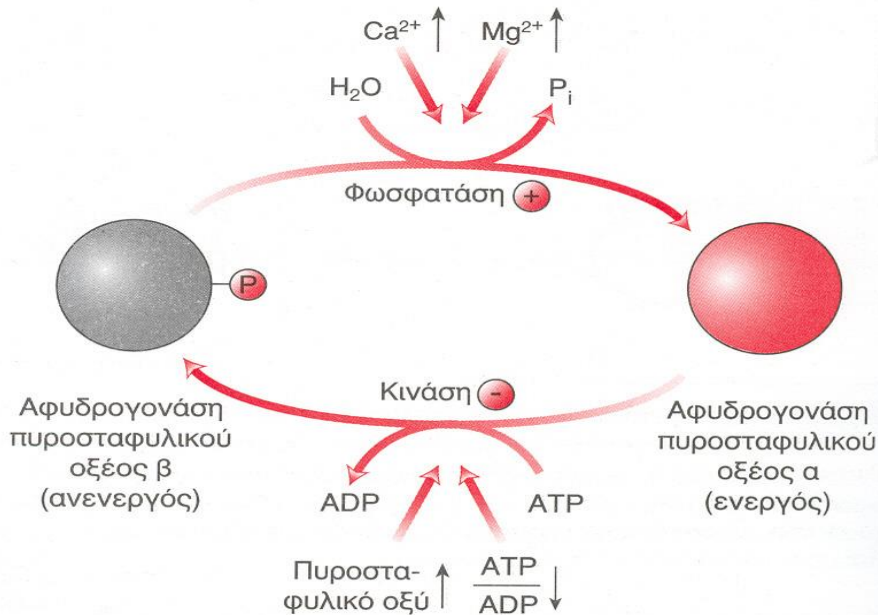


ΕΙΚΟΝΑ 9.14 Ρύθμιση της γλυκόλυσης. Η άσκηση επιταχύνει τη γλυκόλυση στους μύες χάρη στις μεταβολές συγκέντρωσης που σημειώνονται.

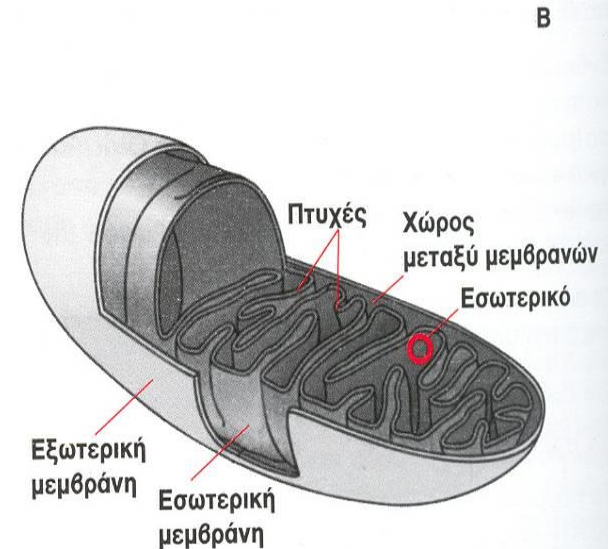
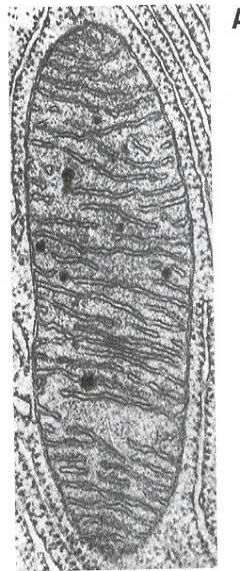


Πυροσταφυ-
λικό οξύ

Ακετυλοσυ-
νένζυμο A

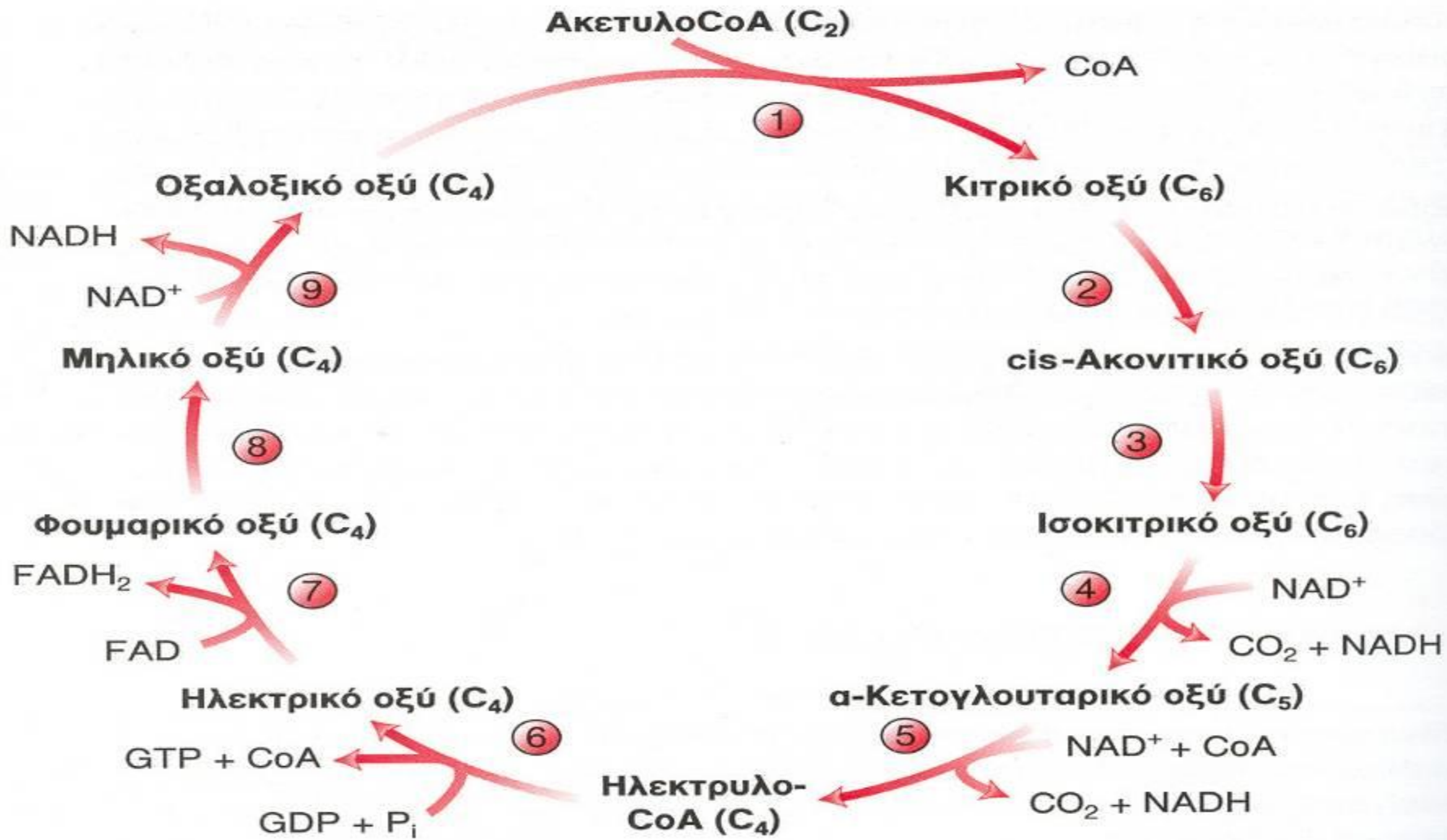


Ρύθμιση της αφυδρογονάσης του πυροσταφυλικού οξέος.



