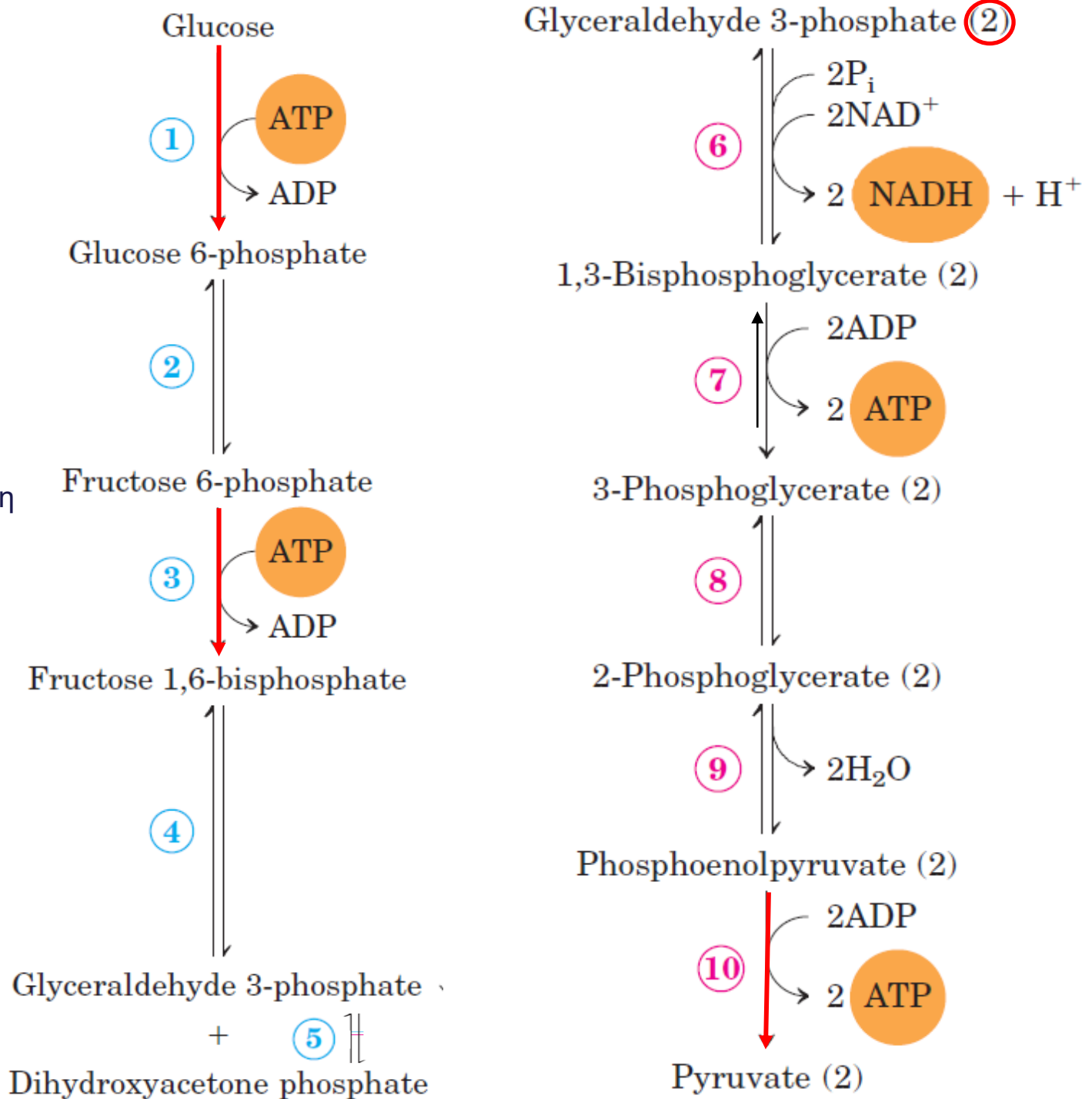


# Αντιδράσεις της γλυκόλυσης

1. Εξοκινάση
2. Ισομεράση της φωσφογλυκόζης
3. Φωσφοφρουκτοκινάση
4. Αλδολάση
5. Ισομεράση φωσφοτριοζών
6. Αφυδρογονάση της 3-φωσφορικής γλυκεραλδεΐδης
7. Κινάση του φωσφογλυκερικού
8. Μουτάση του φωσφογλυκερικού
9. Ενολάση
10. Κινάση του πυροσταφυλικού



Πόσα μόρια ATP παράγονται κατά την μετατροπή, μέσω της γλυκολυτικής οδού, των παρακάτω υποστρωμάτων σε γαλακτικό οξύ.

- A) 6-P γλυκόζη
- B) φωσφορική διυδοξυακετόνη
- Γ) 3-P γλυκεραλδεΐδη
- Δ) 1,3 διφωσφογλυκερικό
- Ε) φωσφοενολο-πυροσταφυλικό

A) 3 ATP

B) 2 ATP

Γ) 2 ATP

Δ) 2 ATP

Ε) 1 ATP

Αναφέρετε ονομαστικά τον (τους) ρόλο(ους) του ATP (εάν υπάρχουν) για καθεμιά από τις αντιδράσεις που καταλύονται από τα παρακάτω ένζυμα: **A.** εξοκινάση, **B.** φωσφοφρουκτοκινάση, **Γ.** αφυδρογονάση της 3-P γλυκεραλδεΰδης, **Δ.** κινάση του πυροσταφυλικού, **Ε.** κινάση του φωσφογλυκερικού.

