

ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΗΣ ΓΛΥΚΟΛΥΣΗΣ,  
ΓΛΥΚΟΝΕΟΓΕΝΕΣΗ  
&  
ΟΜΟΙΟΣΤΑΣΙΑ ΤΗΣ ΓΛΥΚΟΖΗΣ

## Στάδια γλυκόλυσης

## Σύνοψη: Ρύθμιση Γλυκόλυσης

### 1<sup>ο</sup> Στάδιο: Δέσμευση & ενεργοποίηση γλυκόζης

Εξοκινάση

6-Φωσφορική Γλυκόζη (-ATP),

Ισομεράση

6-Φωσφορική φρουκτόζη

Φωσφοφρουκτοκινάση

1,6-Διφωσφορική φρουκτόζη (-ATP),

### 2<sup>ο</sup> Στάδιο: Διάσπαση

Αλδολάση, Ισομεράση

3-Φωσφορική γλυκεραλδεΐδη (2X)

### 3<sup>ο</sup> Στάδιο: Οξείδωση & συλλογή ενέργειας

Αφυδρογονάση (GAPDH)

1,3-Διφωσφογλυκερικό + NADH (2X)

Κινάση

3-Φωσφογλυκερικό + ATP (2X)

Μουτάση

2-Φωσφογλυκερικό (2X)

Ενολάση

Φωσφο-ενολπυροσταφυλικό (2X)

Κινάση

Πυροσταφυλικό + ATP (2X)

## Εξοκινάση

Ήπαρ,  $K_m \sim 10 \text{ mM}$

## Γλυκοκινάση

Εγκέφαλος, Μυς,  $K_m < 0.1 \text{ mM}$ , αναστολή από G6P

## Φωσφοφρουκτοκινάση

Αλλοστερικός έλεγχος

Αναστολή ↓ : ATP,  $H^+$ , Κιτρικό

Ενεργοποίηση ↑ : AMP, 2,6-διφωσφορική φρουκτόζη

Ορμονικός έλεγχος (ήπαρ)

Φωσφοφρουκτοκινάση 2 (→ 2,6-διφωσφορική φρουκτόζη)

Αναστολή από γλυκαγόνη ↓ (ασιτία)

## Κινάση του πυροσταφυλικού

Αλλοστερικός έλεγχος

Αναστολή ↓ : ATP, αλανίνη

Ενεργοποίηση ↑ : 2,6-διφωσφορική φρουκτόζη

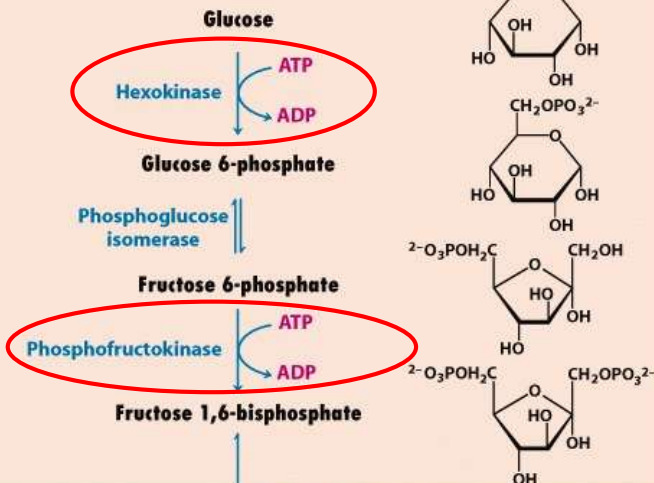
Ορμονικός έλεγχος (ήπαρ)

Φωσφορυλίωση

Αναστολή από γλυκαγόνη ↓ (ασιτία)



### Stage 1

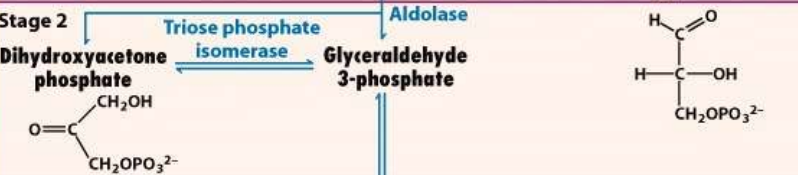


## Η ρύθμιση της γλυκόλυσης

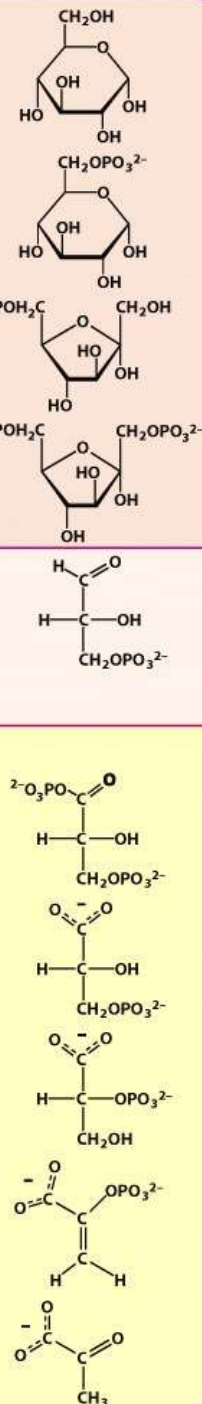
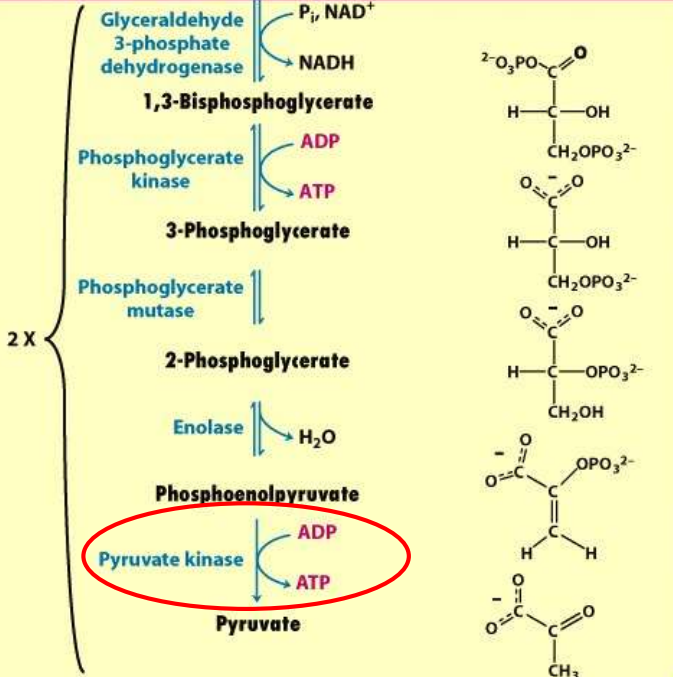
Η ταχύτητα της γλυκόλυσης ρυθμίζεται σε σχέση με την ανάγκη για

- A. παραγωγή ATP και
- B. εφοδιασμό δομικών μονάδων

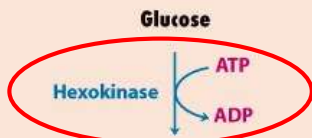
### Stage 2



### Stage 3



Stage 1



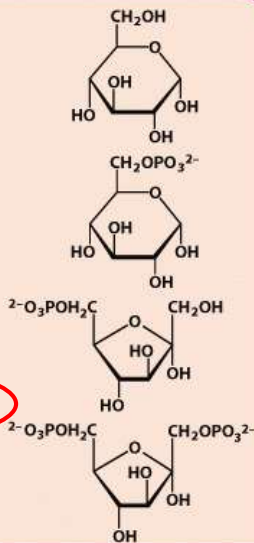
Glucose 6-phosphate

Phosphoglucose isomerase

Fructose 6-phosphate



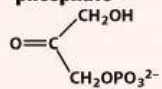
Fructose 1,6-bisphosphate



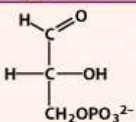
Stage 2

Triose phosphate isomerase

Dihydroxyacetone phosphate



Glyceraldehyde 3-phosphate



Stage 3

Glyceraldehyde 3-phosphate dehydrogenase  $\xrightarrow{\text{P}_i, \text{NAD}^+ \rightarrow \text{NADH}}$

1,3-Bisphosphoglycerate

Phosphoglycerate kinase  $\xrightarrow{\text{ADP} \rightarrow \text{ATP}}$

3-Phosphoglycerate

Phosphoglycerate mutase

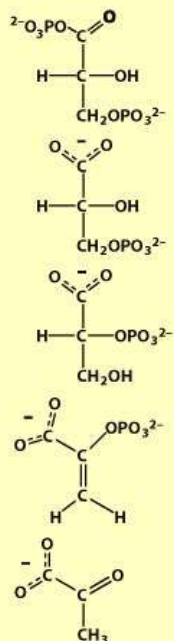
2-Phosphoglycerate

Enolase  $\xrightarrow{\text{H}_2\text{O}}$

Phosphoenolpyruvate



Pyruvate



# Η ρύθμιση της γλυκόλυσης

Η ταχύτητα της γλυκόλυσης ρυθμίζεται σε σχέση με την ανάγκη για

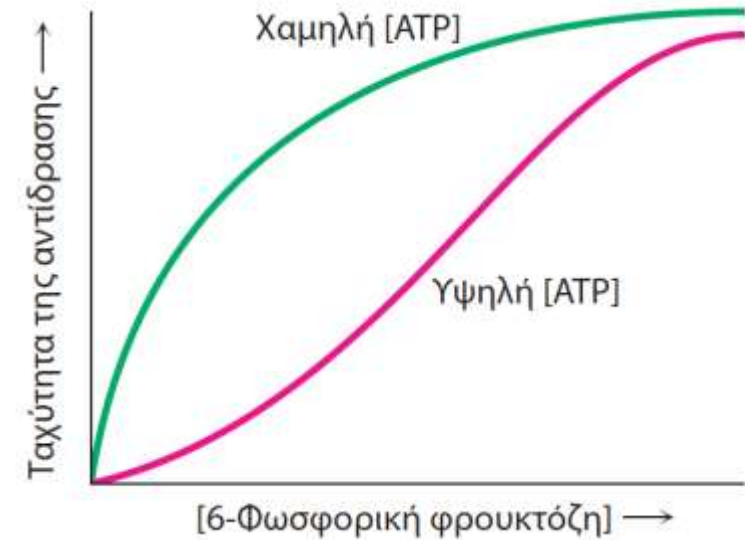
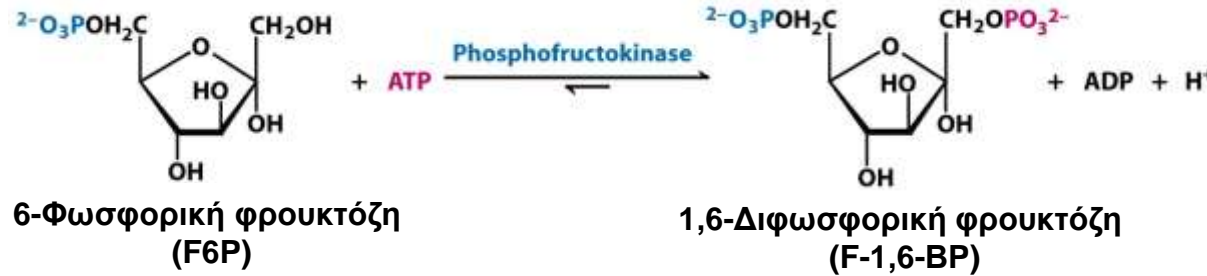
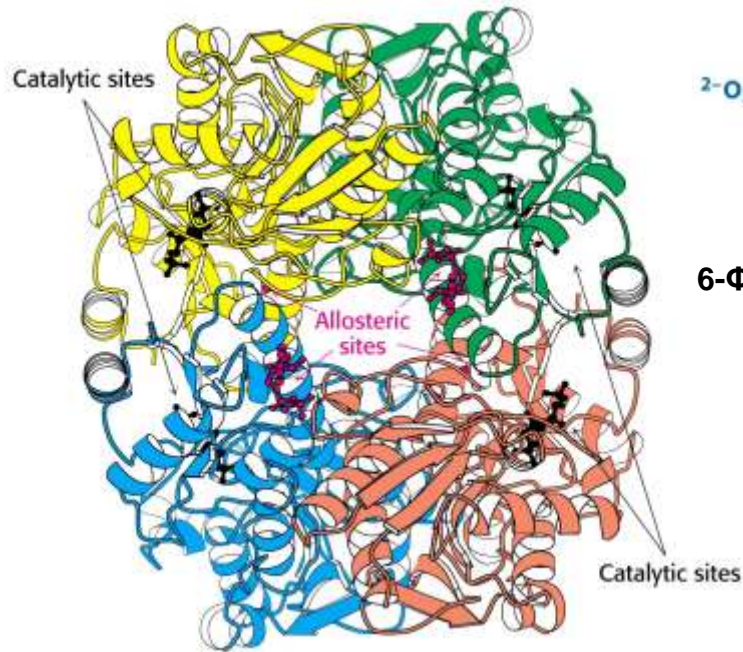
- A. παραγωγή ATP και
- B. εφοδιασμό δομικών μονάδων