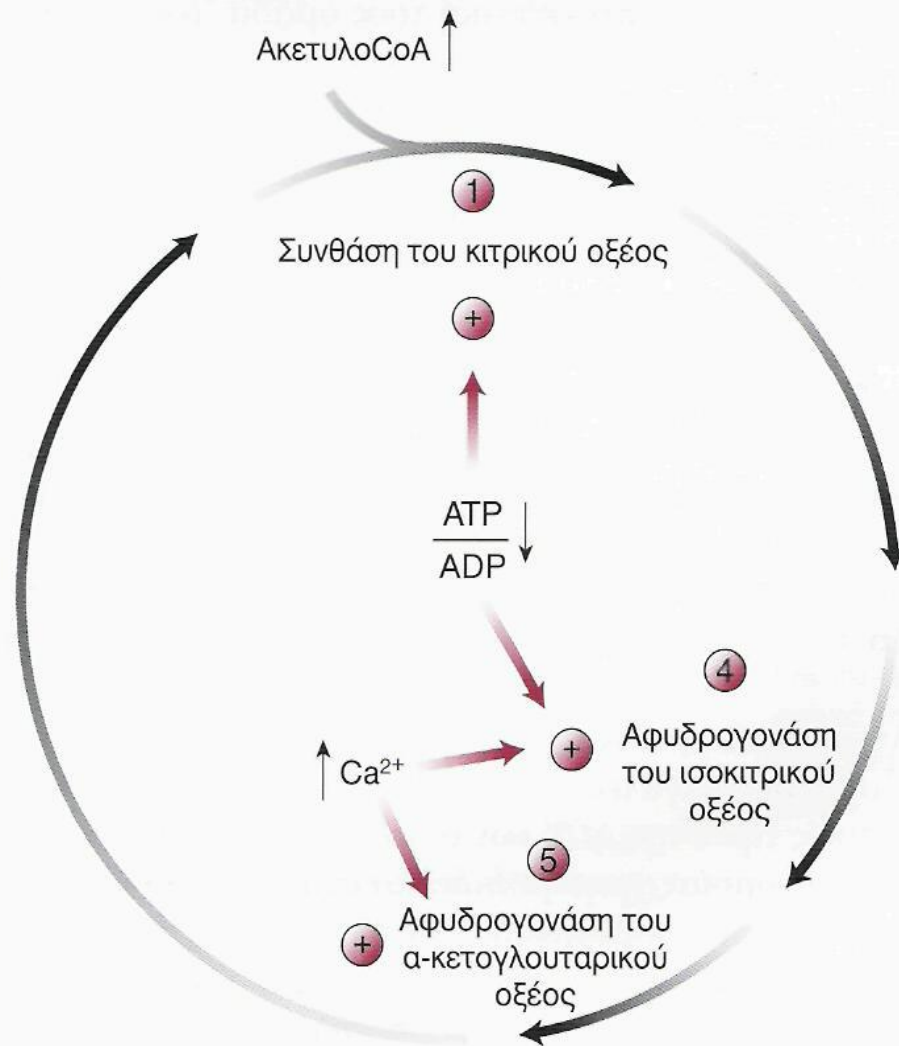
ΕΙΚΟΝΑ 9.15 Μιτοχόνδρια.

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΚΙΤΡΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ



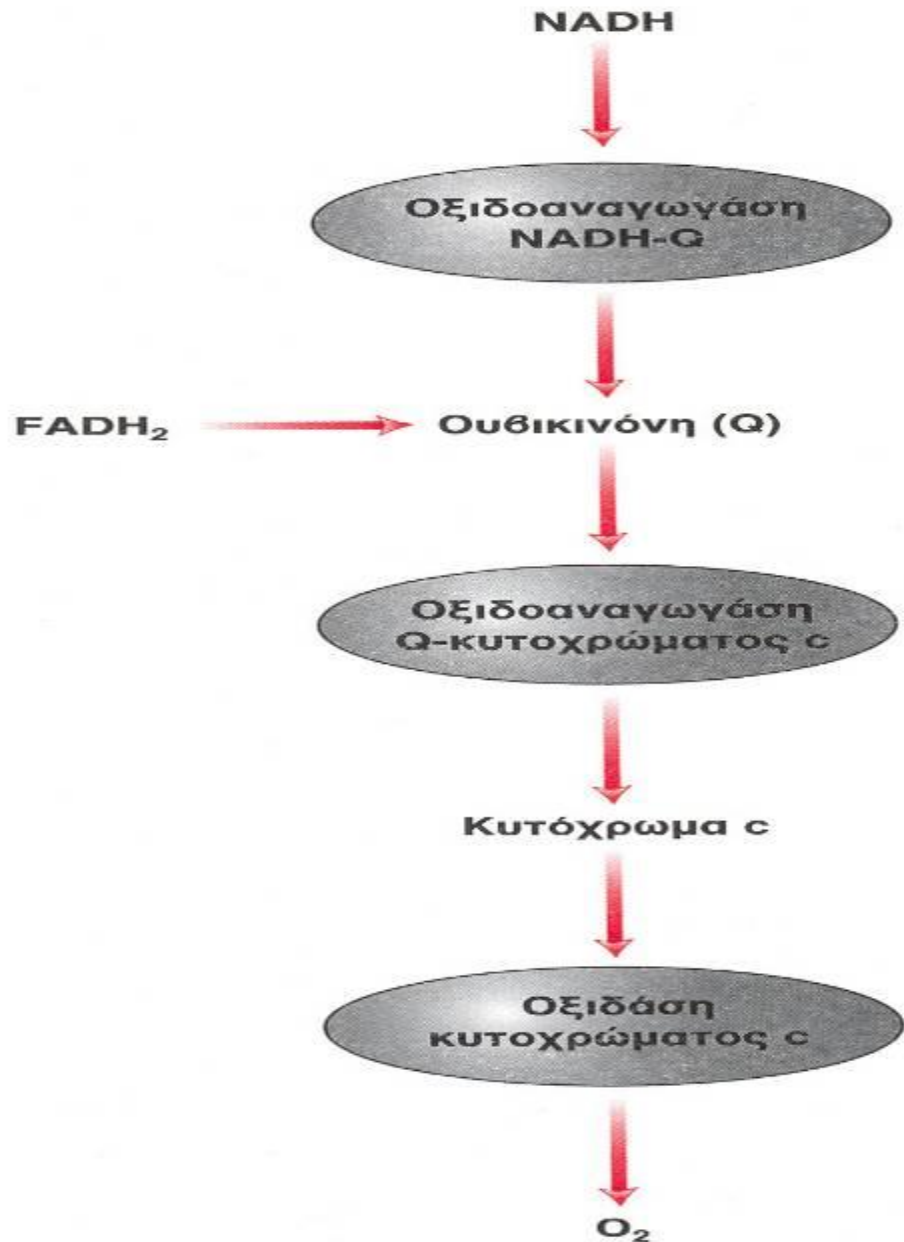
Κύκλος του κίτρικού οξέος.