A. υπόστρωμα

B. υπόστρωμα και αλλοστερικός αναστολέας

Γ. Δεν υπάρχει

Δ. προϊόν και αλλοστερικός αναστολέας

Ε. προϊόν

Τα τελικά «καθαρά» προϊόντα της αναερόβιας γλυκόλυσης στα μυϊκά κύτταρα είναι:

- A.** πυροσταφυλικό,  $\text{NAD}^+$ , ATP
- B.** γαλακτικό,  $\text{NAD}^+$ , ATP
- Γ.** γαλακτικό, ATP
- Δ.** ακέτυλο-CoA,  $\text{NADH}$ , ATP
- Ε.** πυροσταφυλικό, ATP.

Δικαιολογήστε με συντομία την απάντησή σας.

Η αναερόβια γλυκόλυση απαιτεί την επανοξείδωση του κυτταροπλασματικού  $\text{NADH}$ , η οποία επιτυγχάνεται με την αναγωγή του πυροσταφυλικού σε γαλακτικό οξύ. Επομένως, η σωστή απάντηση είναι το Γ.

Ένα μυϊκό εκχύλισμα υφίσταται εξαντλητική διαπίδυση έναντι αραιού φωσφορικού διαλύματος και στη συνέχεια προστίθεται ATP. Εάν υποθεθεί ότι η διαπίδυση απομακρύνει ποσοτικά όλα τα μικρά μόρια και το εκχύλισμα που παρασκευάζεται με τον τρόπο αυτό, δεν έχει ενεργότητα ATPάσης, ποιους άλλους παράγοντες πρέπει να προσθέσετε στο εκχύλισμα για να μετατρέψετε τη γλυκόζη σε:

**A.** 6-P γλυκόζη και **B.** γαλακτικό

**A.** Ιόντα  $Mg^{+2}$  για την ενεργοποίηση της εξοκινάσης

B.  $Mg^{+2}$ , ADP,  $NAD^{+}$ . Η μετατροπή της γλυκόζης σε γαλακτικό απαιτεί ενεργοποίηση ολόκληρου του γλυκολυτικού δρόμου.

Η συνολική αντίδραση μετασχηματισμού της γλυκόζης σε πυροσταφυλικό είναι:



(Τα  $P_i$  υπάρχουν από το φωσφορικό ρυθμιστικό διάλυμα). Ιόντα  $Mg^{+2}$ , απαιτούνται για την ενεργοποίηση όλων των κινασών της γλυκολυτικής οδού (εξοκινάση, φωσφοφρουκτοκινάση, κινάση του φωσφογλυκερικού, κινάση του πυροσταφυλικού).

Η μετατροπή 1 mol 1,6-διφωσφορικής φρουκτόζης σε 2 mol πυροσταφυλικού μέσω της γλυκολυτικής οδού, έχει ως αποτέλεσμα την καθαρή παραγωγή:

- A. 1 mol  $\text{NAD}^+$  και 2 mol of ATP.
- B. 1 mol  $\text{NADH}$  και 1 mol of ATP.
- C. 2 mol  $\text{NAD}^+$  και 4 mol of ATP.
- D. 2 mol  $\text{NADH}$  και 2 mol of ATP.
- E. 2 mol  $\text{NADH}$  και 4 mol of ATP .

**Σωστή απάντηση το E**

Ένα κυτταρικό εκχύλισμα που περιέχει όλα τα ένζυμα της γλυκόλυσης, επωάζεται με  $^{32}\text{P}$ -ATP (αδενοσίνη-P-P- $\text{P}^{32}$ ). Υποθέτοντας ότι όλα τα μόρια της γλυκόζης που χρησιμοποιούνται σε αυτό το πείραμα προέρχονται από την αποικοδόμηση του γλυκογόνου, αναφέρεται σε ποια από τα ενδιάμεσα προϊόντα της γλυκολυτικής αυτής πορείας ανιχνεύεται ραδιενεργά σημασμένος φωσφόρος και σε ποια όχι. (Τεκμηριώστε με συντομία την απάντησή σας).

Γλυκογόνο  $\rightarrow$  1-P-γλυκόζη  $\rightarrow$  6-P-γλυκόζη  
6-P-φρουκτόζη  $\rightarrow$  1-P, 6-P-φρουκτόζη  $\rightarrow$   
φωσφ.διϋδρόξυακετόνη + 3-P γλυκεριναλδεΐδη  
φωσφ.διϋδρόξυακετόνη  $\leftrightarrow$  3-P γλυκεριναλδεΐδη  
1-P, 3-P φωσφογλυκερινικό  $\rightarrow$  3φωσφογλυκερινικό  
2φωσφογλυκερινικό  $\rightarrow$  φωσφοενολοπυροσταφυλικό  
 $\rightarrow$  πυροσταφυλικό.



Να προβλέψετε το αποτέλεσμα (αύξηση ή ελάττωση) της κάθε μιας από τις παρακάτω μεταλλάξεις στο ρυθμό της γλυκόλυσης στα κύτταρα του ήπατος:

(α) Απώλεια της αλλοστερικής θέσης πρόσδεσης του ATP στην φωσφοφρουκτοκινάση.

(β) Απώλεια της περιοχής πρόσδεσης του κιτρικού στην φωσφοφρουκτοκινάση.