Οι βασικές θέσεις ελέγχου είναι οι τρεις μη-αντιστρεπτές αντιδράσεις της

- A. Εξοκινάσης
- B. Φωσφοφρουκτοκινάσης
- Γ. Κινάσης του πυροσταφυλικού

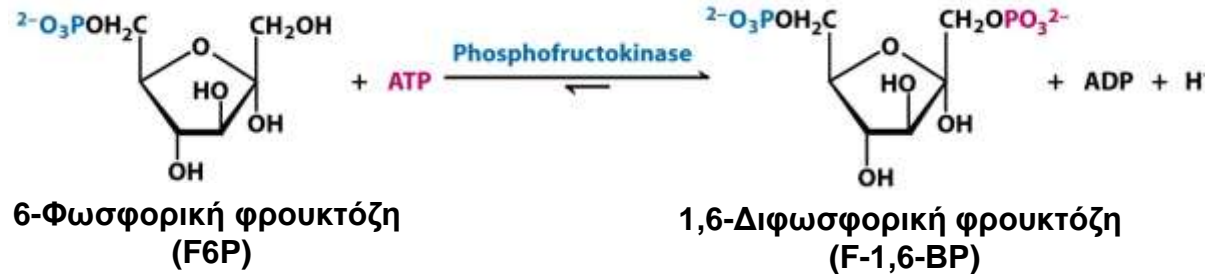
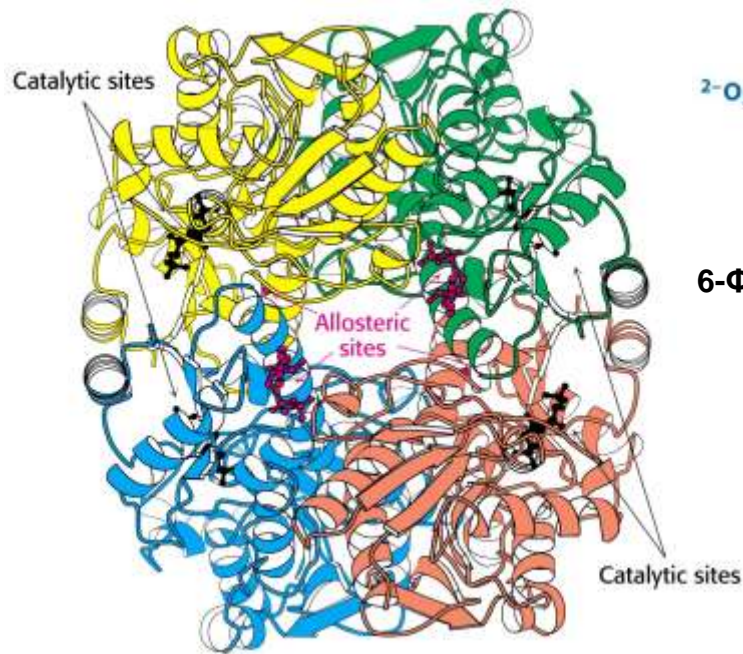


# Η ρύθμιση της φωσφοφρουκτοκινάσης





# Η ρύθμιση της φωσφοφρουκτοκινάσης

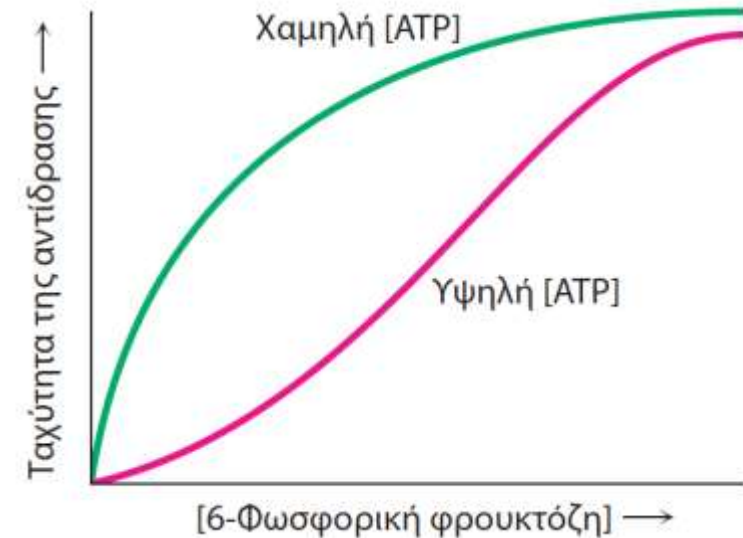


Αναστέλλεται από:

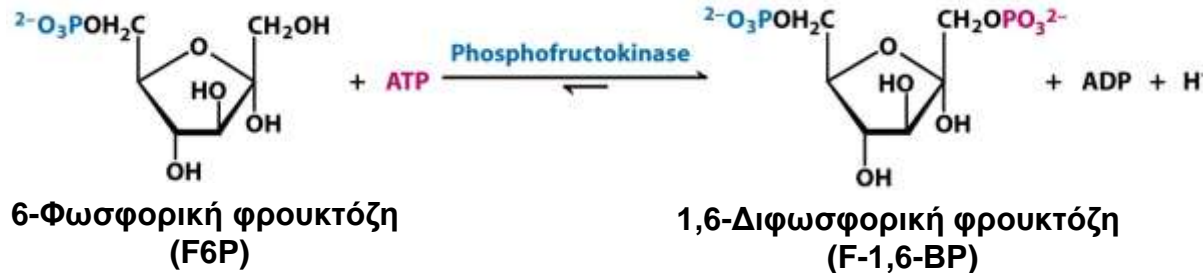
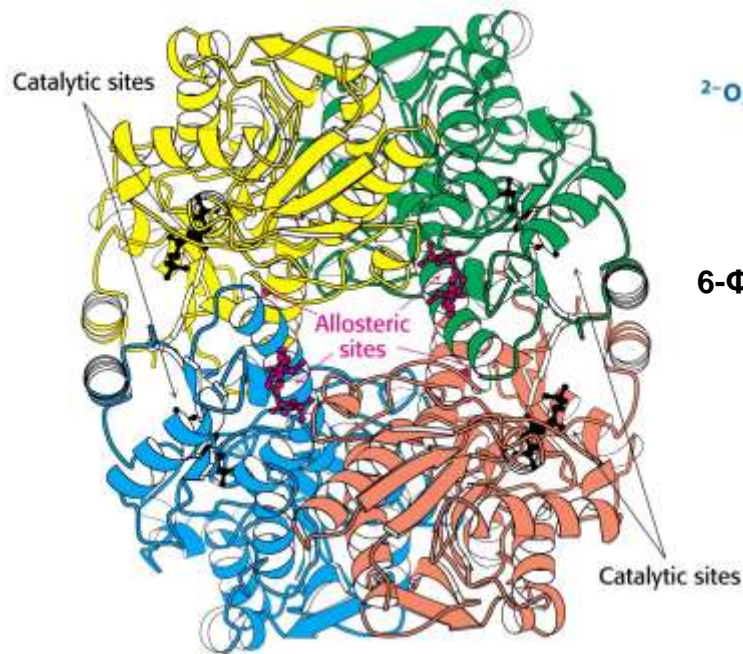
α. **ATP** (μείωση της συγγένειας προς το υπόστρωμα)

β. **H<sup>+</sup>** (προστασία από υπερβολικό σχηματισμό γαλακτικού και οξέωση)

γ. **Κιτρικό** (αφθονία βιοσυνθετικών προδρόμων μορίων)



# Η ρύθμιση της φωσφοφρουκτοκινάσης



**Αναστέλλεται από:**

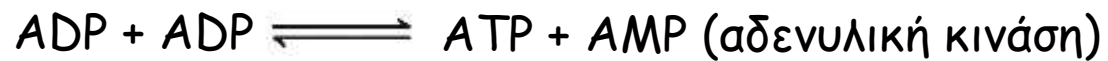
α. **ATP** (μείωση της συγγένειας προς το υπόστρωμα)

β. **H<sup>+</sup>** (προστασία από υπερβολικό σχηματισμό γαλακτικού και οξέωση)

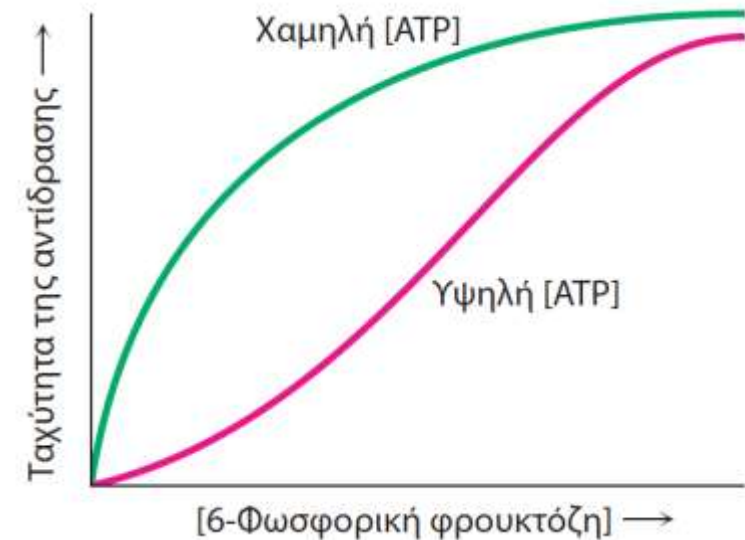
γ. **Κιτρικό** (αφθονία βιοσυνθετικών προδρόμων μορίων)

**Ενεργοποιείται από:**

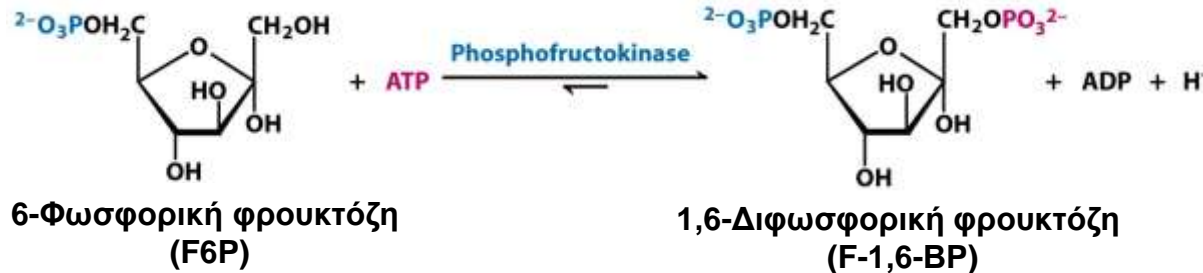
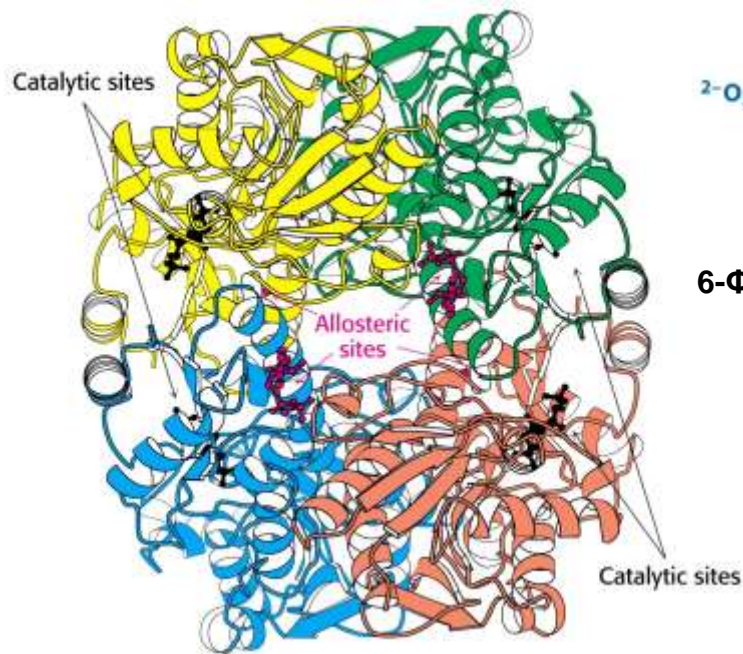
α. **AMP** (διέγερση της γλυκόλυσης από τη μείωση του ενεργειακού φορτίου)



β. **2,6-διφωσφορική φρουκτόζη (F-2,6-BP)**



# Η ρύθμιση της φωσφοφρουκτοκινάσης



**Αναστέλλεται από:**

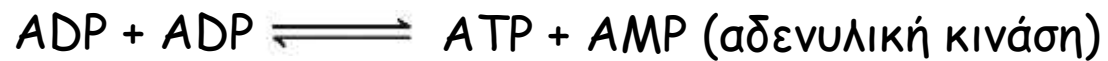
α. **ATP** (μείωση της συγγένειας προς το υπόστρωμα)

β. **H<sup>+</sup>** (προστασία από υπερβολικό σχηματισμό γαλακτικού και οξέωση)

γ. **Κιτρικό** (αφθονία βιοσυνθετικών προδρόμων μορίων)