Ο ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΤΟΥ ΚΙΤΡΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ



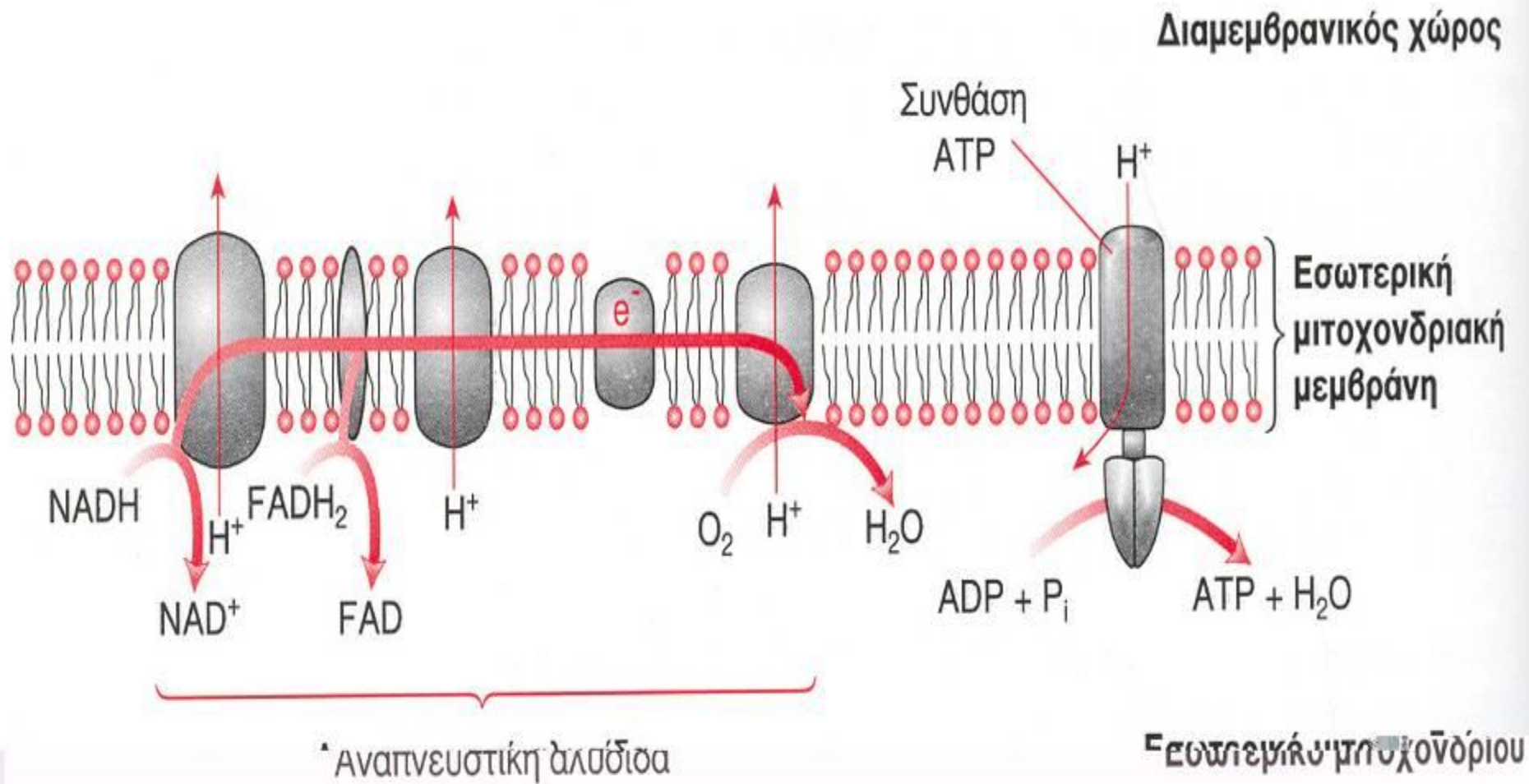
Εικόνα 9.21 Έλεγχος του κύκλου του κιτρικού οξέος. Η άσκηση επιταχύνει τον κύκλο στο μυ αυξάνοντας τη συγκέντρωση του υποστρώματος (ακετυλοCoA), μειώνοντας την αναλογία [ATP]/[ADP] και αυξάνοντας τη συγκέντρωση Ca²⁺.

Η ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ

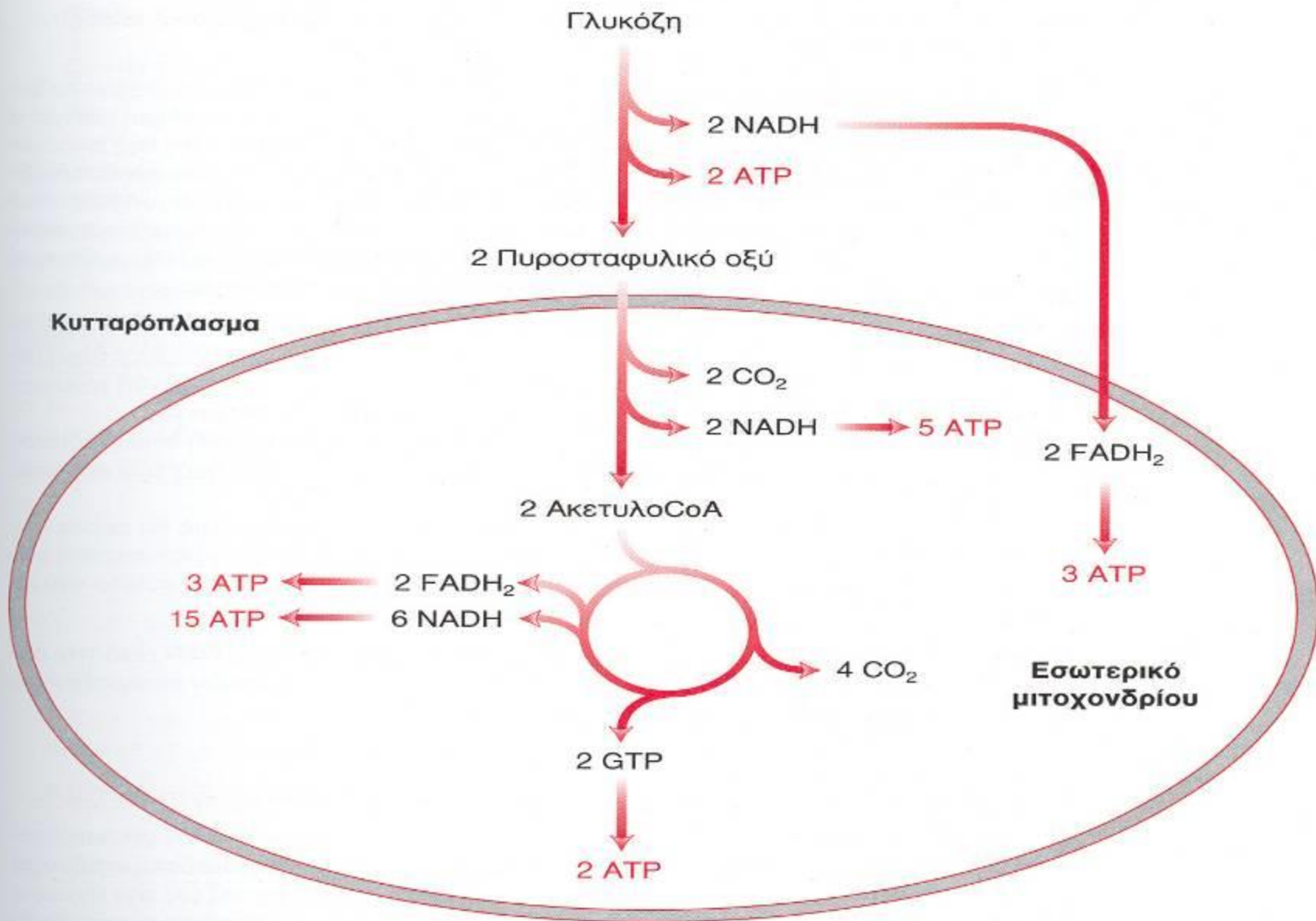


ΕΙΚΟΝΑ 9.20 Αναπνευστική αλυσίδα. Η αναπνευστική αλυσίδα αποτελείται από τρία συμπλέγματα πρωτεϊνών (γκρι ελλείψεις) και δύο ευκίνητους μεταφορείς ηλεκτρονίων. Ηλεκτρόνια από το NADH και το FADH₂ μεταβιβάζονται αρχικά σε διαφορετικά συστατικά της αλυσίδας και ρέουν κατά μήκος της με τελικό προορισμό το οξυγόνο.