(γ) Απώλεια της ρυθμιστικής περιοχής της φωσφατάσης του διλειτουργικού ενζύμου που ελέγχει τα επίπεδα της 2,6-διφωσφορικής φρουκτόζης.

(δ) Απώλεια της περιοχής πρόσδεσης για την 1,6-διφωσφορική φρουκτόζη στην κινάση του πυροσταφυλικού.

(α) αυξάνεται

(β) αυξάνεται

(γ) αυξάνεται

(δ) ελαττώνεται

Υπάρχει μια ποικιλία μεταβολικών γενετικών ασθενειών του ανθρώπου στις οποίες ένζυμα που απαιτούνται για την διάσπαση της φρουκτόζης, ή της λακτόζης, ή και της σακχαρόζης είναι «ελαττωματικά». Ωστόσο, πολύ λίγες είναι οι περιπτώσεις ατόμων που έχουν μια γενετική ασθένεια στην οποία ένα από τα ένζυμα της γλυκόλυσης επηρεάζεται σοβαρά. Γιατί νομίζετε ότι οι εν λόγω μεταλλάξεις εμφανίζονται τόσο σπάνια;

Απ: Η γλυκολυτική οδός είναι τόσο κεντρική πορεία στον κυτταρικό μεταβολισμό που μεταλλάξεις γλυκολυτικών ενζύμων είναι θανατηφόρες. Έμβρυα με τέτοιες μεταλλάξεις δεν μπορούν να επιβιώσουν.

Εξετάστε ποιος από τους μονοσακχαρίτες γλυκόζη ή γαλακτόζη προσφέρει περισσότερη ενέργεια στο κύτταρο κατά την «πλήρη καύση» του.

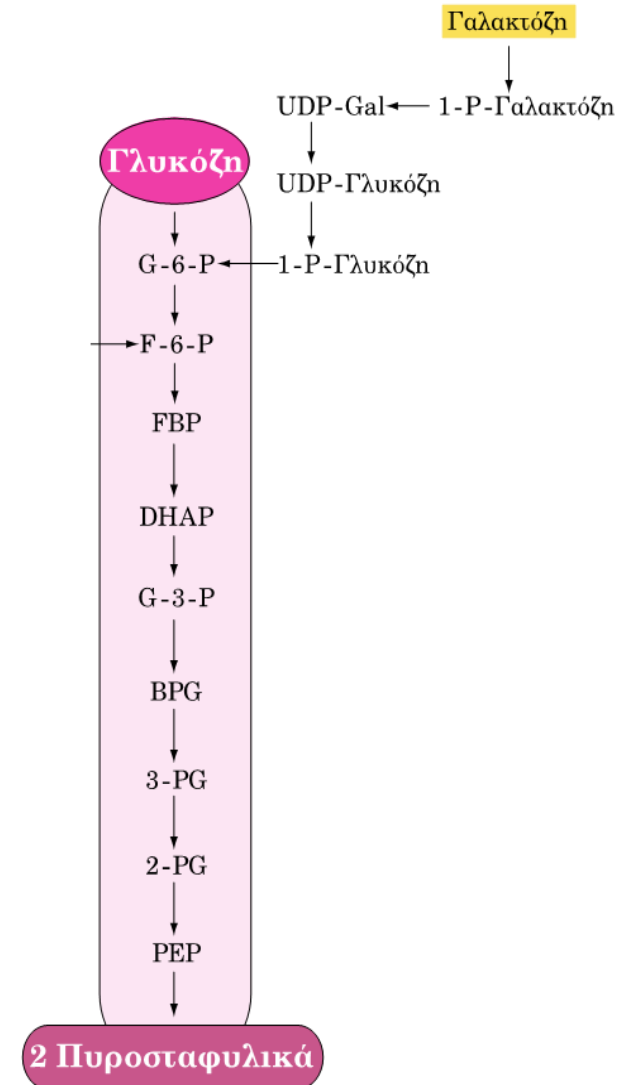
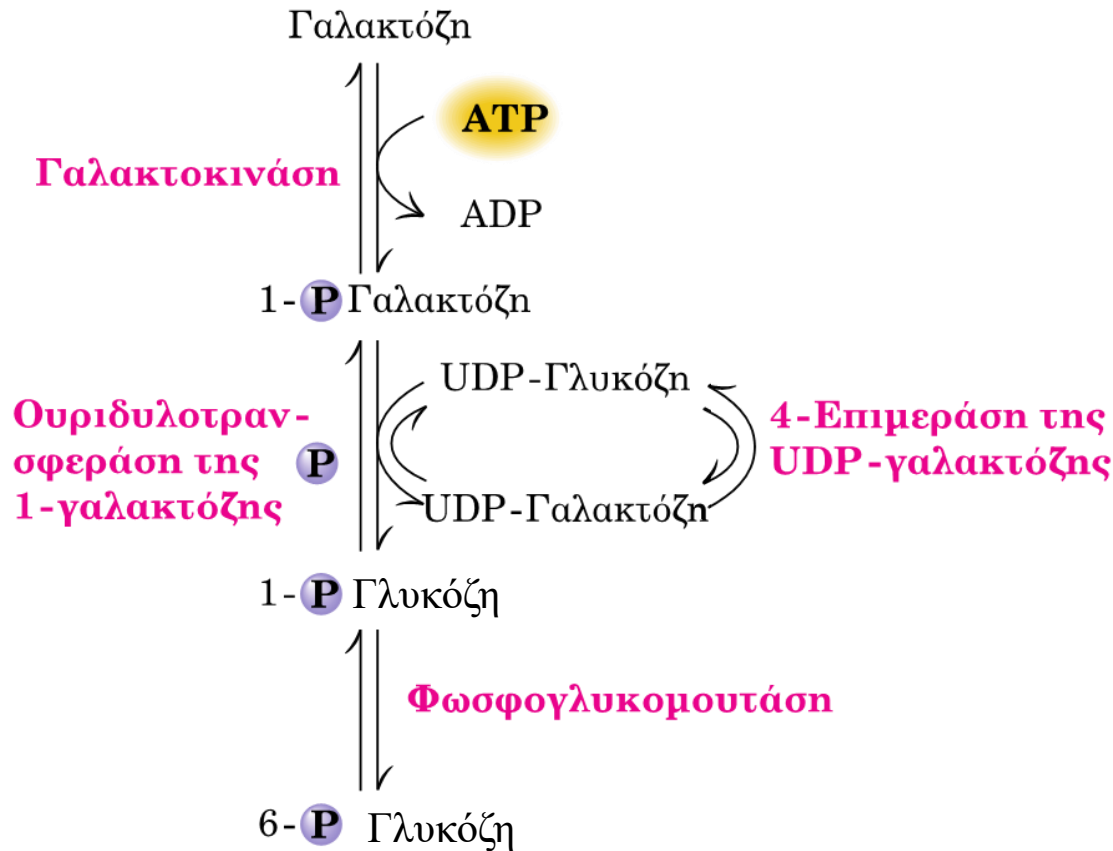
Η γαλακτόζη φωσφορυλιώνεται με τη δράση της γαλακτοκινάσης, καταναλώνοντας 1 ATP σε 1P-γαλακτόζη, η οποία μετατρέπεται πρώτα σε 1P-γλυκόζη και στη συνέχεια σε 6P-γλυκόζη.