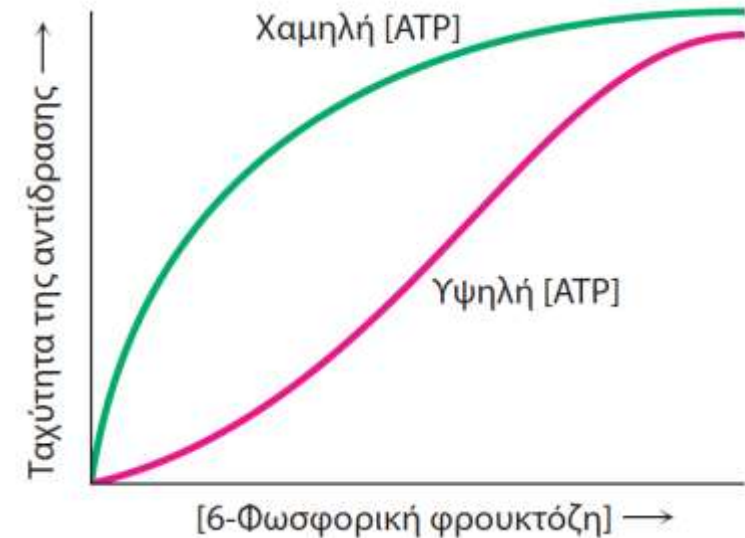
**Ενεργοποιείται από:**

α. **AMP** (διέγερση της γλυκόλυσης από τη μείωση του ενεργειακού φορτίου)

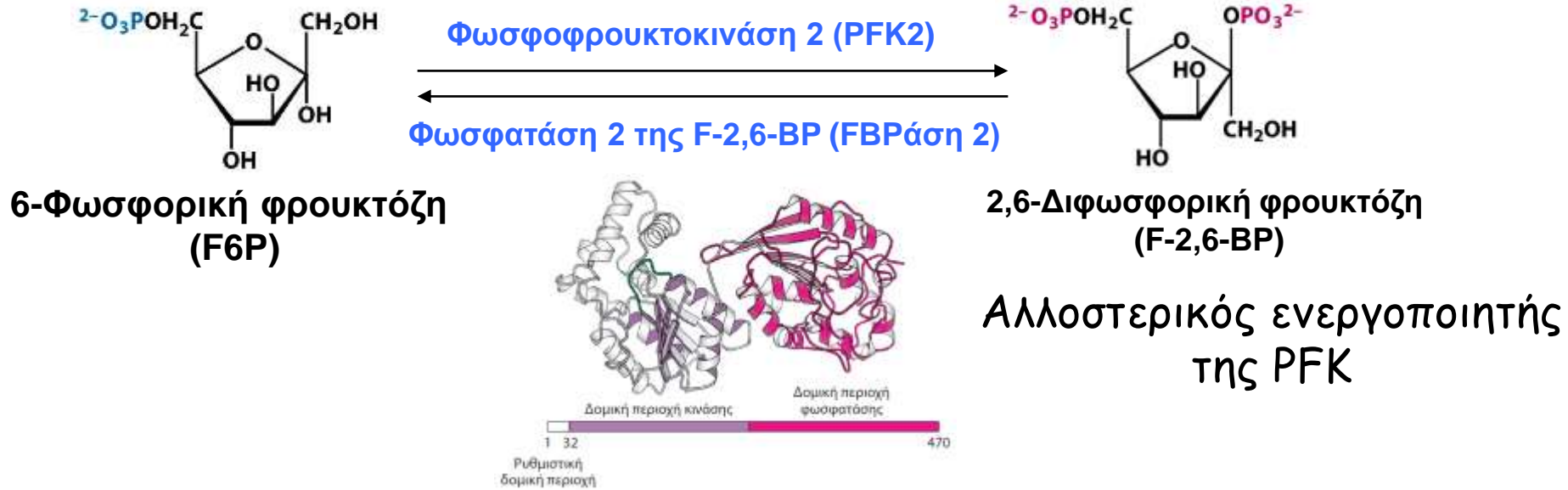


β. **2,6-διφωσφορική φρουκτόζη (F-2,6-BP)**

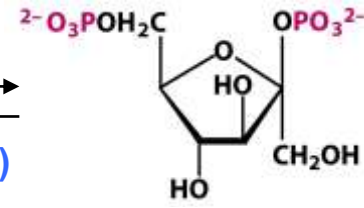
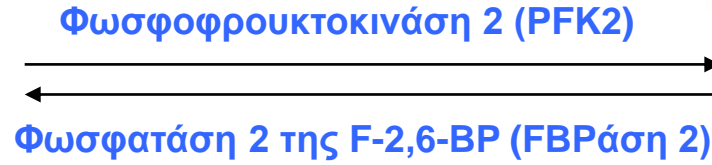
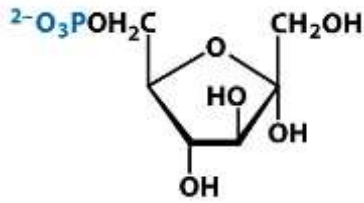
**Ρυθμίζεται από ορμόνες (ινσουλίνη, γλυκαγόνη)**



# Ρύθμιση της φωσφοφρουκτοκινάσης από τη 2,6-διφωσφορική φρουκτόζη

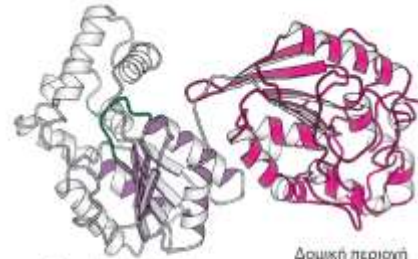


# Ρύθμιση της φωσφοφρουκτοκινάσης από τη 2,6-διφωσφορική φρουκτόζη



6-Φωσφορική φρουκτόζη (F6P)

2,6-Διφωσφορική φρουκτόζη (F-2,6-BP)



Δομική περιοχή κινάσης  
 Δομική περιοχή φωσφατάσης  
 Ρυθμιστική δομική περιοχή

Αλλοστερικός ενεργοποιητής της PFK

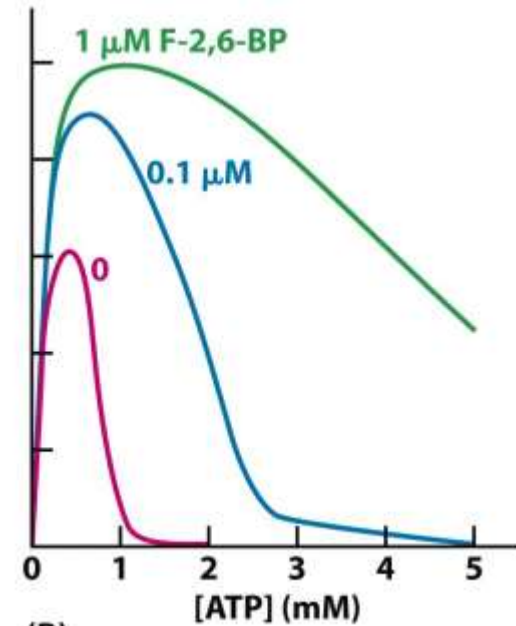
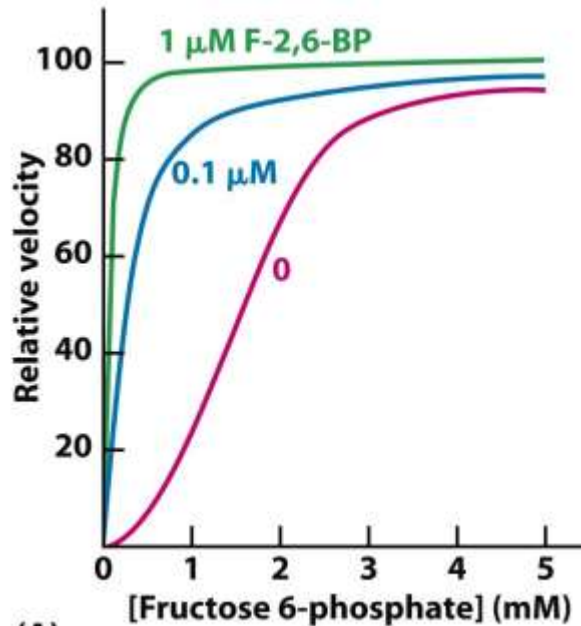
Διέγερση από πρόδρομο μόριο (feed forward stimulation)

Glucose

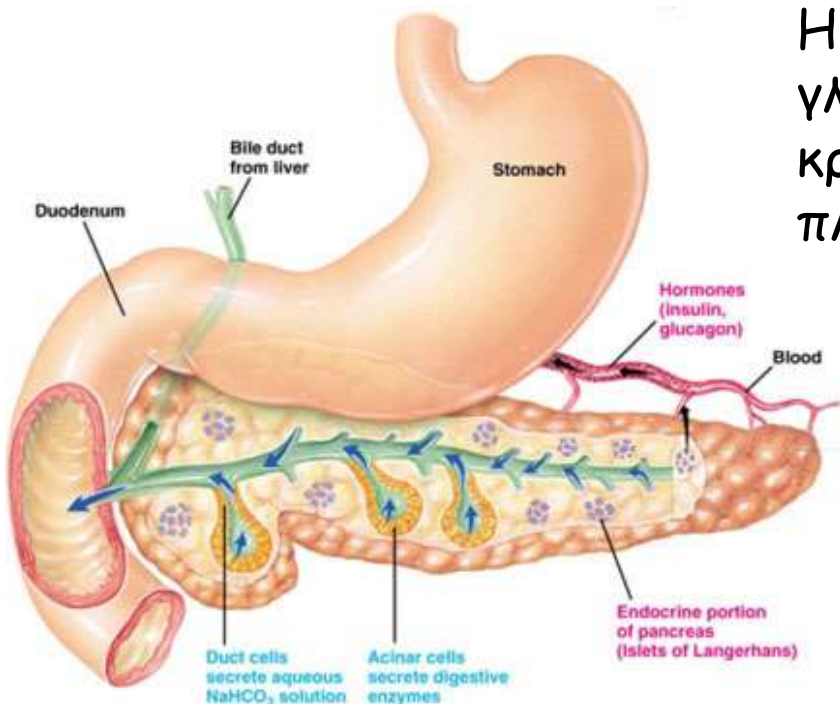
F-6P

F-2,6-BP activates PFK

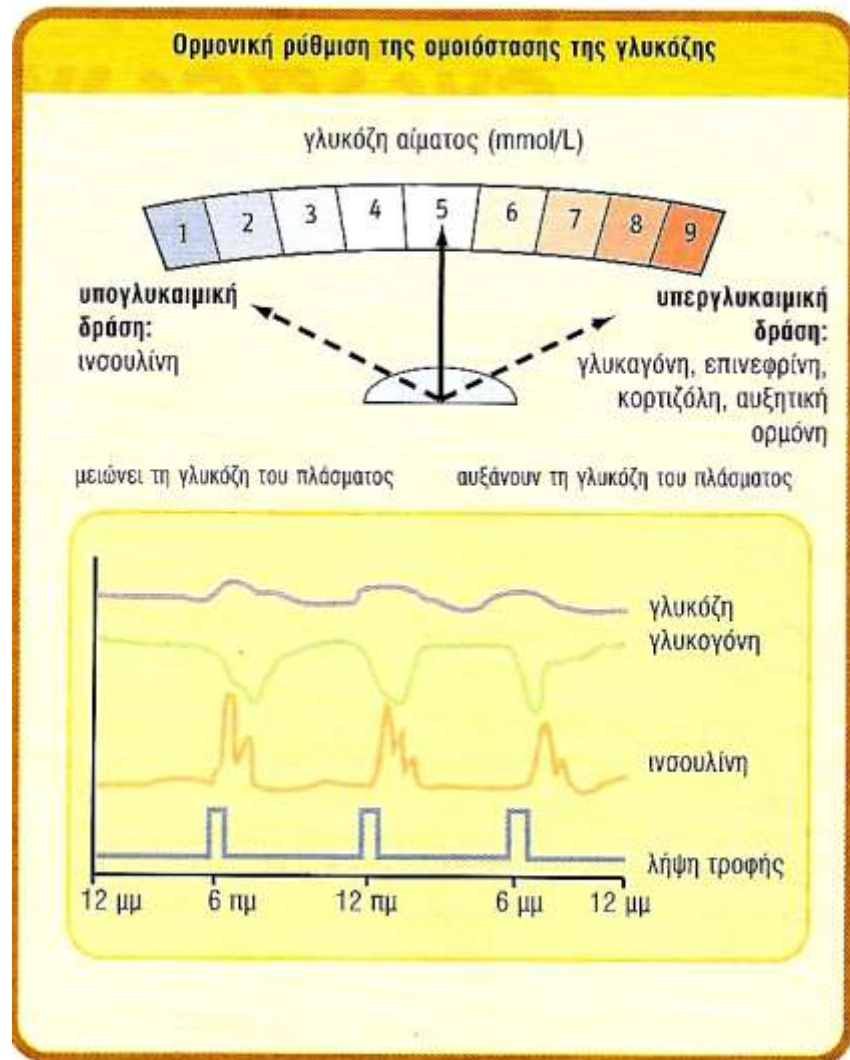
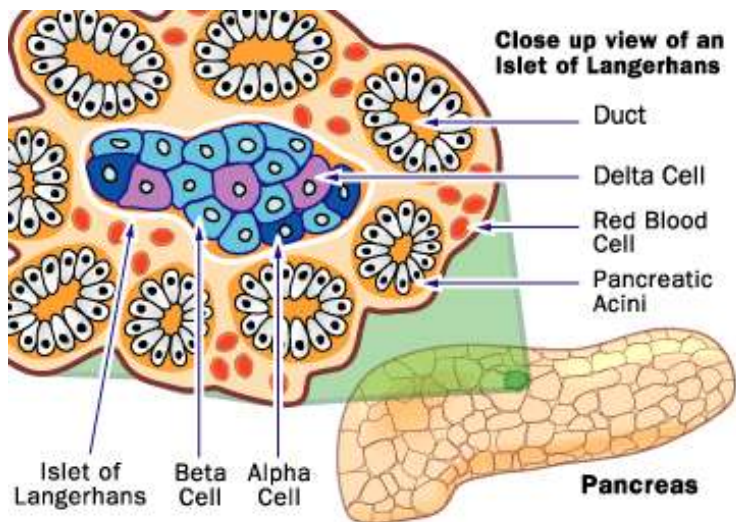
F-1,6-BP