Η ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ

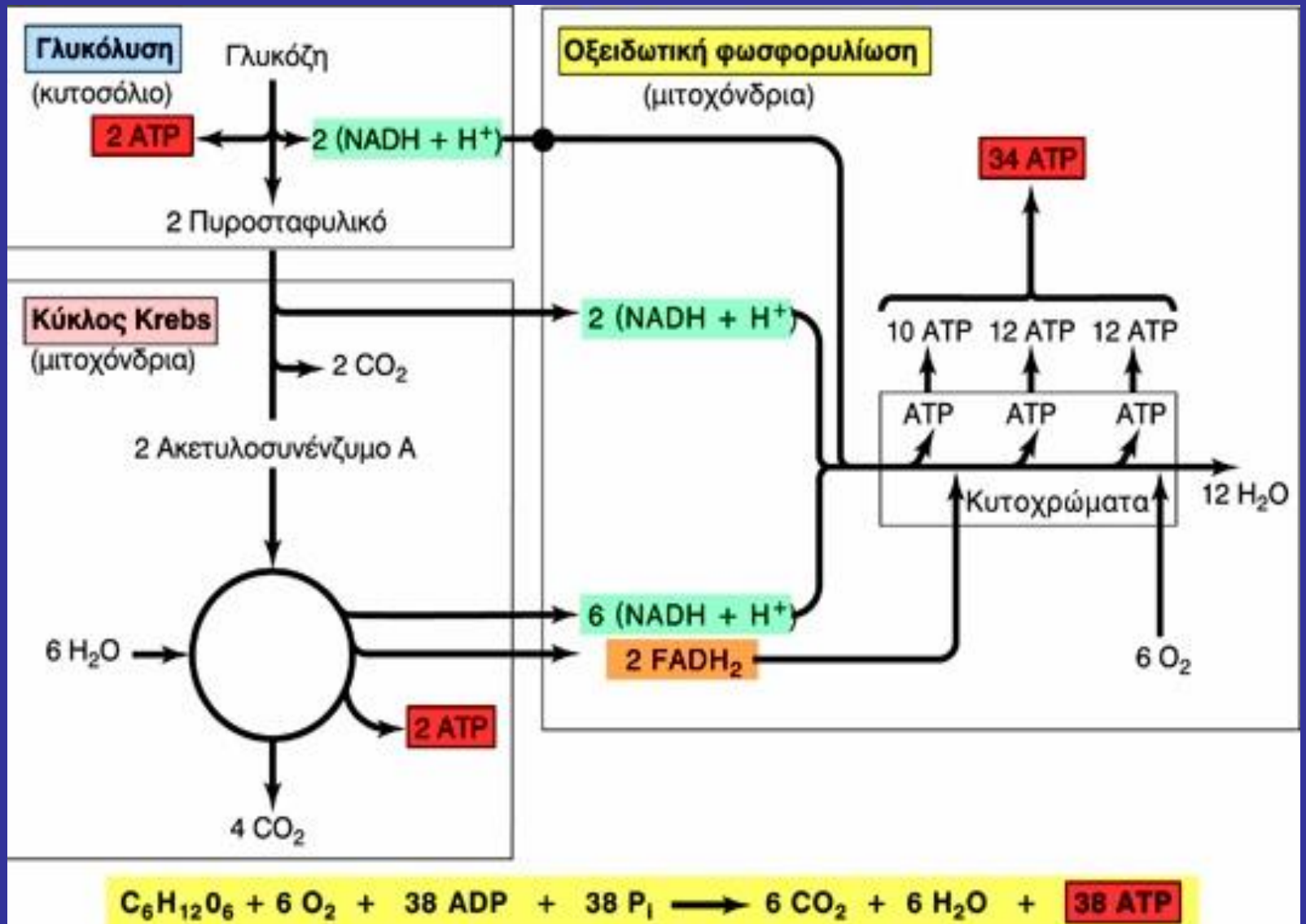


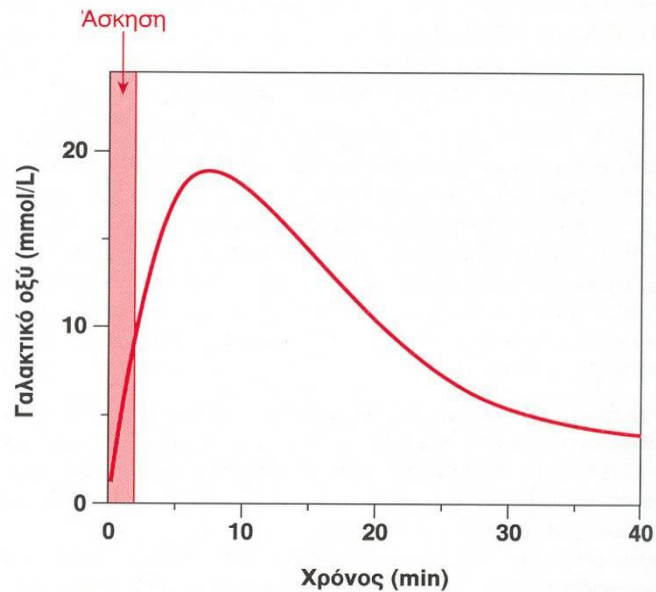
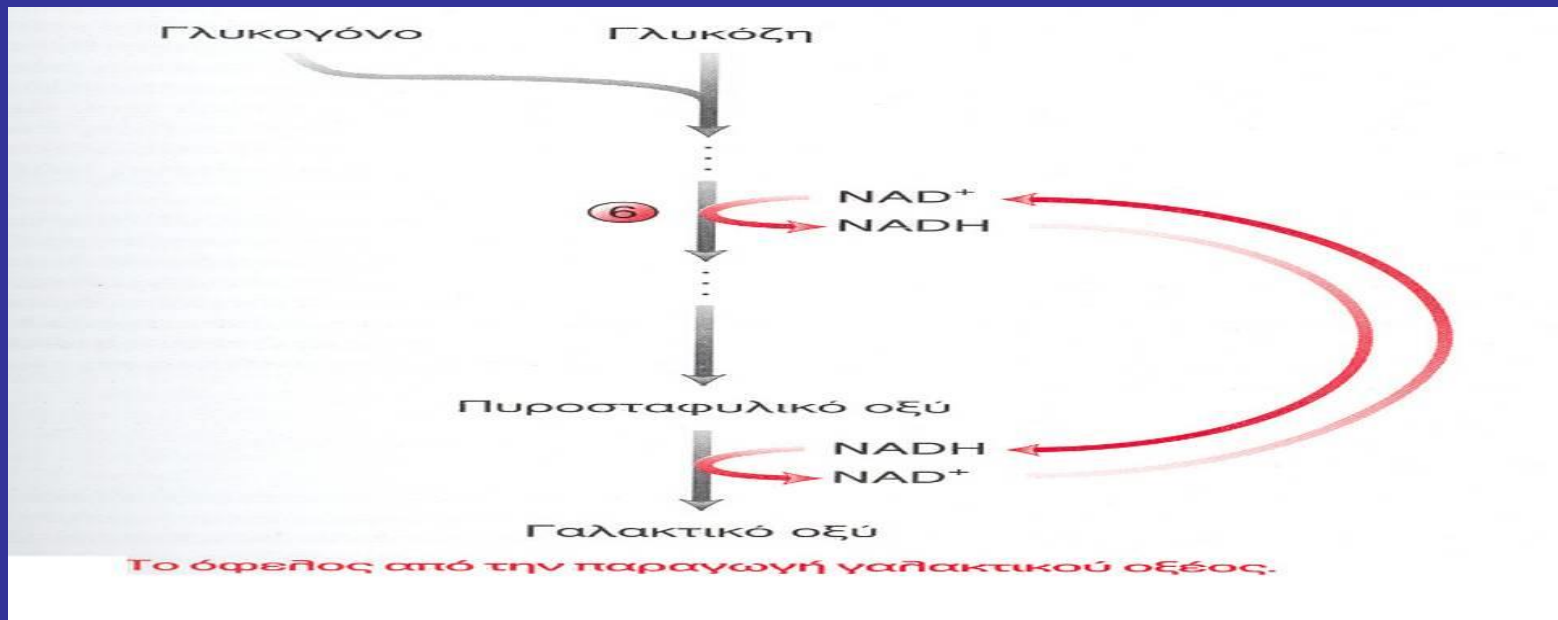
Χημειωσμητική υπόθεση.