Η γλυκόζη φωσφορυλιώνεται άμεσα με τη δράση της εξοκινάσης και κατανάλωση 1 ATP σε 6P-γλυκόζη.

Και στις δύο περιπτώσεις η 6P-γλυκόζη μεταβολίζεται περαιτέρω μέσω της γλυκόλυσης και του κύκλου του κιτρικού οξέος και τα ανηγμένα συνένζυμα που σχηματίζονται επανοξειδώνονται στην αναπνευστική αλυσίδα αποδίδοντας ενέργεια στη μορφή του ATP,

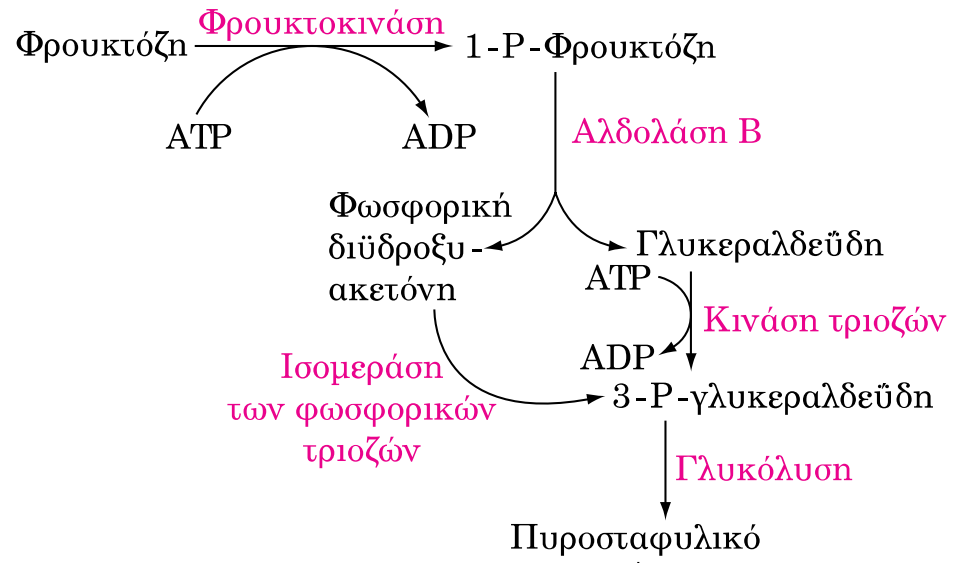
Επομένως, η ενεργειακή απόδοση από την πλήρη οξείδωση της γλυκόζης και της γαλακτόζης είναι η ίδια, δηλ. 30 ή 32 ATP/μόριο υποστρώματος.