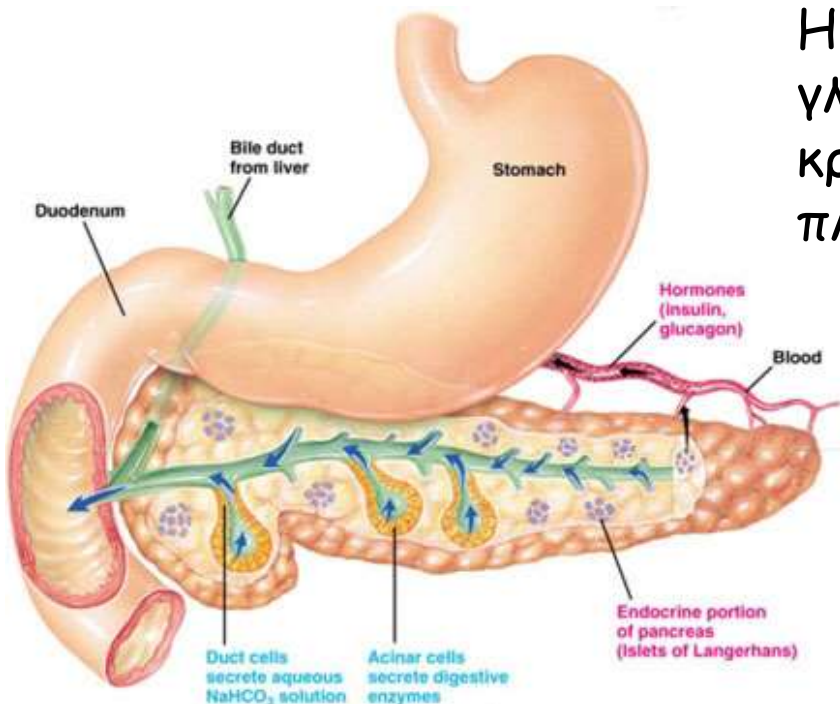
# Ορμονικός έλεγχος του μεταβολισμού: Ινσουλίνη και γλυκαγόνη



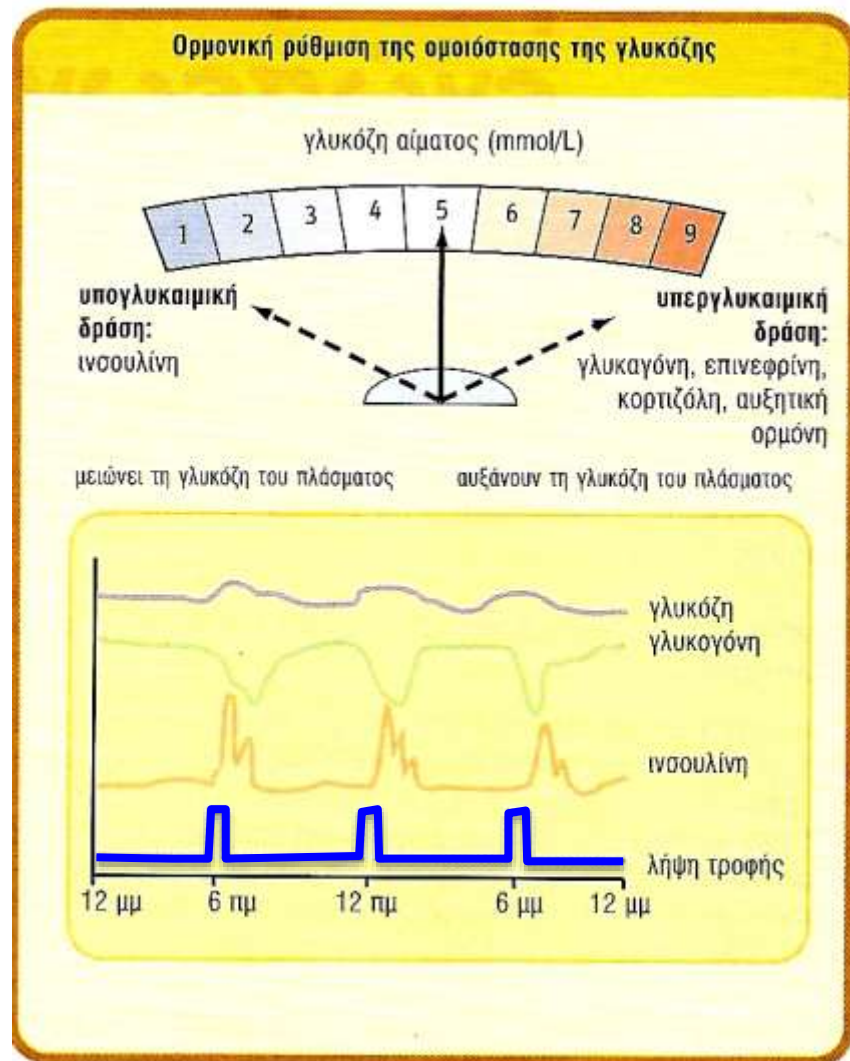
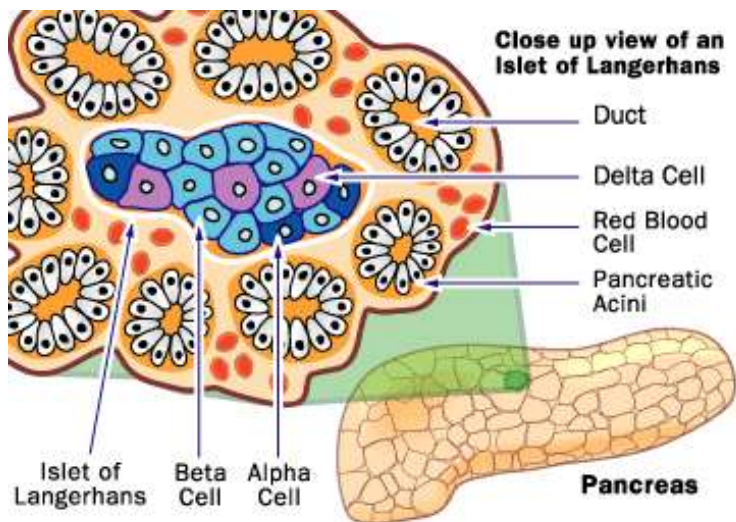
Η συνδυαστική δράση της ινσουλίνης και της γλυκαγόνης (ορμόνες του παγκρέατος) κρατούν σταθερά τα επίπεδα γλυκόζης στο πλάσμα



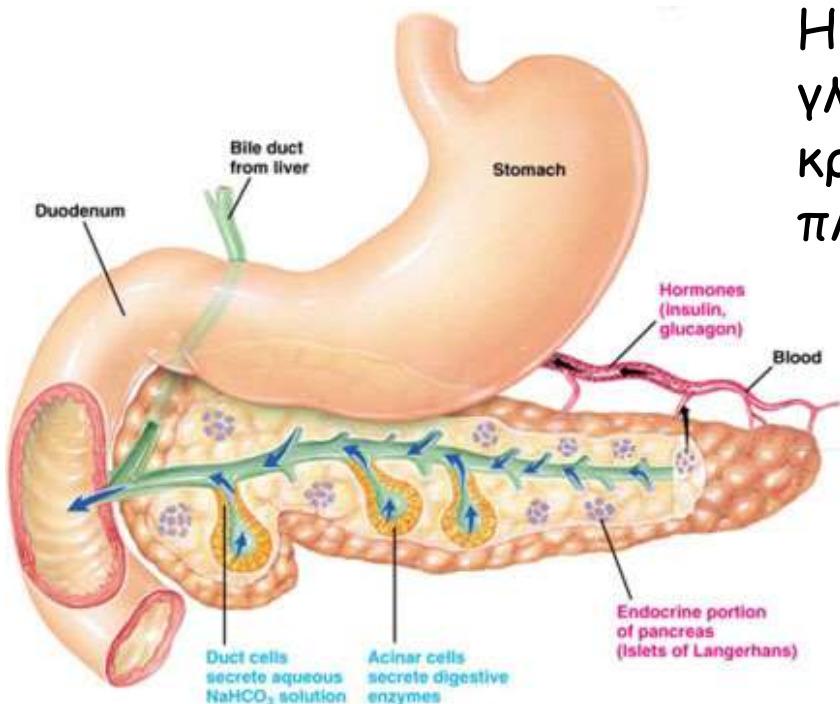
# Ορμονικός έλεγχος του μεταβολισμού: Ινσουλίνη και γλυκαγόνη



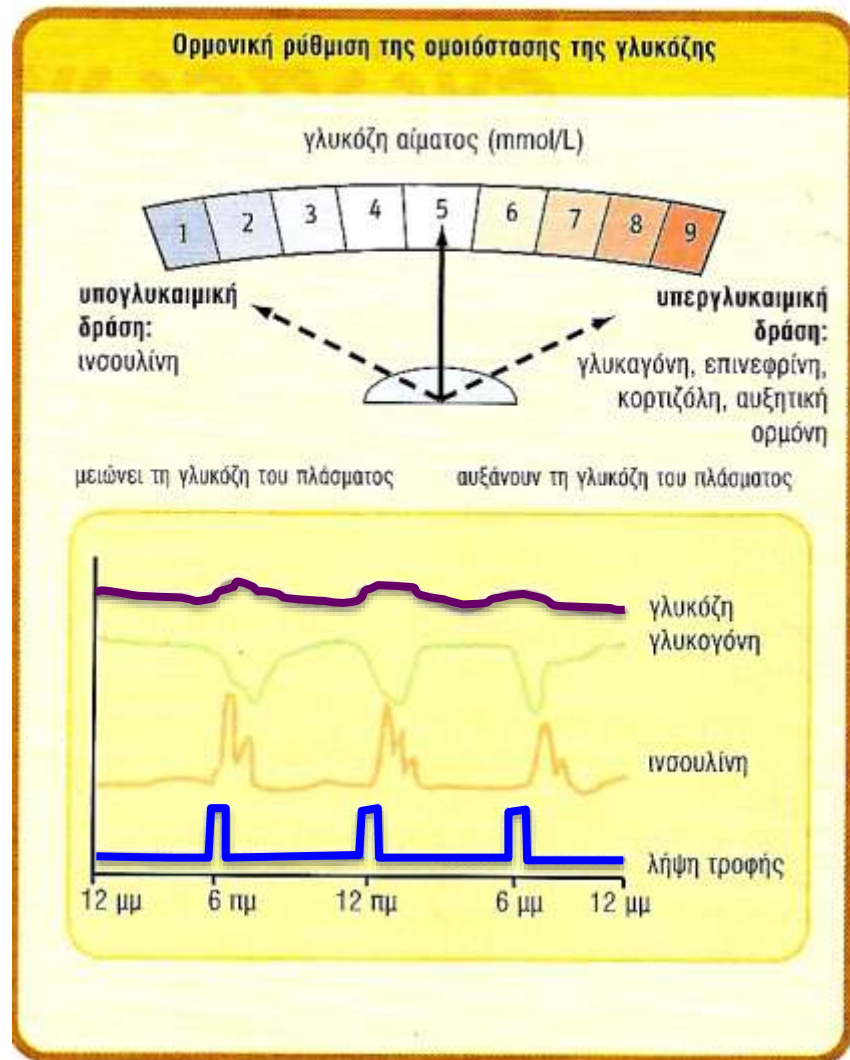
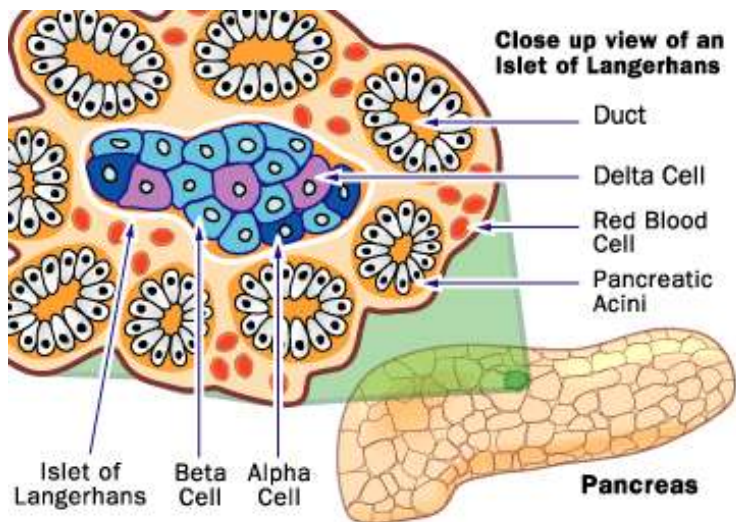
Η συνδυαστική δράση της ινσουλίνης και της γλυκαγόνης (ορμόνες του παγκρέατος) κρατούν σταθερά τα επίπεδα γλυκόζης στο πλάσμα