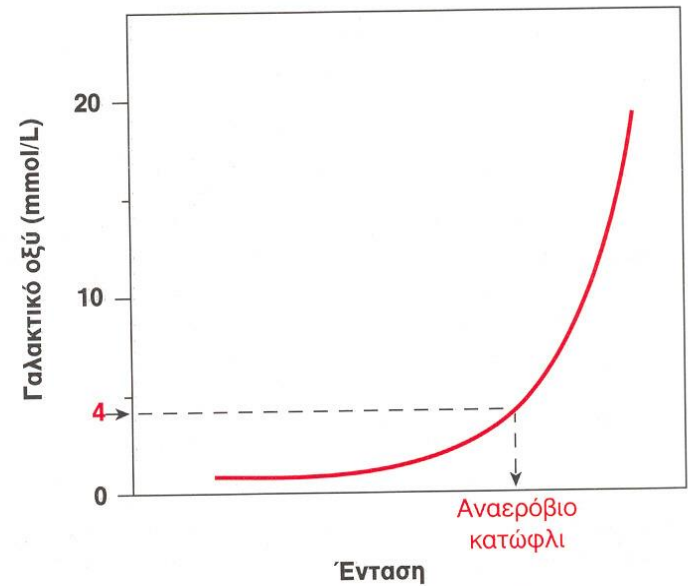
Ενεργειακή απόδοση της καύσης της γλυκόζης.

ΤΕΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΤΡ



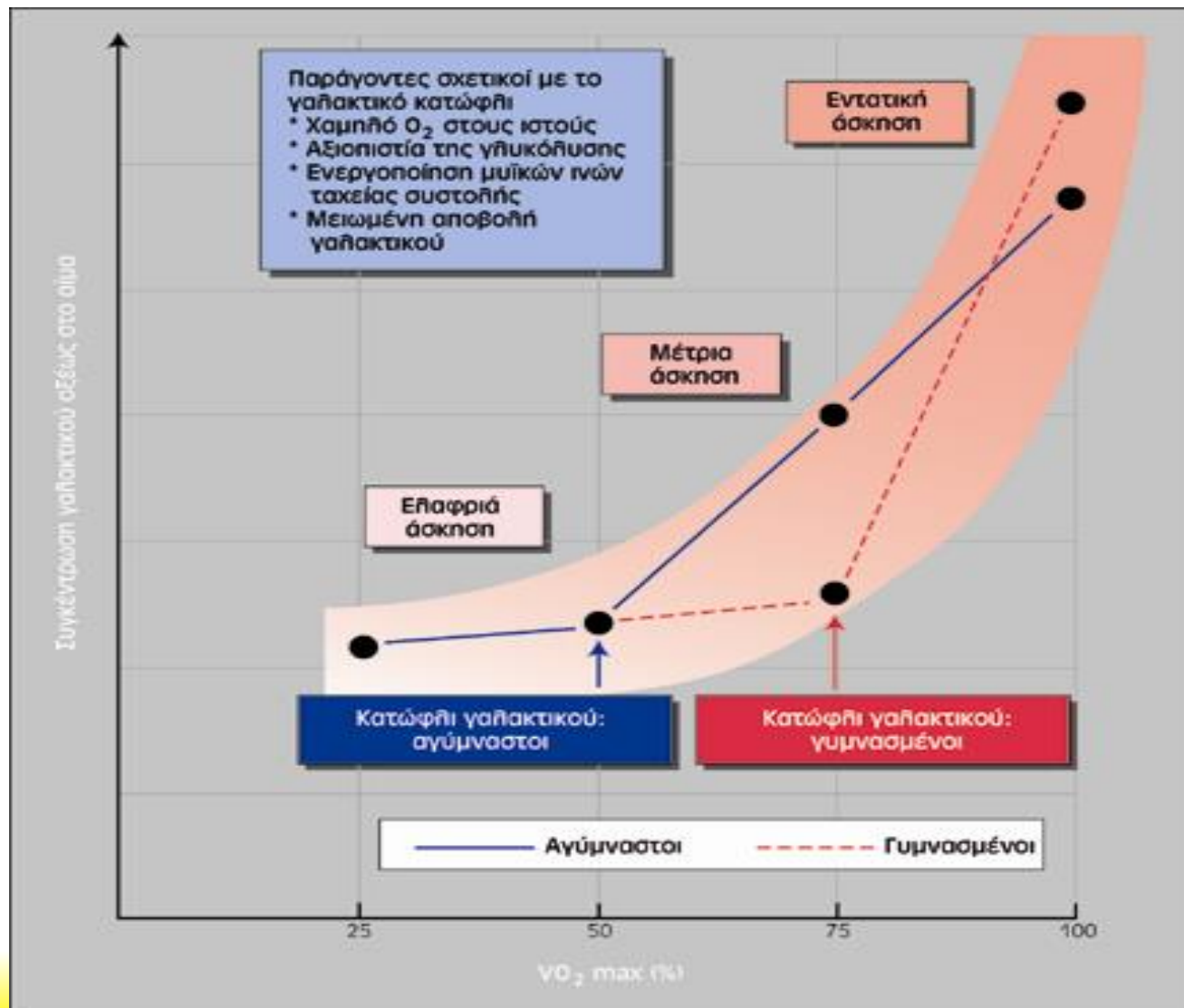


Καμπύλη συγκέντρωσης γαλακτικού οξέος-χρόνου.