# Η γαλακτόζη εισέρχεται στη γλυκόλυση μέσω του μονοπατιού Leloir

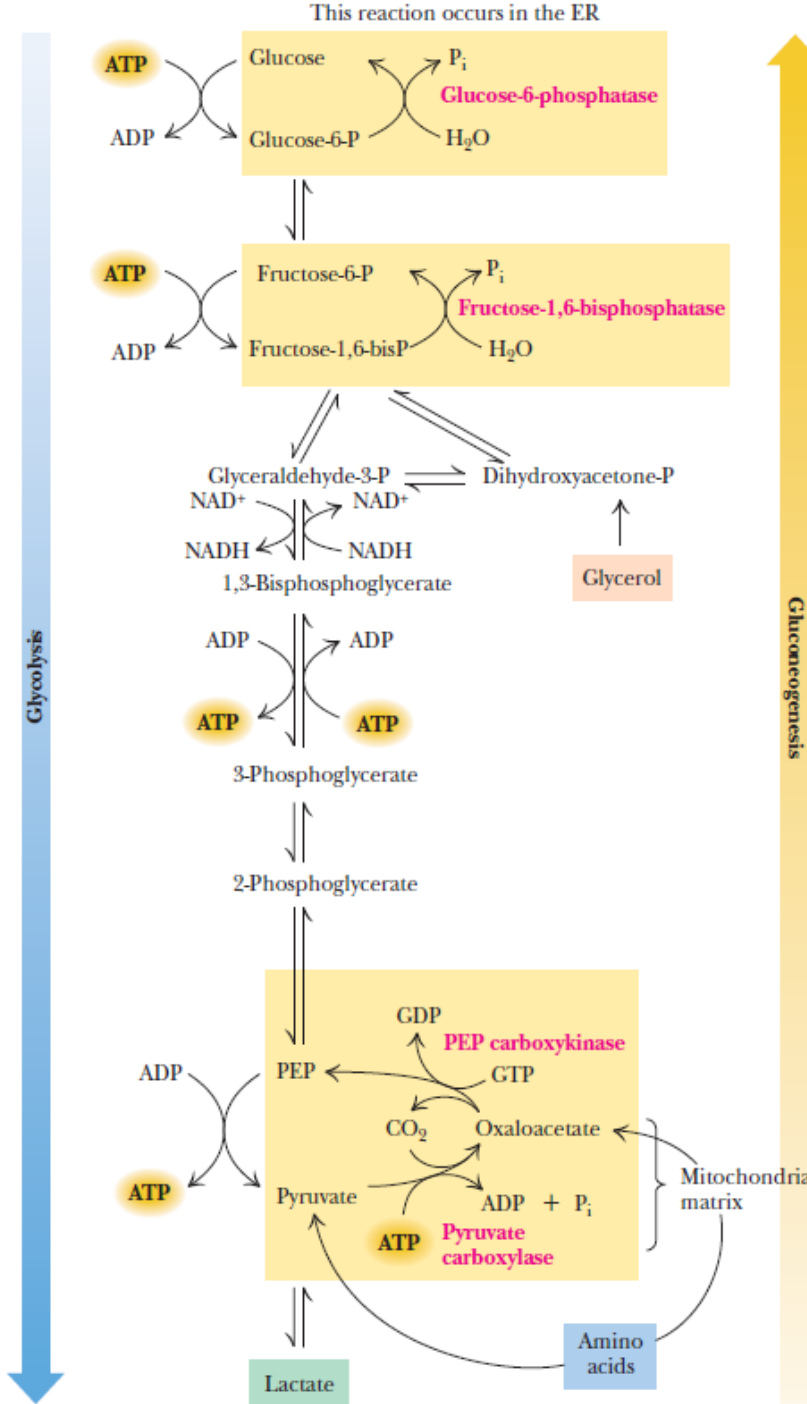


Εξηγήστε με συντομία γιατί ο ορός που παρέχεται στους ασθενείς περιέχει γλυκόζη και όχι φρουκτόζη.

1. Η αποικοδόμηση της φρουκτόζης που λαμβάνεται γίνεται αποκλειστικά στο ήπαρ με μια μη-ρυθμιζόμενη διαδικασία, λόγω παράκαμψης της αντίδρασης που καταλύεται από την φωσφοφρουκτοκινάση.
2. Λόγω της σχεδόν αποκλειστικής απαίτησης του εγκεφάλου και της πλήρους απαίτησης των ερυθροκυττάρων από τη γλυκόζη ως καύσιμο μόριο.



# ΓΛΥΚΟΛΥΣΗ



# ΓΛΥΚΟΝΕΟΓΕΝΕΣΗ

Ένα ένζυμο που χρησιμοποιείται τόσο στη γλυκόλυση, όσο και στη γλυκονεογένεση είναι:

- A. Η κινάση του φωσφογλυκερικού .
- B. Η φωσφατάση της 6-P γλυκόζης.
- C. Η εξοκινάση.
- D. Η φωσφοφρουκτοκινάση-1.
- E. Η κινάση του πυροσταφυλικού.

Σωστή απάντηση το A

Ποιες από τις παρακάτω μετατροπές που οδηγούν σε γλυκονεογένεση, δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν σε ηπατικό εκχύλισμα ποντικού που κατεργάζεται με αβιδίνη (ένας δυναμικός αναστο-λέας όλων των ενζυμικών αντιδράσεων που απαιτούν το συνένζυμο της βιοτίνης) και γιατί;

- A. 3-P γλυκεριναλδεΐδη → 6-P γλυκόζη
- B. Γαλακτικό → οξαλοξικό
- Γ. 2-φωσφογλυκερινικό → γλυκόζη
- Δ. φωσφοενολοπυροσταφυλικό → γλυκογόνο
- E. Πυροσταφυλικό → φωσφο-ενολοπυροσταφυλικό

Η βιοτίνη απαιτείται στο πρώτο στάδιο της γλυκονεογένεσης και συγκεκριμένα στην αντίδραση που καταλύεται από την πυροσταφυλική καρβοξυλάση, η οποία μετατρέπει το πυροσταφυλικό σε οξαλοξικό.

Επομένως οι μετατροπές που δεν μπορούν να γίνουν είναι οι B & E.