# Ορμονικός έλεγχος του μεταβολισμού: Ινσουλίνη και γλυκαγόνη

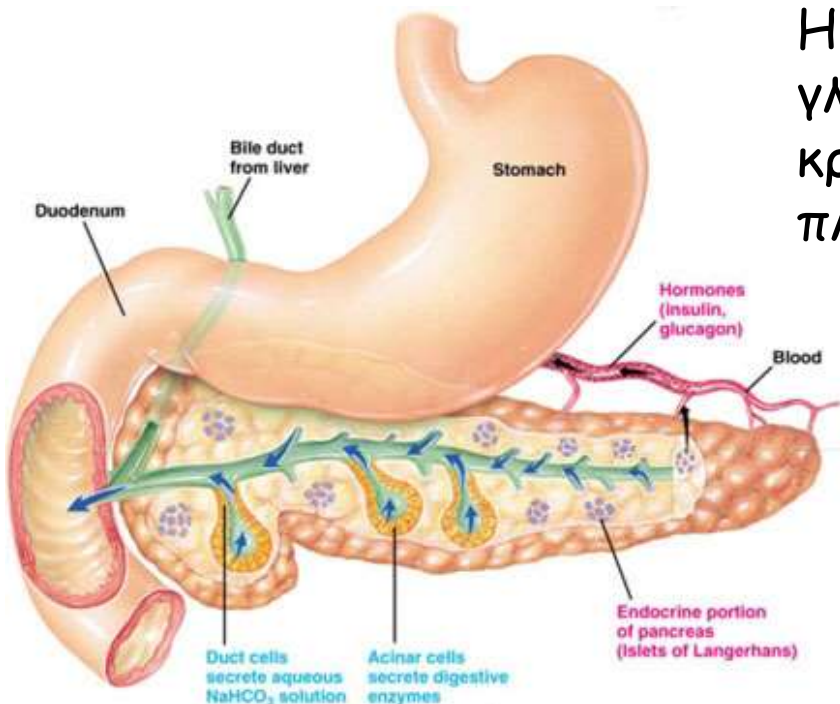


Η συνδυαστική δράση της ινσουλίνης και της γλυκαγόνης (ορμόνες του παγκρέατος) κρατούν σταθερά τα επίπεδα γλυκόζης στο πλάσμα

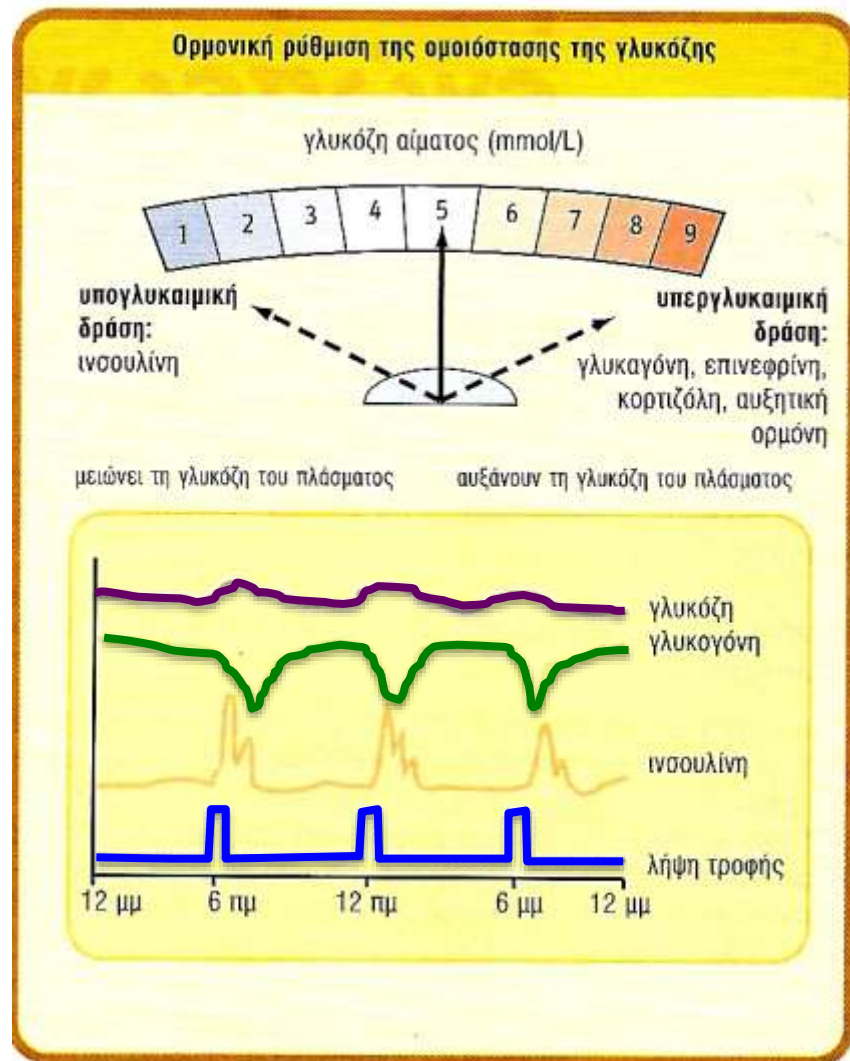
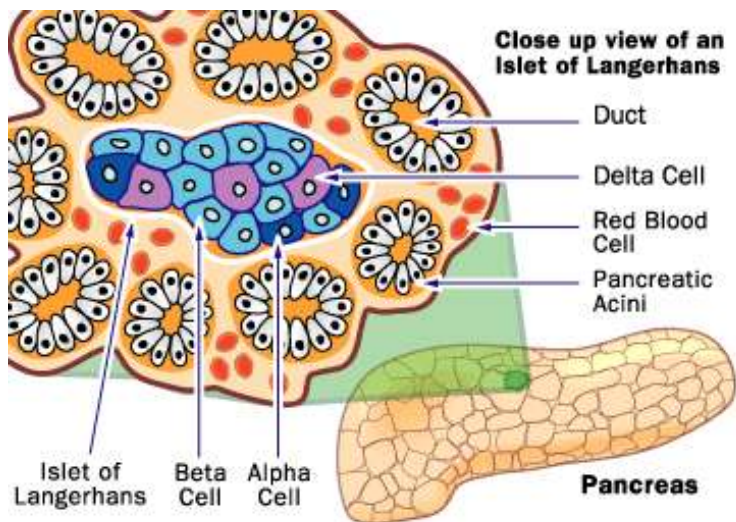




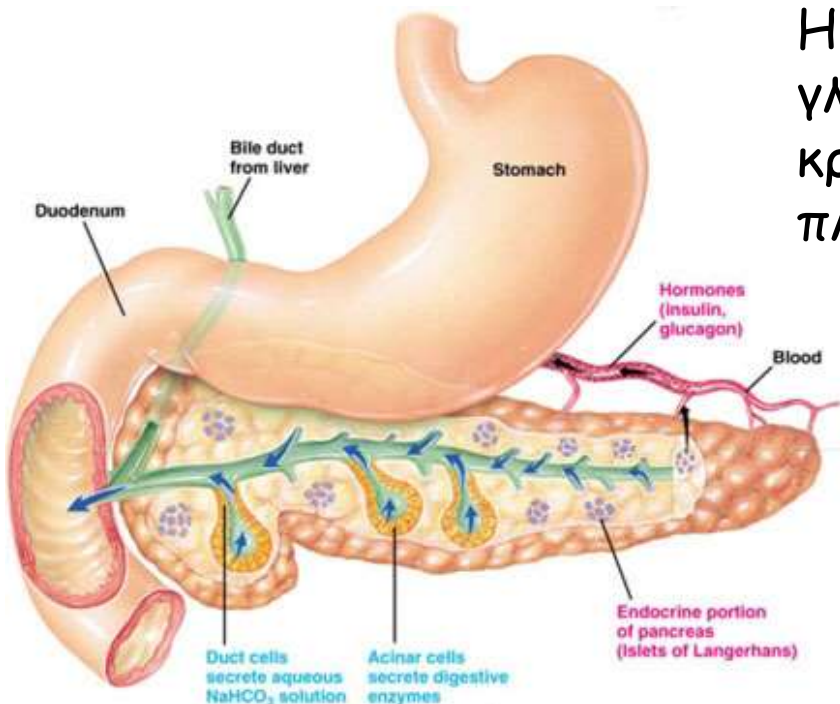
# Ορμονικός έλεγχος του μεταβολισμού: Ινσουλίνη και γλυκαγόνη



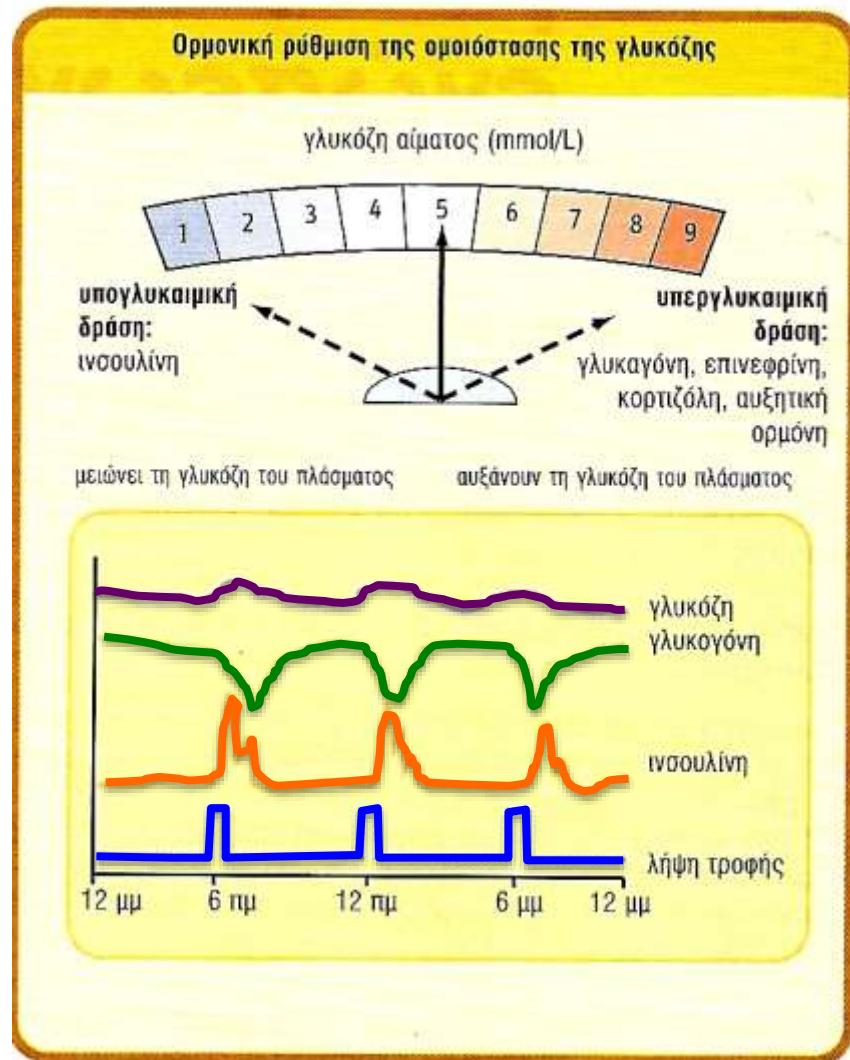
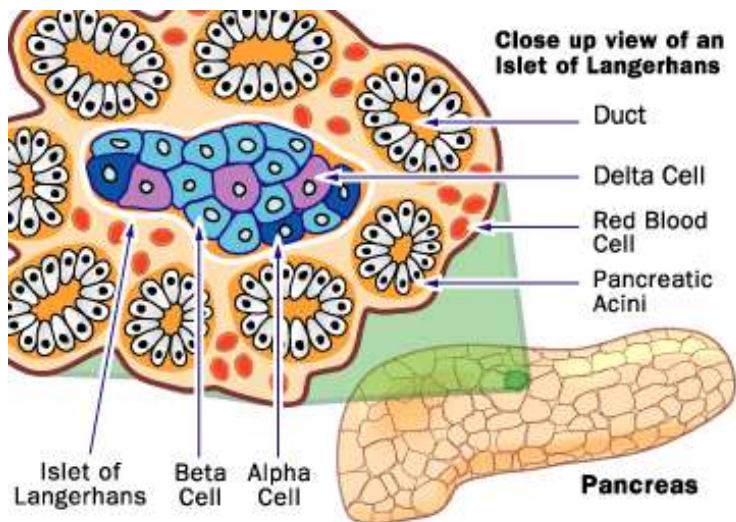
Η συνδυαστική δράση της ινσουλίνης και της γλυκαγόνης (ορμόνες του παγκρέατος) κρατούν σταθερά τα επίπεδα γλυκόζης στο πλάσμα