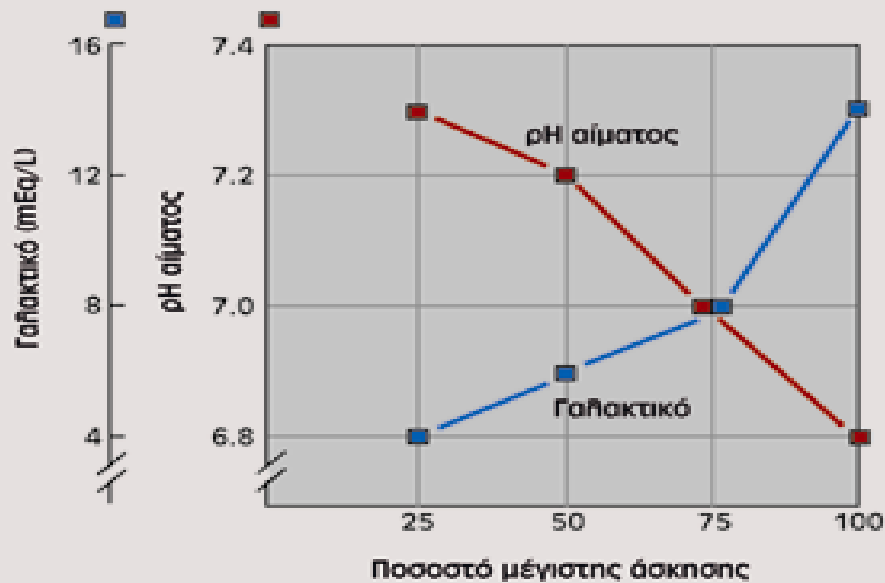
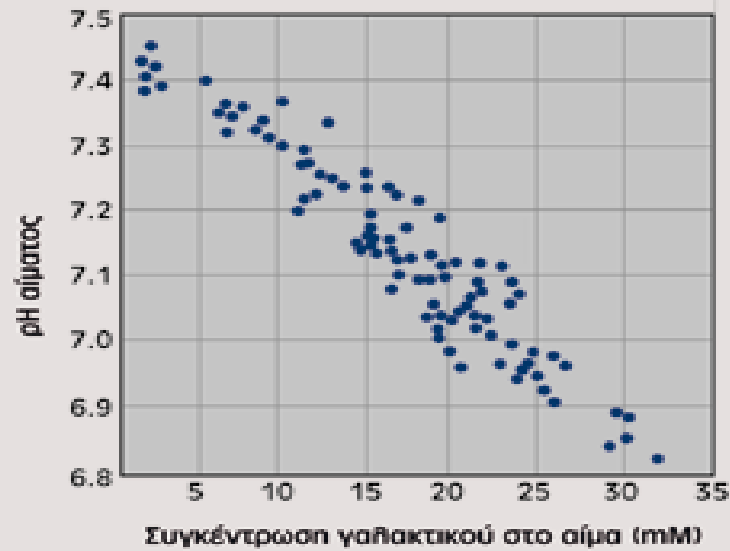


Καμπύλη συγκέντρωσης γαλακτικού οξέος-έντασης.

Η ΣΧΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ & ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ ΓΑΛΑΚΤΙΚΟΥ ΣΤΟ ΑΙΜΑ