Στη γλυκολυτική οδό από τη γλυκόζη έως το φωσφοενολπυροσταφυλικό, δύο βήματα είναι πρακτικώς μη αναστρεπτά. Ποια είναι αυτά τα βήματα, από ποια ένζυμα καταλύονται και πώς παρακάμπτονται κατά την γλυκονεογένεση; Τι πλεονεκτήματα έχει ένας οργανισμός διατηρώντας ξεχωριστά βήματα στις πορείες αυτές;

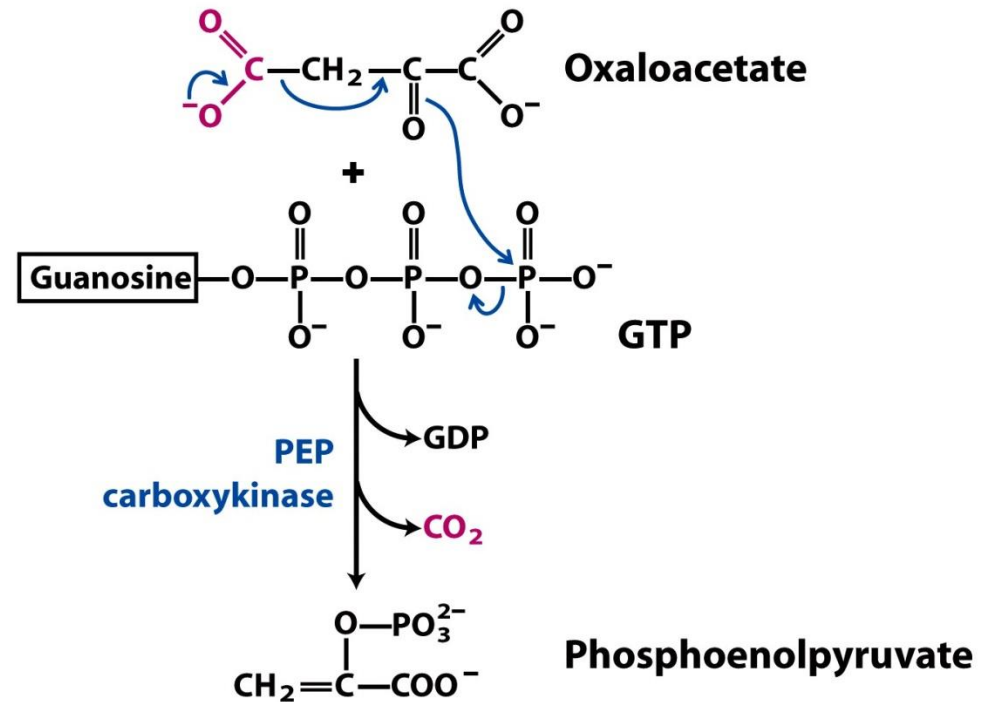
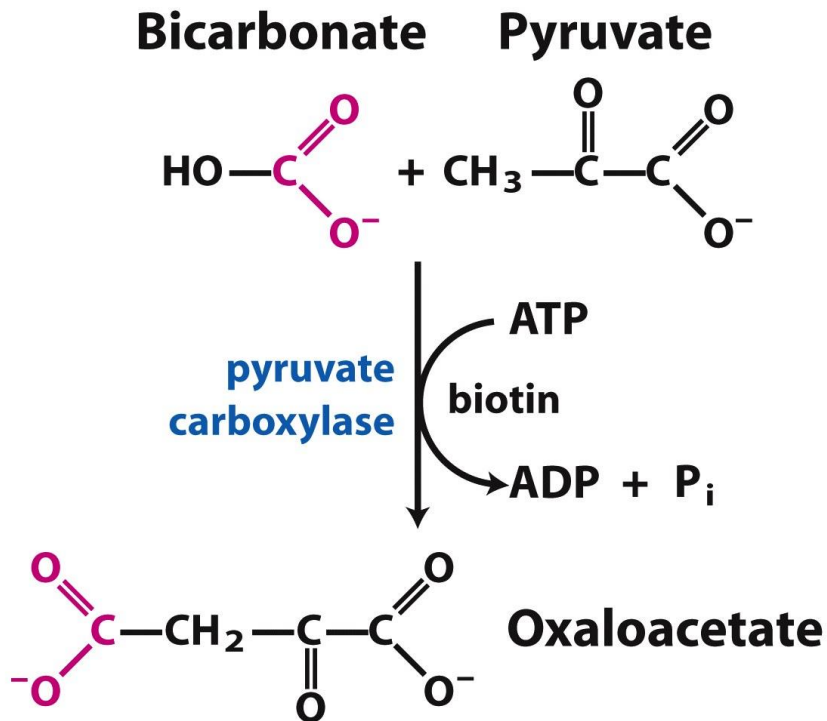
Απ: Τα δύο μη αναστρεπτά βήματα στην γλυκόλυση είναι η μετατροπή της γλυκόζης σε 6-P γλυκόζη, που καταλύεται από **εξοκινάση**, και η μετατροπή της 6-P φρουκτόζης σε 1,6-διφωσφορική φρουκτόζη, που καταλύεται από την **φωσφοφρουκτοκινάση-1**.

Η πρώτη αντίδραση παρακάμπτεται κατά τη γλυκονεογένεση από την αντίδραση που καταλύεται από την **φωσφατάση της 6-P γλυκόζης**, και η δεύτερη από τη **φωσφατάση της 1,6-διφωσφορικής φρουκτόζης (PBPάσης-1)**.