# Ορμονικός έλεγχος του μεταβολισμού: Ινσουλίνη και γλυκαγόνη



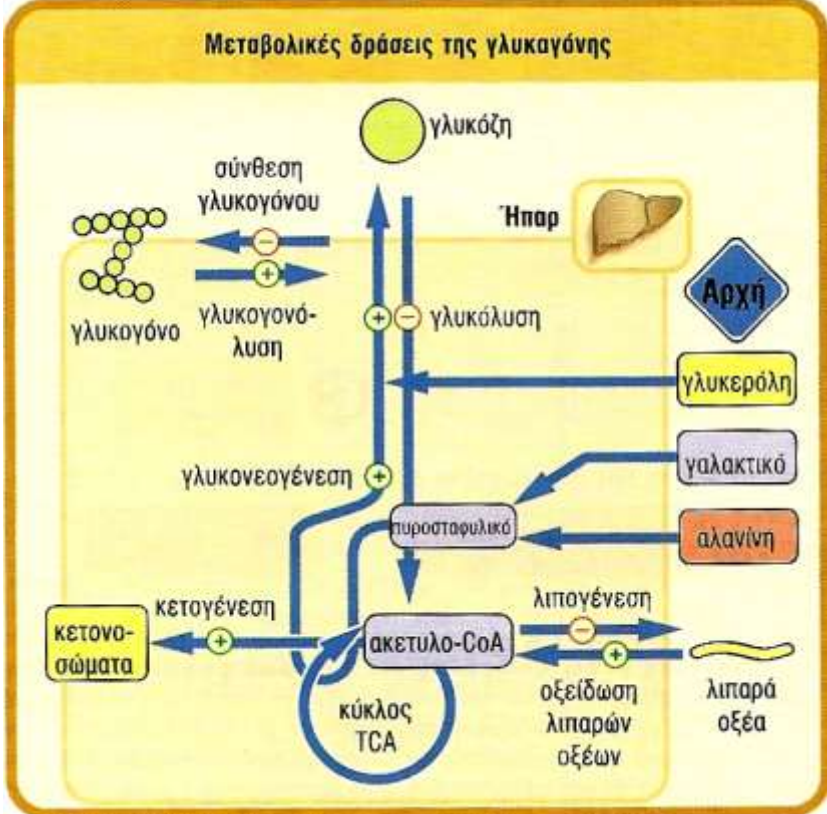
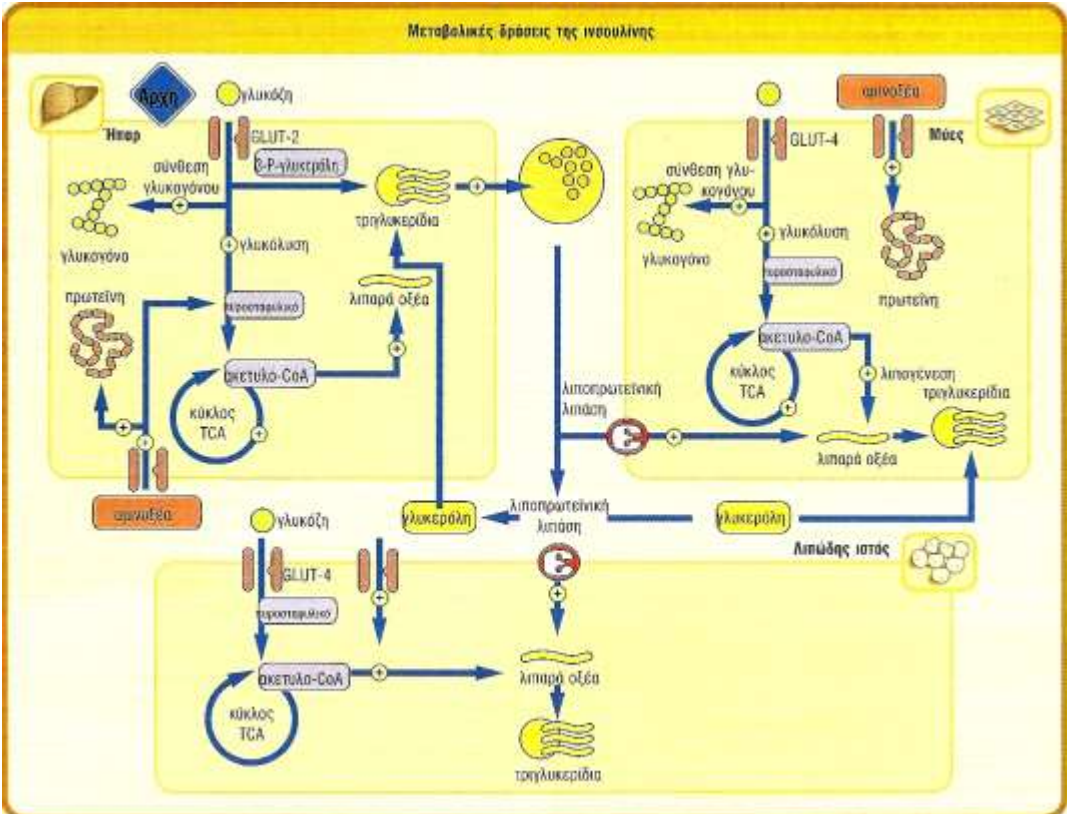
Η συνδυαστική δράση της ινσουλίνης και της γλυκαγόνης (ορμόνες του παγκρέατος) κρατούν σταθερά τα επίπεδα γλυκόζης στο πλάσμα



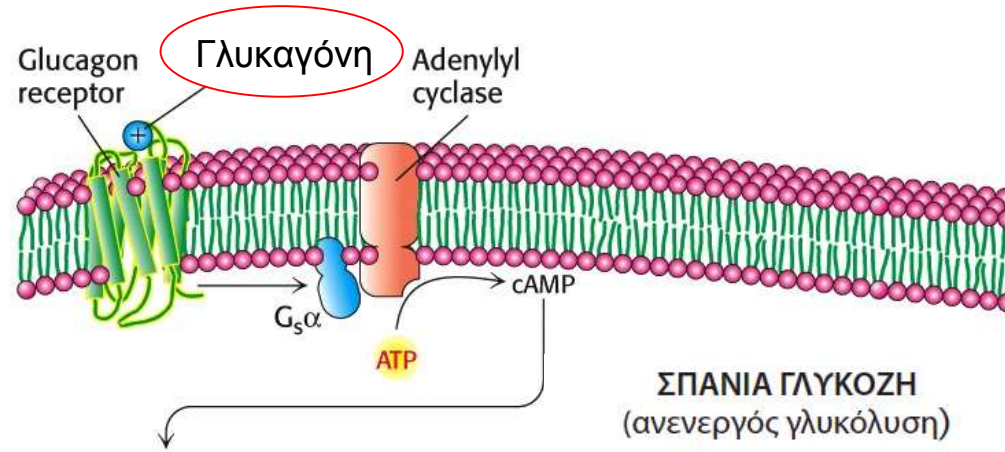
**Ορμόνη**  
**Σύσταση**  
**Έκκριση**  
**Στόχοι**  
**Δράση**

**Ινσουλίνη**  
 51 αμινοξέα (α: 21, β: 30)  
 β-κύτταρα νησιδίων Langerhans  
 όταν **αυξάνεται** η γλυκόζη  
 Κυρίως ήπαρ, μυς, λιπώδης ιστός  
**Αναβολική**, πρόσληψη γλυκόζης,  
 αποθήκευση υδατανθρακών &  
 λιπιδίων, σύνθεση πρωτεϊνών.  
**Ενεργοποίηση γλυκόλυσης.**

**Γλυκαγόνη**  
 29 αμινοξέα  
 α-κύτταρα νησιδίων Langerhans  
 όταν **μειώνεται** η γλυκόζη  
 Κυρίως ήπαρ  
**Καταβολική**, κινητοποίηση  
 αποθηκών υδατανθρακών &  
 λιπιδίων. Γλυκονεογένεση.  
**Αναστολή γλυκόλυσης.**

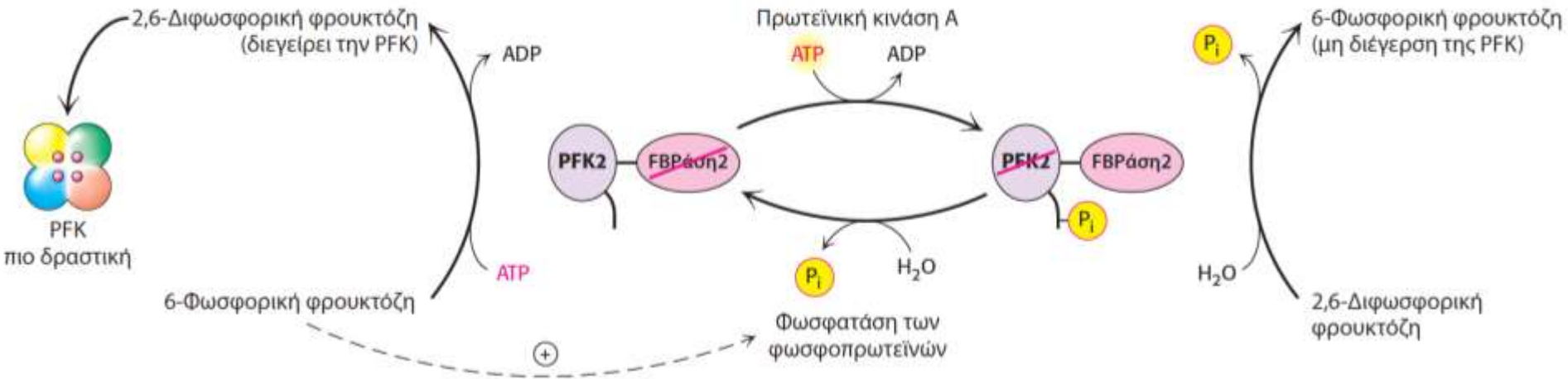


# Ορμονική ρύθμιση της φωσφοφρουκτοκινάσης μέσω της F-2,6-BP στο ήπαρ

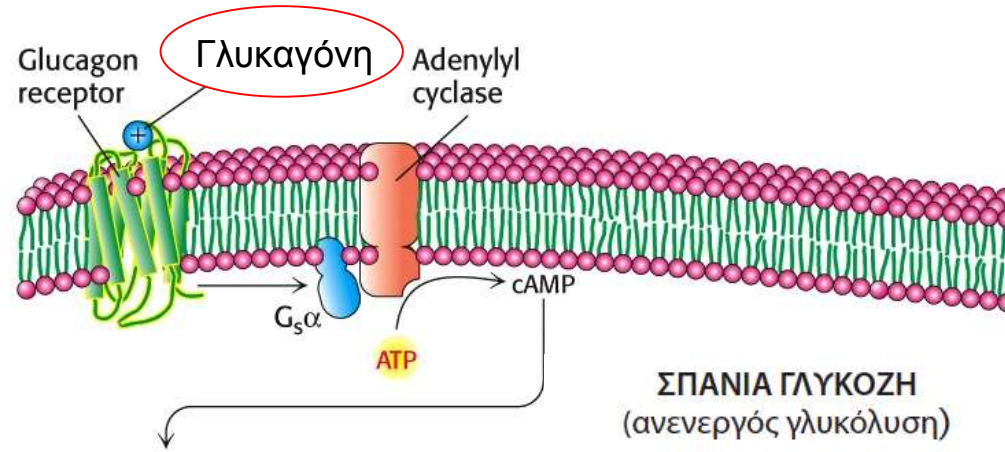


**ΑΦΘΟΝΗ ΓΛΥΚΟΖΗ**  
(ενεργός γλυκόλυση)

**ΣΠΑΝΙΑ ΓΛΥΚΟΖΗ**  
(ανενεργός γλυκόλυση)

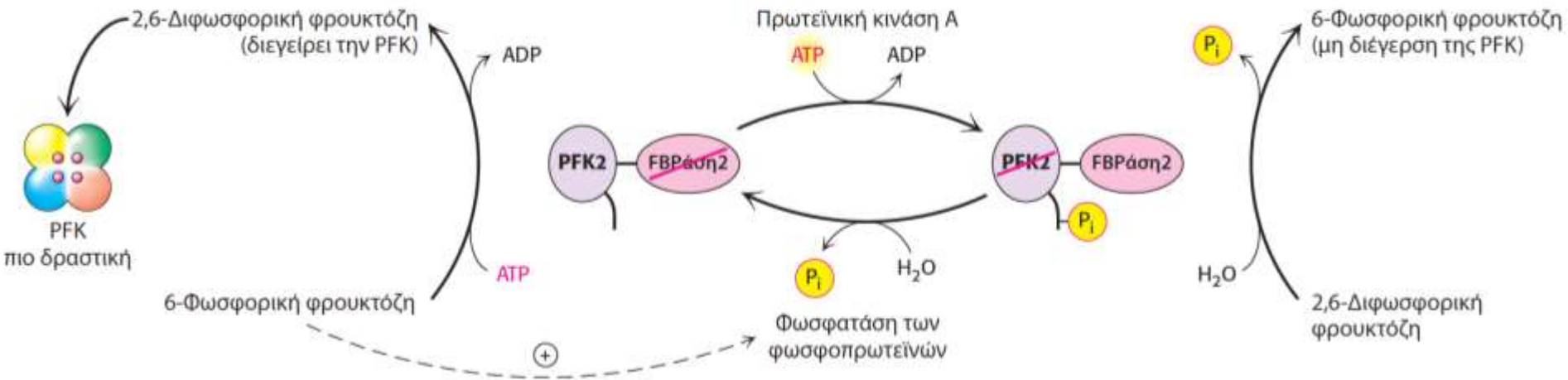


# Ορμονική ρύθμιση της φωσφοφρουκτοκινάσης μέσω της F-2,6-BP στο ήπαρ



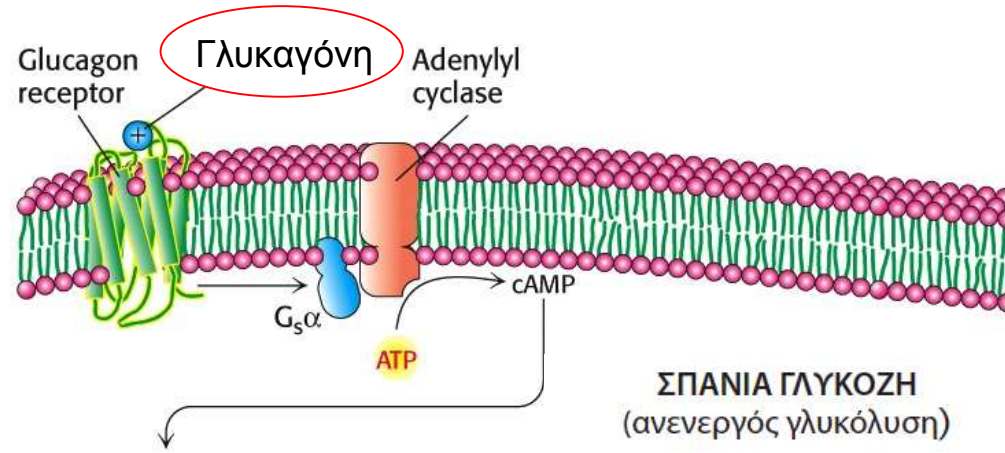
**ΑΦΘΟΝΗ ΓΛΥΚΟΖΗ**  
(ενεργός γλυκόλυση)