ΣΧΕΣΗ ΓΑΛΑΚΤΙΚΟΥ ΚΑΙ pH



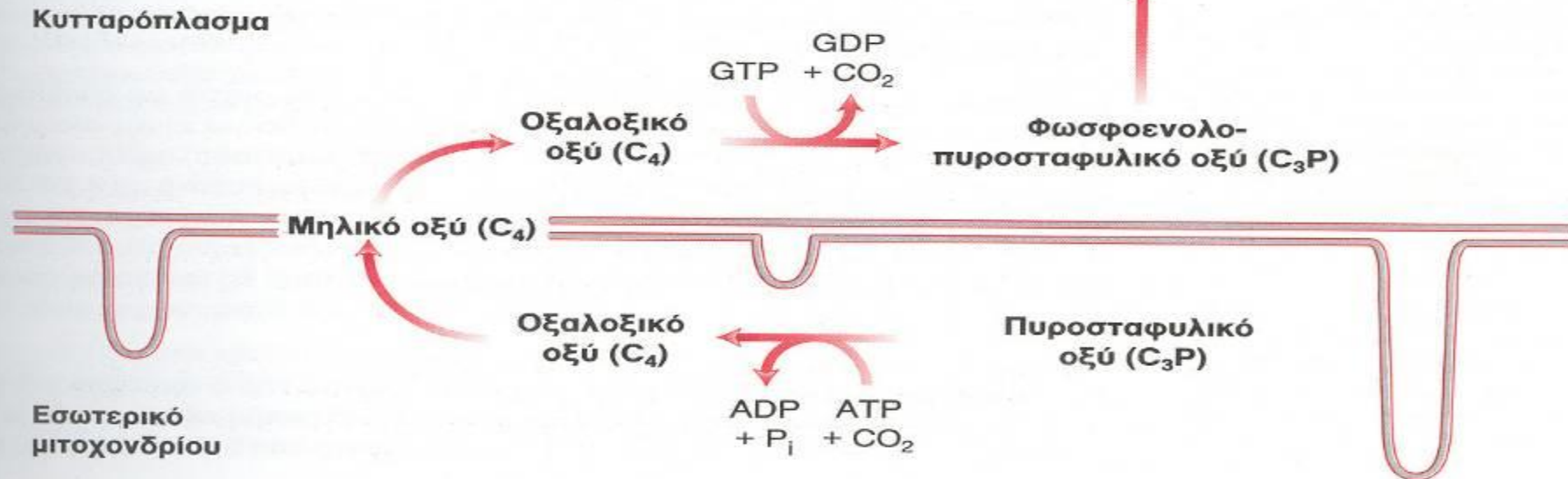
Η ΤΥΧΗ ΤΟΥ ΓΑΛΑΚΤΙΚΟΥ

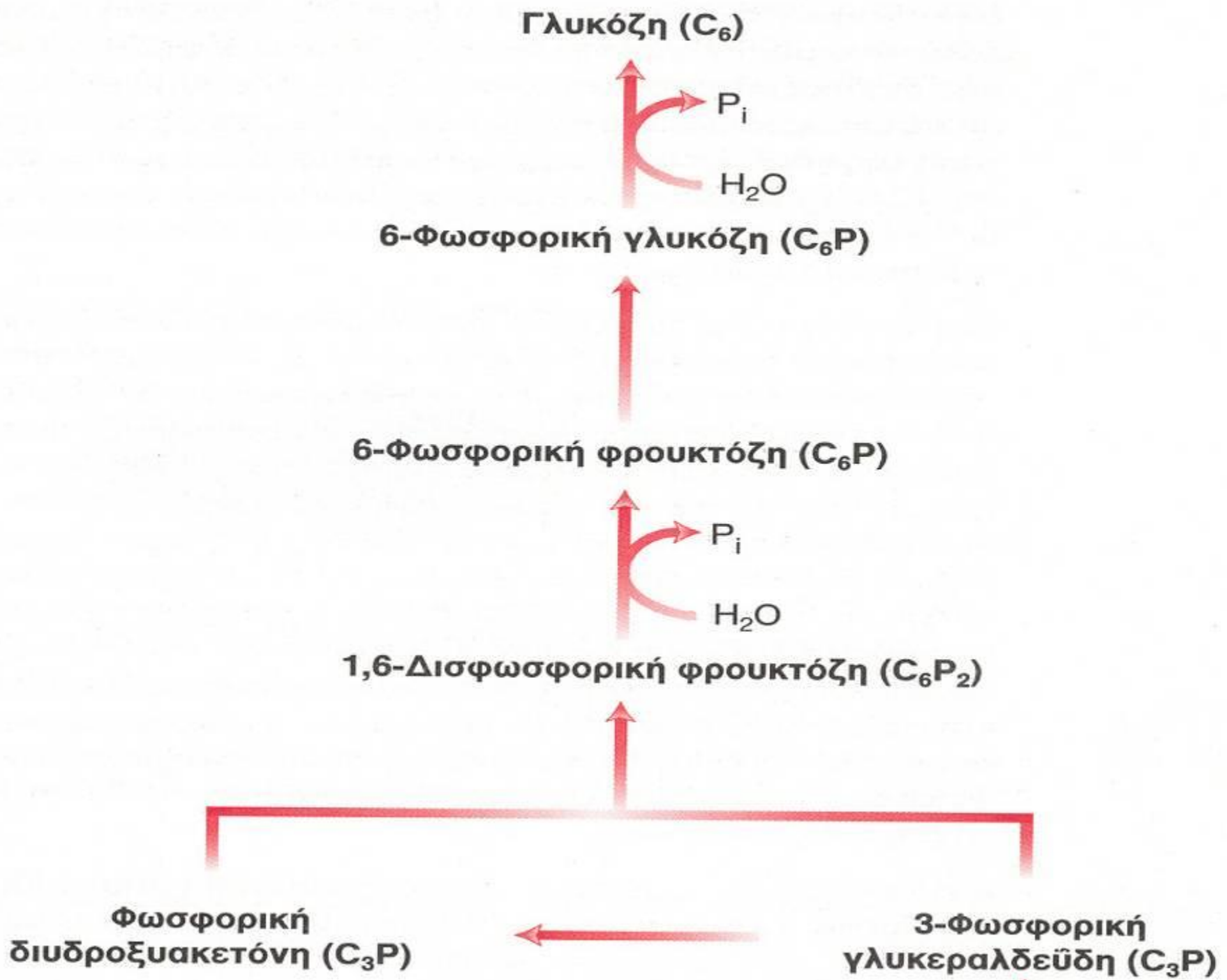


Εικόνα 9.26 Δύο τύχες του γαλακτικού οξέος. Το γαλακτικό οξύ που παράγεται στις συσπασόμενες μυϊκές ίνες μπορεί να χρησιμοποιηθεί από άλλα κύτταρα στο σώμα είτε για να ανασυνθέσει ATP μέσω μετατροπής σε CO₂ αερόβια ή για να συνθέσει γλυκόζη μέσω της γλυκονεογένεσης με τη δαπάνη ATP. Η πρώτη συμβαίνει κυρίως στην καρδιά και στο σκελετικό μυ· η δεύτερη, στο ήπαρ.