Χρησιμοποιώντας διαφορετικά ένζυμα, ένας οργανισμός είναι σε θέση να ελέγχει τις αναβολικές και καταβολικές διαδικασίες ξεχωριστά, αποφεύγοντας έτσι μάταιους κύκλους.

Ένα ομογενοποίημα που φτιάχνεται από συκώτι ποντικού και είναι ικανό να επιτελεί γλυκονεογένεση από πυροσταφυλικό, εκτίθεται σε  $^{14}\text{CO}_2$ . Ποια από τα άτομα άνθρακα στα νεοσυντιθέμενα μόρια γλυκόζης θα βρεθούν ραδιενεργά σημασμένα.

## Απ. Κανένα



Ποιές από τις παρακάτω προτάσεις σχετικά με την φωσφορυλάση του γλυκογόνου είναι σωστές:

- A) Απελευθερώνει μόρια 6P-γλυκόζης
- B) Οδηγεί στη σύνθεση του γλυκογόνου
- Γ) Απελευθερώνει μόρια ελεύθερης γλυκόζης
- Δ) Καταλύει τη διάσπαση  $\beta$  (1 $\rightarrow$ 4) γλυκοζιτικών δεσμών
- E) Καταλύει την υδρολυτική διάσπαση  $\alpha$  (1 $\rightarrow$ 4) γλυκοζιτικών δεσμών
- ΣΤ) Αποτελεί υπόστρωμα μιάς κινάσης
- Z) Εκφράζεται με διαφορετική μορφή στο ήπαρ και τους μύες.

**Σωστά: τα ΣΤ και Z**

Το AMP ενεργοποιεί:

1. Την φωσφοφρουκτοκινάση
2. Την πρωτεϊνική κινάση A
3. Την μυϊκή φωσφορυλάση του γλυκογόνου
4. Την εξοκινάση

## 1,3 ΣΩΣΤΑ

1. Η φωσφοφρουκτοκινάση ενεργοποιείται αλλοστερικά από το AMP και την 2,6 διφωσφορική φρουκτόζη και αναστέλλεται από το ATP και το κιτρικό.
2. Η πρωτεϊνική κινάση A ενεργοποιείται από το cAMP
3. Η μυϊκή φωσφορυλάση του γλυκογόνου ενεργοποιείται αλλοστερικά από το AMP.
4. Η εξοκινάση αναστέλλεται από την 6-φωσφορική γλυκόζη.

Πόσα μόρια ATP παράγονται σ' ένα μυϊκό κύτταρο κατά την μετατροπή ενός μορίου

α) ελεύθερης γλυκόζης και

β) γλυκόζης από τις αποθήκες του γλυκογόνου σε γαλακτικό οξύ.

α) 2 μόρια ATP

β) 3 μόρια ATP

Να προβλέψετε τα κύρια επακόλουθα για την κάθε μία από τις παρακάτω ανεπάρκειες ενζύμων του ήπατος.

(α) φωσφατάση της 6-φωσφορικής γλυκόζης

(β) γλυκοκινάση

(γ) φωσφοφρουκτοκινάση 2

(α) Έλλειψη της φωσφατάσης της 6-φωσφορικής γλυκόζης εμποδίζει την έξοδο της γλυκόζης από το ήπαρ μετά από γλυκογονόλυση ή γλυκονεογένεση. Αυτή η διαταραχή (νόσος von Gierke) χαρακτηρίζεται από μη φυσιολογική υψηλή περιεκτικότητα γλυκογόνου στο ήπαρ και από χαμηλό επίπεδο γλυκόζης στο αίμα.