**ΣΠΑΝΙΑ ΓΛΥΚΟΖΗ**  
(ανενεργός γλυκόλυση)



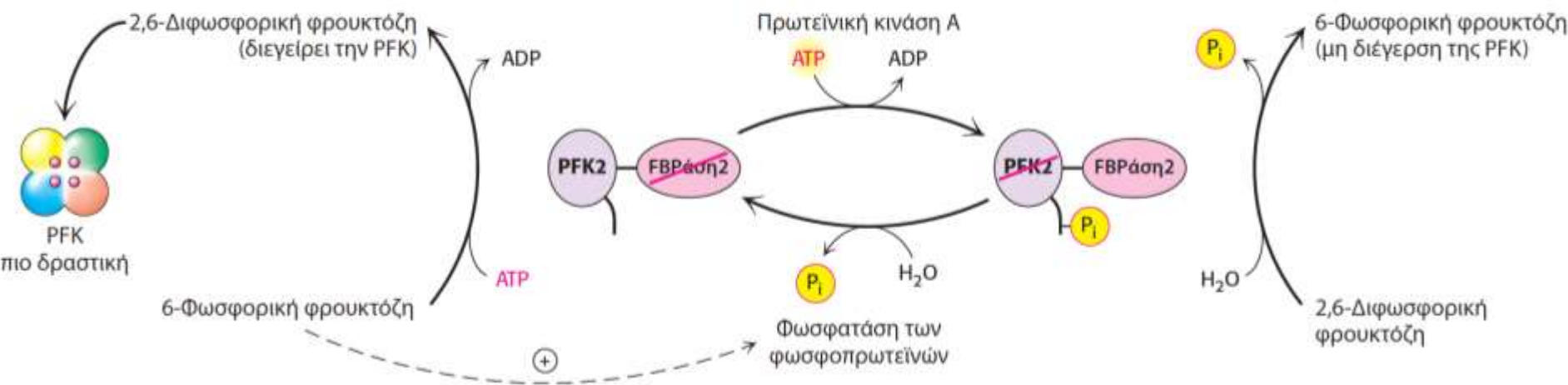
**ΧΑΜΗΛΗ ΓΛΥΚΟΖΗ**  
**(Ασιτία)**  
**ΕΝΕΡΓΗ FBPάση 2**  
**ΛΙΓΗ F-2,6-BP**  
**ΑΝΕΝΕΡΓΗ PFK**  
**ΑΝΕΝΕΡΓΗ ΓΛΥΚΟΛΥΣΗ**

# Ορμονική ρύθμιση της φωσφοφρουκτοκινάσης μέσω της F-2,6-BP στο ήπαρ



**ΑΦΘΟΝΗ ΓΛΥΚΟΖΗ**  
(ενεργός γλυκόλυση)

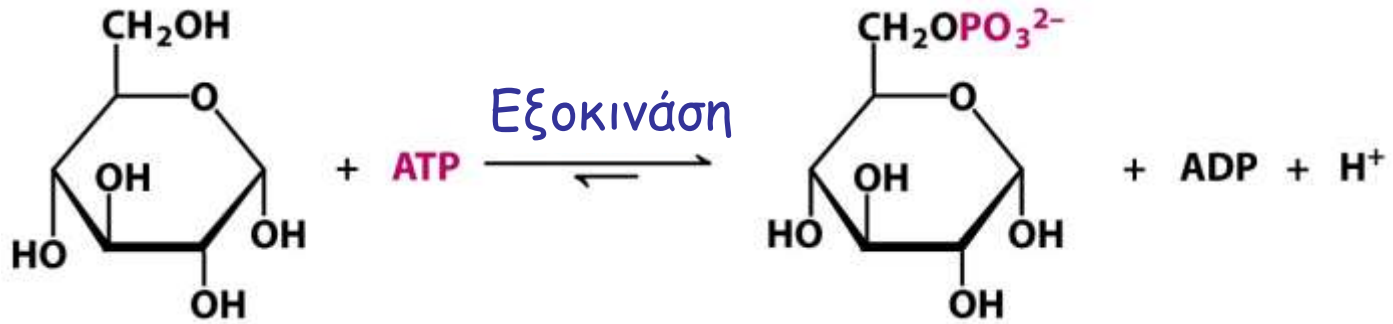
**ΣΠΑΝΙΑ ΓΛΥΚΟΖΗ**  
(ανενεργός γλυκόλυση)



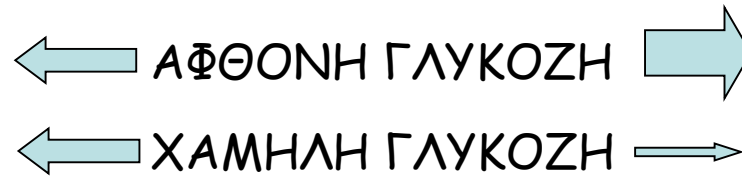
**ΑΦΘΟΝΗ ΓΛΥΚΟΖΗ**  
(Μεταγευματική κατάσταση)  
**ΕΝΕΡΓΗ PFK2**  
**ΑΦΘΟΝΗ F-2,6-BP**  
**ΕΝΕΡΓΗ PFK**  
**ΕΝΕΡΓΗ ΓΛΥΚΟΛΥΣΗ**

**ΧΑΜΗΛΗ ΓΛΥΚΟΖΗ**  
(Ασιτία)  
**ΕΝΕΡΓΗ FBPάση 2**  
**ΛΙΓΗ F-2,6-BP**  
**ΑΝΕΝΕΡΓΗ PFK**  
**ΑΝΕΝΕΡΓΗ ΓΛΥΚΟΛΥΣΗ**

# Ιστοειδική ρύθμιση της γλυκόλυσης μέσω της εξοκινάσης

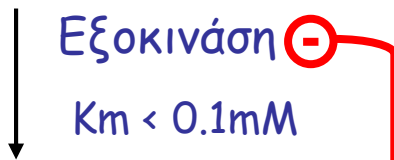


Εγκέφαλος, Μυς



Ήπαρ

Γλυκόζη



6-Φωσφορική Γλυκόζη (G6P)

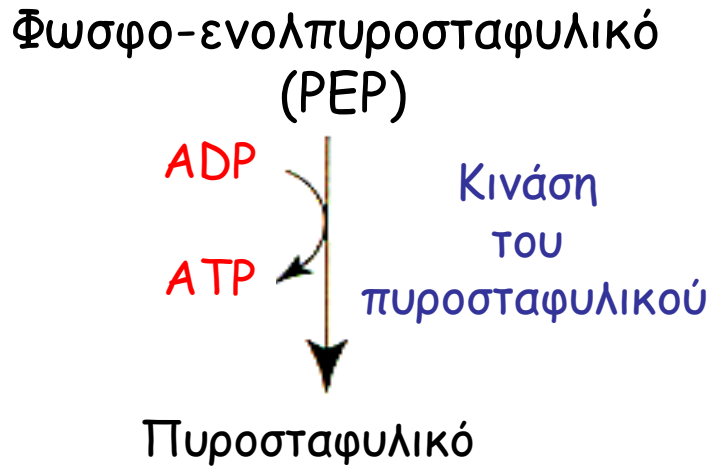
Γλυκόζη



6-Φωσφορική Γλυκόζη (G6P)

Γλυκογόνο

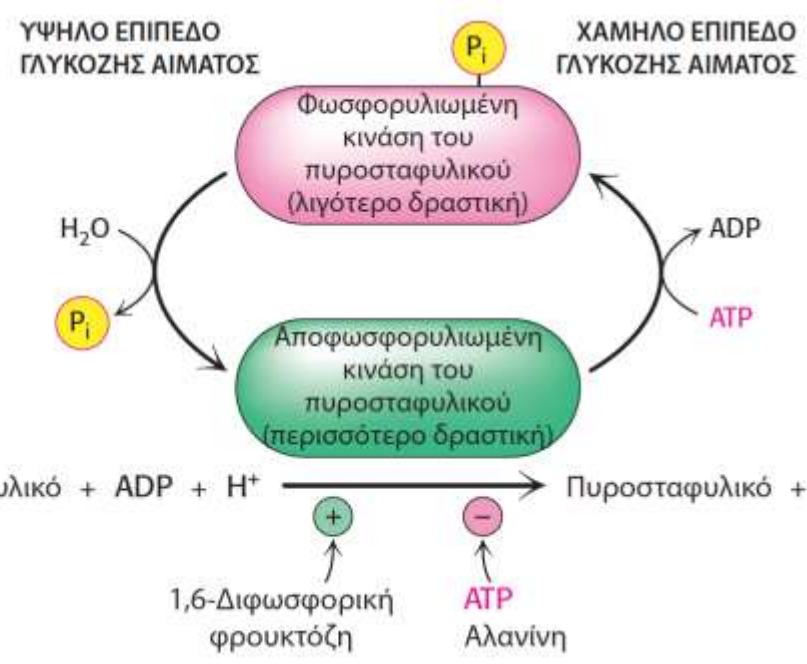
# Ρύθμιση της γλυκόλυσης μέσω της κινάσης του πυροσταφυλικού



L (Ήπαρ) } ⊕ — F-1,6-BP  
M (Μυς) } ⊖ — ATP, αλανίνη

Ορμονικός έλεγχος της ηπατικής (L) κινάσης του πυροσταφυλικού:

Χαμηλή γλυκόζη →  
γλυκαγόνη → cAMP →  
φωσφορυλίωση →  
απενεργοποίηση της κινάσης  
του πυροσταφυλικού →  
περιορισμός κατανάλωσης  
γλυκόζης από το ήπαρ