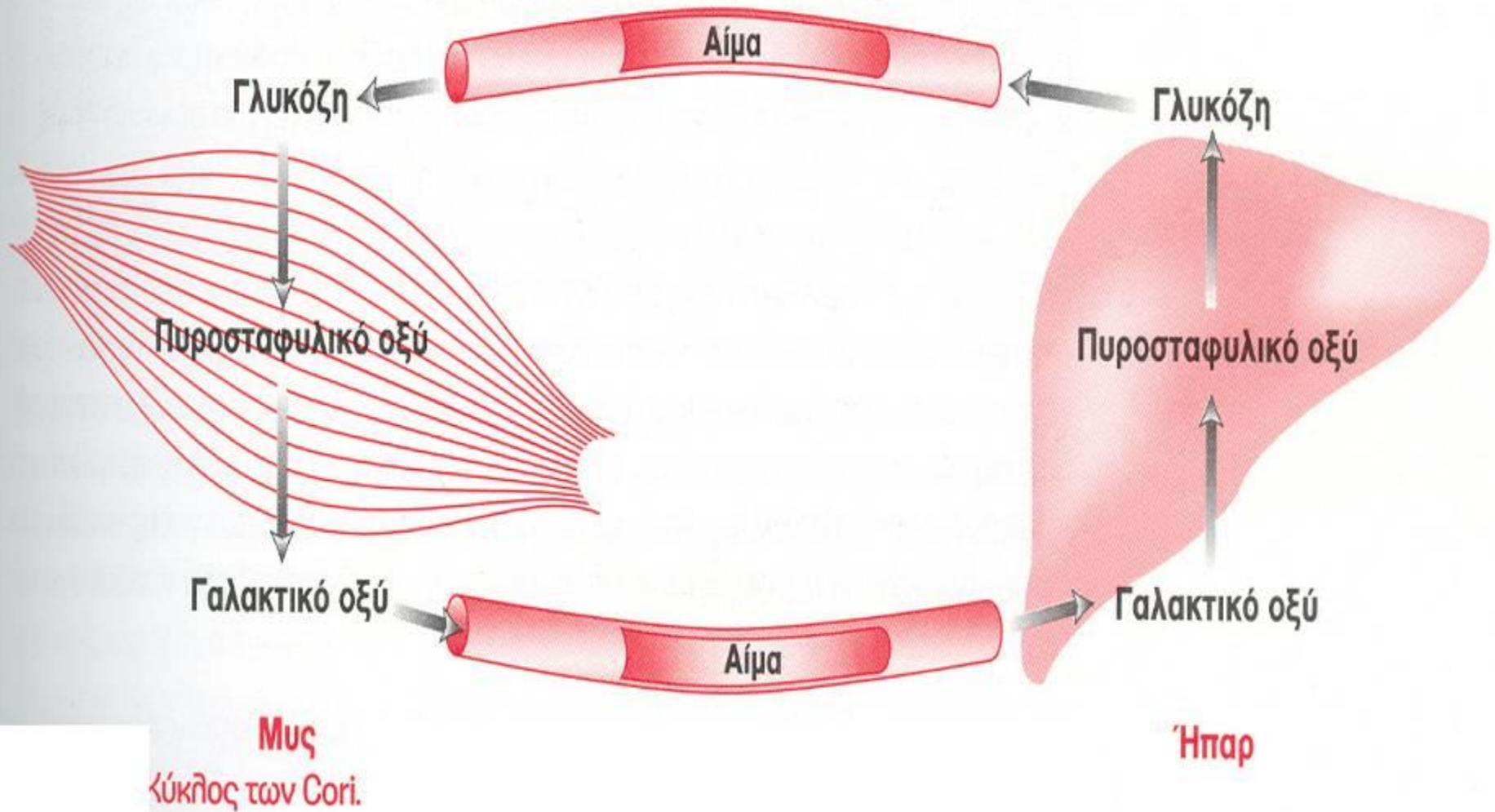
Η ΓΛΥΚΟΝΕΟΓΕΝΕΣΗ

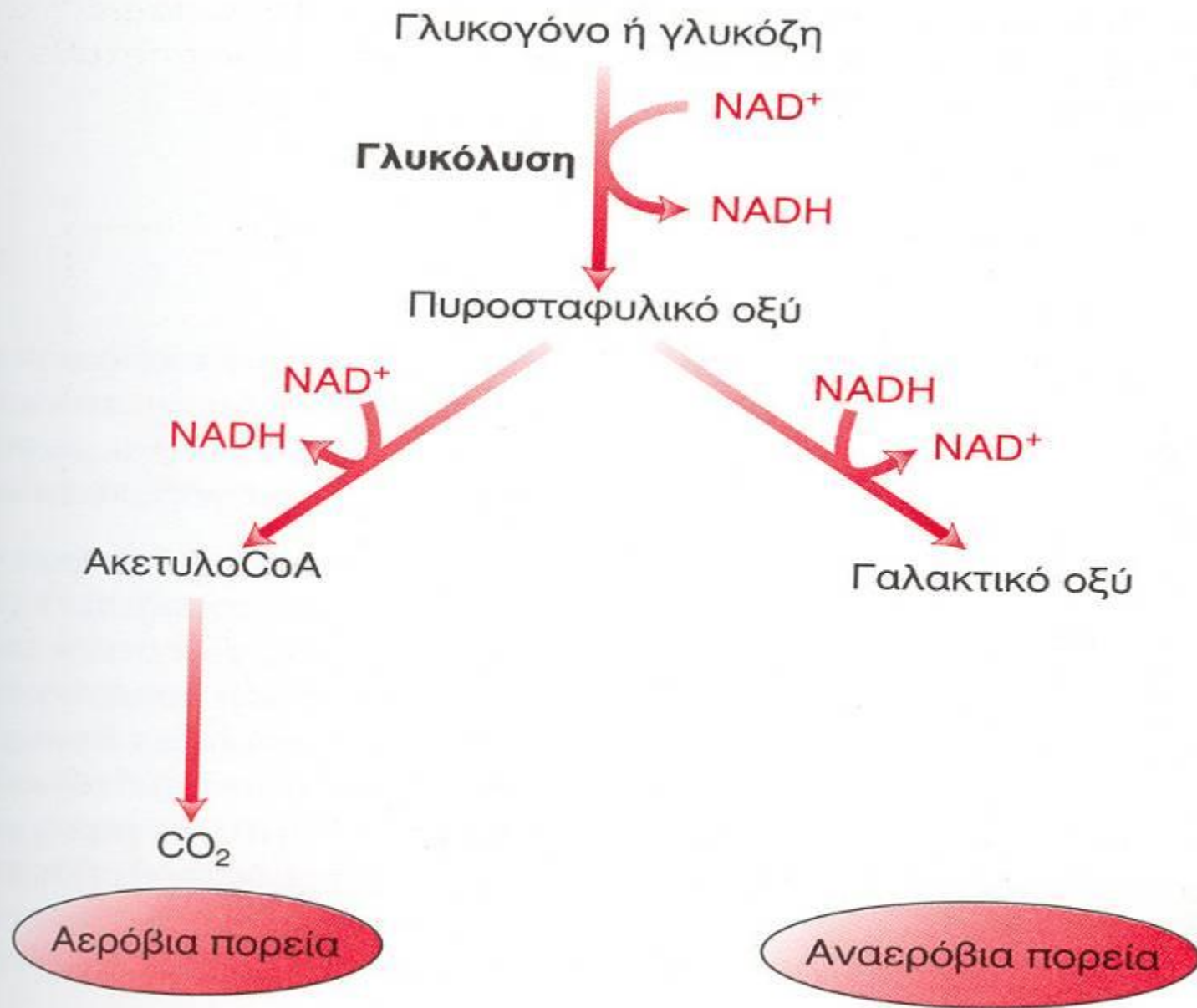
ΕΙΚΟΝΑ 9.24 Γλυκονεογένεση. Η γλυκονεογένεση έχει αφετηρία το πυροσταφυλικό οξύ (κάτω δεξιά) και κατάληξη τη γλυκόζη. Η εξέλιξη του μονοπατιού παρουσιάζεται από κάτω προς τα πάνω για να είναι ευκολότερη η σύγκρισή του με τη γλυκόλυση (εικόνα 9.12).





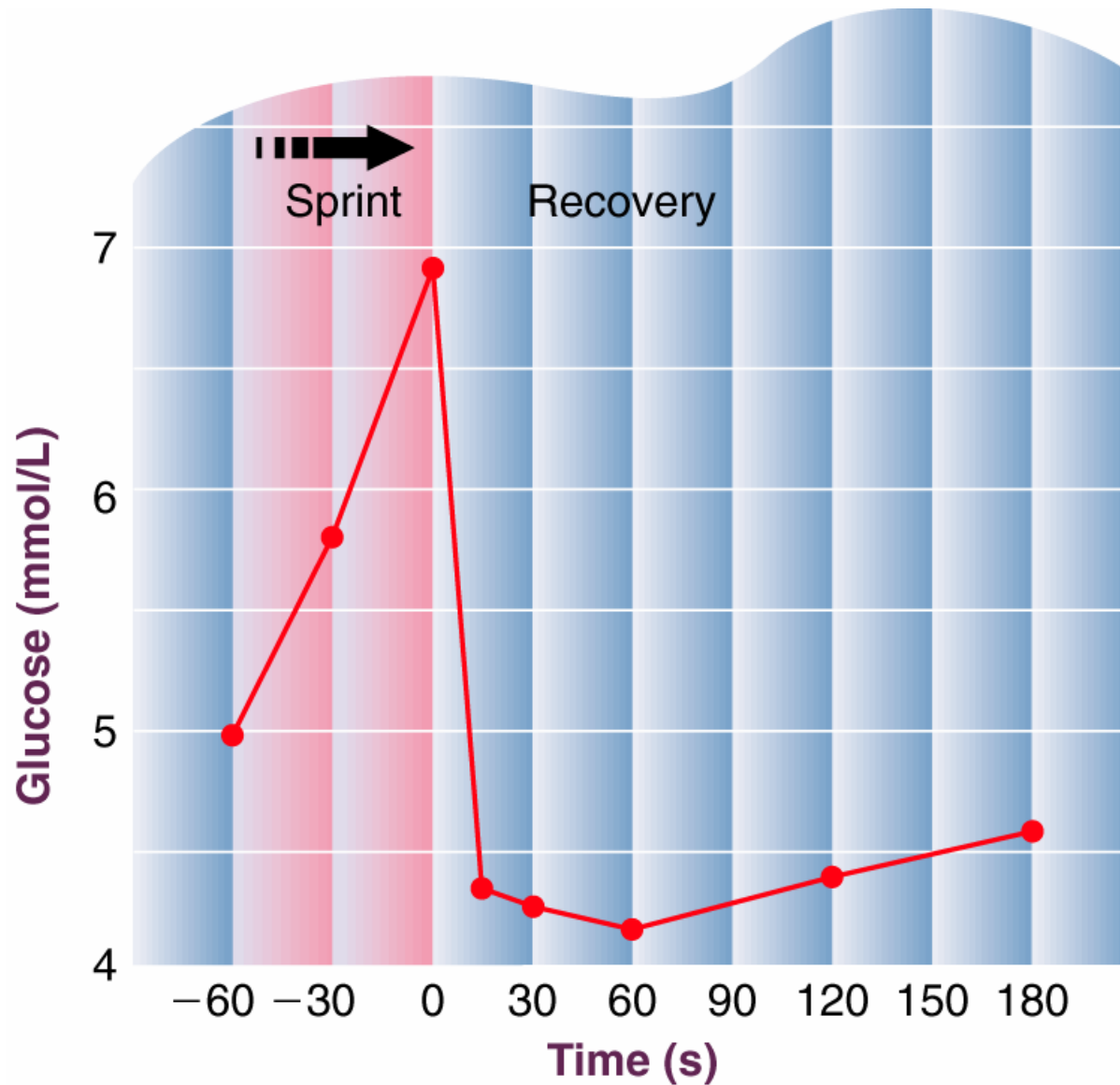
Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΩΝ CORI





Το «δίλημμα» του πυροσταφυλικού οξέος.

Η ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΓΛΥΚΟΖΗΣ



Η ΣΧΕΣΗ ΓΛΥΚΟΖΗΣ - ΙΝΣΟΥΛΙΝΗΣ