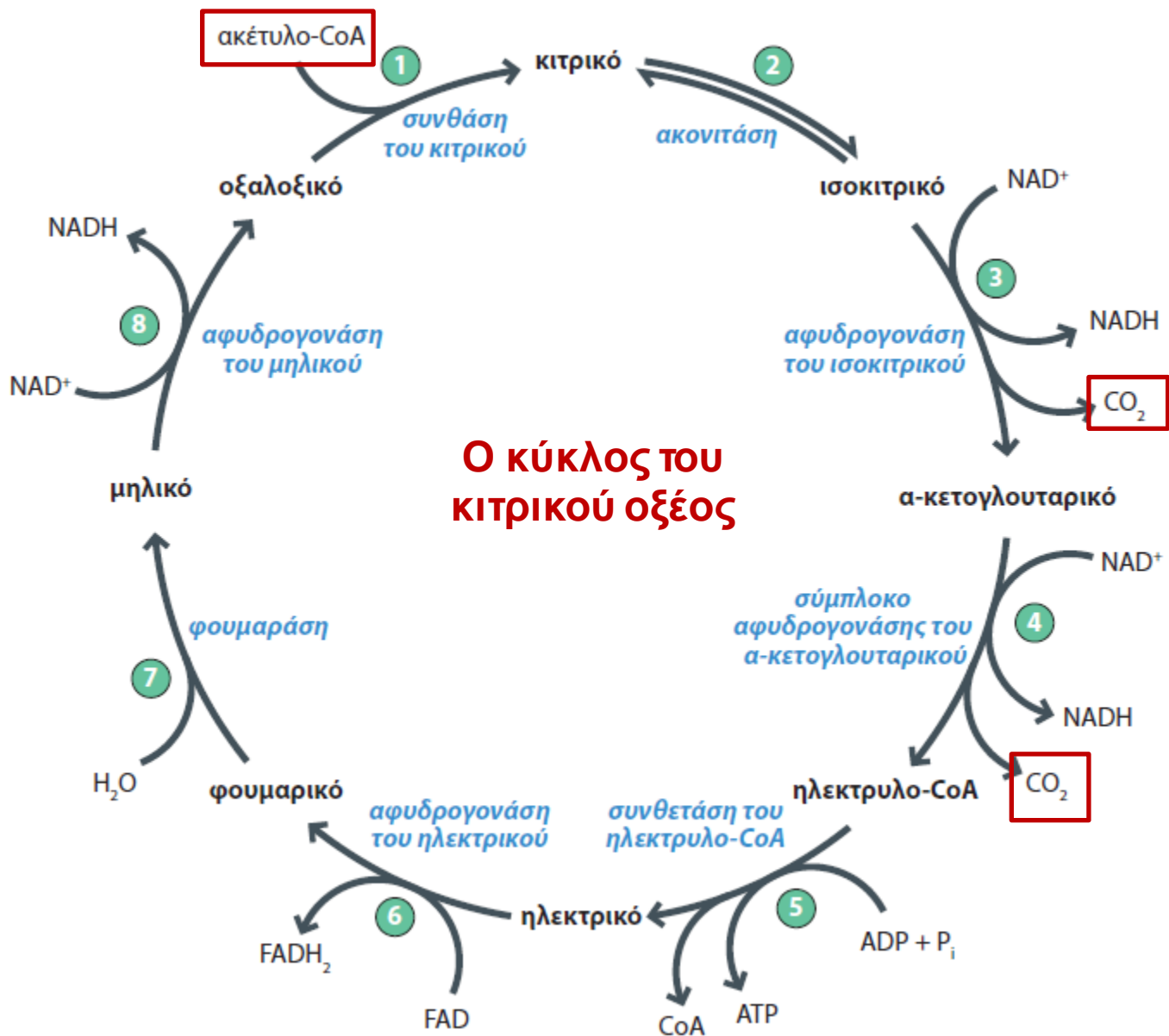
(β) Η γλυκοκινάση δίνει τη δυνατότητα στο ήπαρ να φωσφορυλιώνει τη γλυκόζη ακόμα και παρουσία υψηλών επιπέδων 6-φωσφορικής γλυκόζης. Έλλειψη της γλυκοκινάσης μπορεί να εμποδίσει τη σύνθεση του γλυκογόνου.

(γ) Η φωσφοφρουκτοκινάση θα είναι λιγότερο δραστική από ό,τι σε φυσιολογικές συνθήκες εξαιτίας των μειωμένων επιπέδων της F-2,6-BP. Έτσι, η γλυκόλυση θα είναι πιο αργή από ό,τι σε φυσιολογικές συνθήκες.

Αντιστοιχίστε τα ένζυμα της στήλης Α με τις μεταβολικές πορείες στις οποίες συμμετέχουν (στήλη Β).

Στήλη Α	Στήλη Β
1. Αφυδρογονάση 3-P γλυκεραλδεϋδης	Α. Γλυκόλυση
2. Μουτάση του φωσφογλυκερικού	Β. Γλυκονεογένεση
3. Αφυδρογονάση 6-P γλυκόζης	Γ. Δρόμος φωσφορικών πεντοζών
4. Καρβοξυλάση του πυροσταφυλικού	Δ. Σύνθεση γλυκογόνου
5. Φωσφατάση 6-P γλυκόζης	Ε. Γλυκογονόλυση
6. Πυροφωσφορυλάση UDP-γλυκόζης	
7. Ισομεράση φωσφοπεντοζών	

1-A & B, 2-A & B, 3-Γ, 4-B, 5-B, 6-Δ, 7-Γ





Ποιος (οι) από τους παρακάτω μεταβολίτες δεν μπορεί να αξιοποιηθεί από το ζωικό κύτταρο ως πρόδρομη ουσία για την καθαρή σύνθεση της 6 φωσφορικής φρουκτόζης.

- A. Οξαλοξικό οξύ
- B. Γαλακτικό οξύ
- Γ. Γλυκερίνη
- Δ. Ακέτυλο-CoA
- E. Αλανίνη

Σωστό το Δ.

Η ακετυλομάδα του ακέτυλο-CoA απομακρύνεται ως  $\text{CO}_2$  κατά τις αντιδράσεις του κύκλου του κιτρικού οξέος.

Η λειτουργία του κύκλου του γλυοξυλικού οξέος, σε συνδυασμό με τον κύκλο του κιτρικού οξέος είναι η εξασφάλιση:

- A) της πλήρους μετατροπής του ακετυλο-CoA σε  $\text{CO}_2$ .
- B) της καθαρής σύνθεσης υδατανθράκων από λίπη .
- Γ) της καθαρής σύνθεσης δικαρβοξυλικών οξέων με 4 άτομα C από το ακετυλο-CoA .
- Δ) της καθαρής σύνθεσης λιπαρών οξέων από ενδιάμεσα του κύκλου του κιτρικού οξέος.

Σωστά B και Γ.

Από τη διάσπαση των λιπών παράγεται ακετυλο-CoA, το οποίο οδηγεί στην καθαρή σύνθεση ηλεκτρικού οξέος μέσω των αντιδράσεων του κύκλου του γλυοξυλικού οξέος (Γ) και το οποίο μπορεί να μετατραπεί σε οξαλοξικό μέσω των αντιδράσεων του κύκλου του κιτρικού οξέος και να οδηγήσει στη σύνθεση γλυκόζης (B).