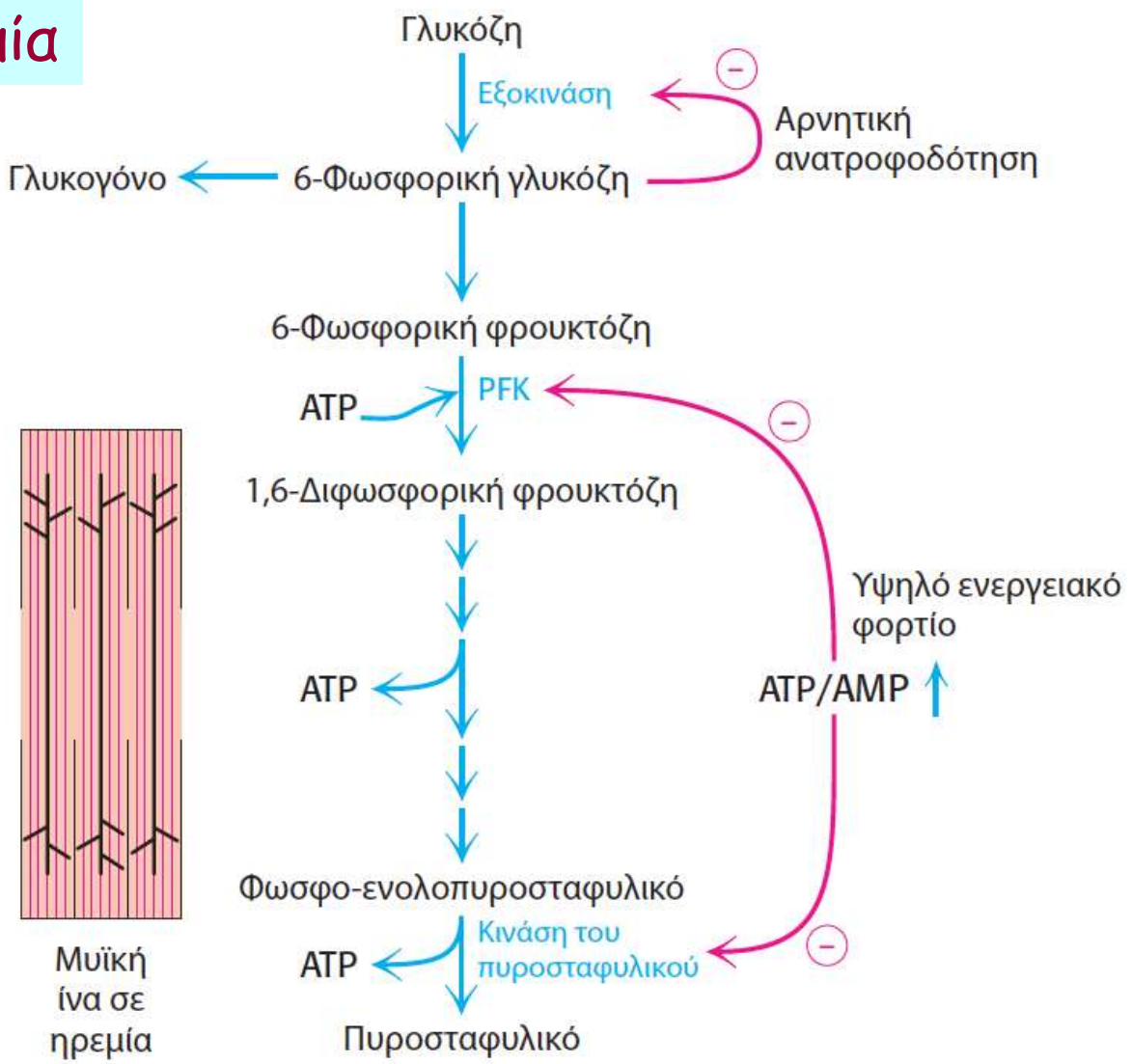
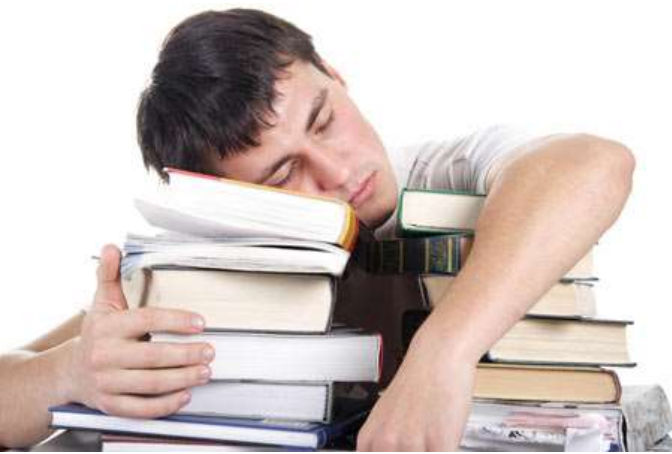




# Αναστολή της γλυκόλυσης στους μύς κατά την ηρεμία



# Αναστολή της γλυκόλυσης στους μύς κατά την ηρεμία



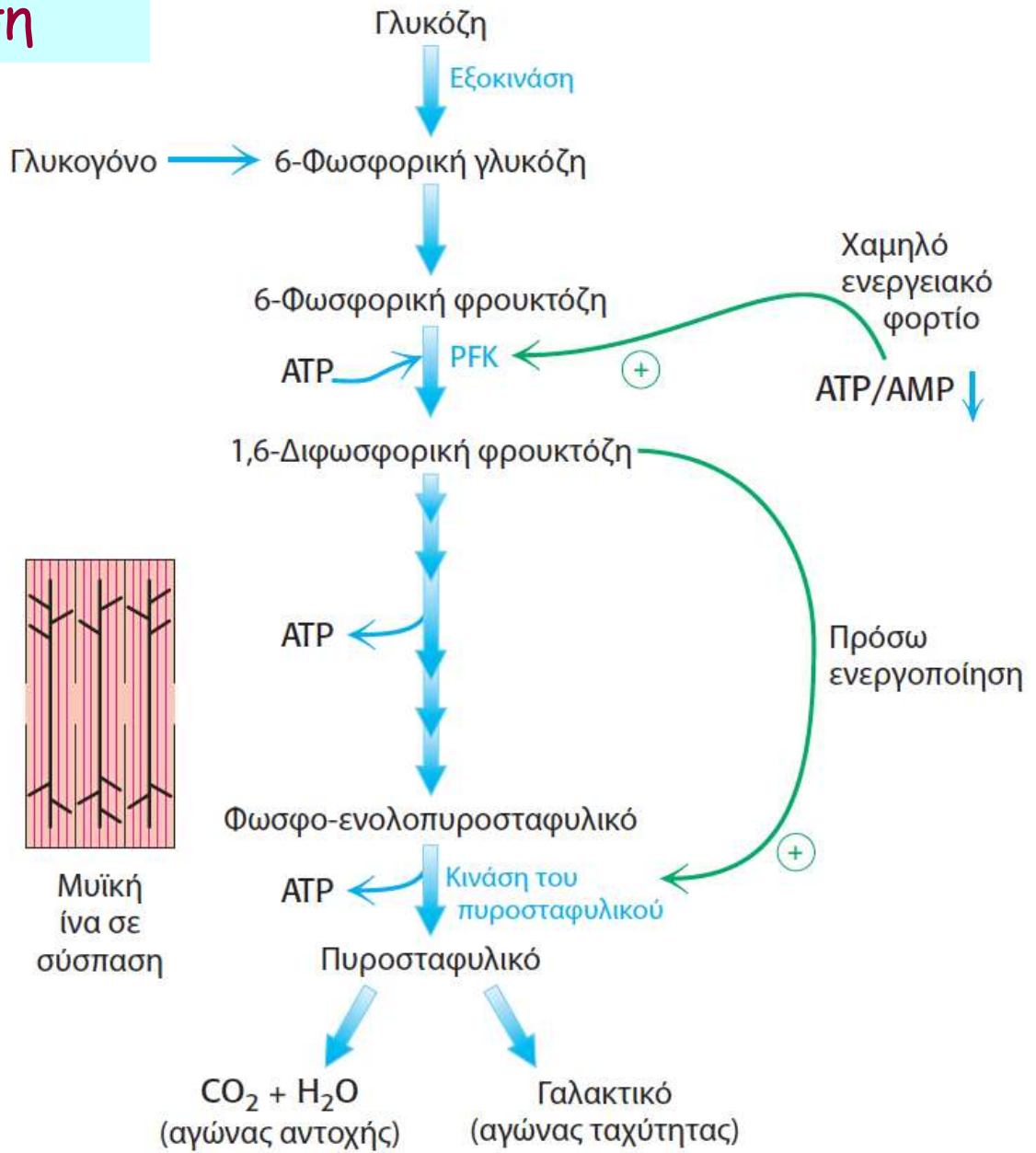
# Ενεργοποίηση της γλυκόλυσης στους μυς κατά την άσκηση



# Ενεργοποίηση της γλυκόλυσης στους μυς κατά την άσκηση



# Ενεργοποίηση της γλυκόλυσης στους μύς κατά την άσκηση



# Σύνοψη: Γλυκονεογένεση

## Στάδια γλυκόλυσης

### 1<sup>ο</sup> Στάδιο: Δέσμευση & ενεργοποίηση γλυκόζης

Κυρίως στο ήπαρ

~~Εξοκινάση~~

6-Φωσφορική Γλυκόζη (-ATP),

Ισομεράση

6-Φωσφορική φρουκτόζη

~~Φωσφοφρουκτοκινάση~~

1,6-Διφωσφορική φρουκτόζη (-ATP),

### 2<sup>ο</sup> Στάδιο: Διάσπαση

Αλδολάση, Ισομεράση

3-Φωσφορική γλυκεραλδεΐδη (2X)

### 3<sup>ο</sup> Στάδιο: Οξείδωση & συλλογή ενέργειας

Αφυδρογονάση (GAPDH)

1,3-Διφωσφογλυκερικό + NADH (2X)

Κινάση

3-Φωσφογλυκερικό + ATP (2X)

Μουτάση

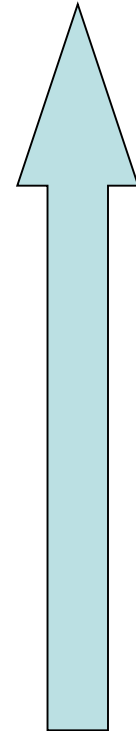
2-Φωσφογλυκερικό (2X)

Ενολάση

Φωσφο-ενολπυροσταφυλικό (2X)

~~Κινάση~~

Πυροσταφυλικό + ATP (2X)



Μετατροπή του πυροσταφυλικού σε PEP

Καρβοξυλάση πυροσταφυλικού (βιοτίνη,  $\uparrow$  ακετυλο-CoA,  $\downarrow$  ADP)

Οξαλοξικό ( $-$  CO<sub>2</sub>,  $-$  ATP)

Καρβοξυκινάση φωσφοενολπυροσταφυλικού

Φωσφοενολπυροσταφυλικό ( $+$  CO<sub>2</sub>,  $-$  GTP)

Μετατροπή της 1,6-διφωσφορικής φρουκτόζης σε F6P

Φωσφατάση ( $\uparrow$  ΚΙΤΡΙΚΟ,  $\downarrow$  AMP, 2,6 διφωσφορική φρουκτόζη)

Μετατροπή της 6-φωσφορικής γλυκόζης σε γλυκόζη

Φωσφατάση (ήπαρ, ενδοπλασματικό δίκτυο)

---

Πηγές γλυκόζης

Γαλακτικό

Γαλακτικό  $\rightarrow$  Πυροσταφυλικό (Κύκλος Cori)

Γλυκογενετικά αμινοξέα

Αλανίνη  $\rightarrow$  Πυροσταφυλικό (Κύκλος Αλανίνης)

Γλυκερόλη (Τριγλυκερίδια)  $\rightarrow$  ήπαρ

Γλυκερόλη  $\rightarrow$  Φωσφορική γλυκερόλη ( $-$  ATP)  $\rightarrow$

Φωσφορική διυδροξυακετόνη ( $+$  NADH)

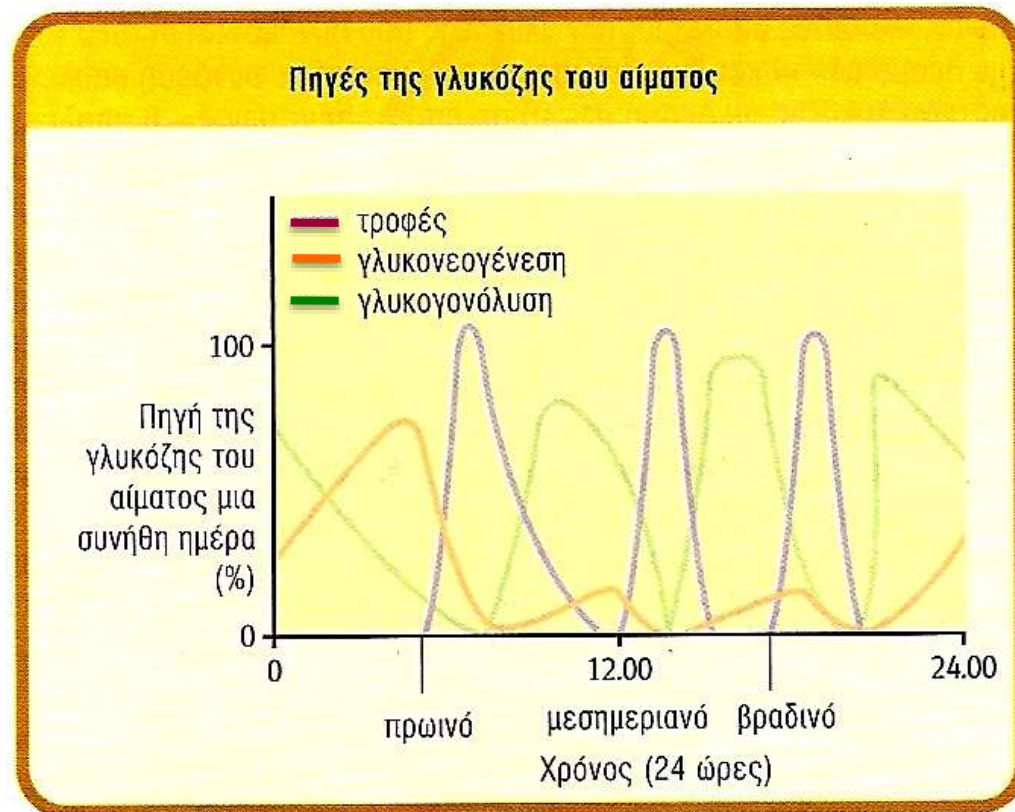
# Γλυκονεογένεση

- ❖ Η σύνθεση γλυκόζης (κατά τη περίοδο ασιτίας)
- ❖ Κυρίως στο **ήπαρ**, λιγότερο στα νεφρά (10%), ελάχιστη σε εγκέφαλο, μυς
- ❖ Για σταθερά επίπεδα στο αίμα

Σύνολο γλυκόζης στο σώμα: 210 gr (20 gr +190 gr γλυκογόνο)

Ημερήσια ανάγκη σώματος: 160 gr

Ημερήσια ανάγκη εγκεφάλου: 120 gr





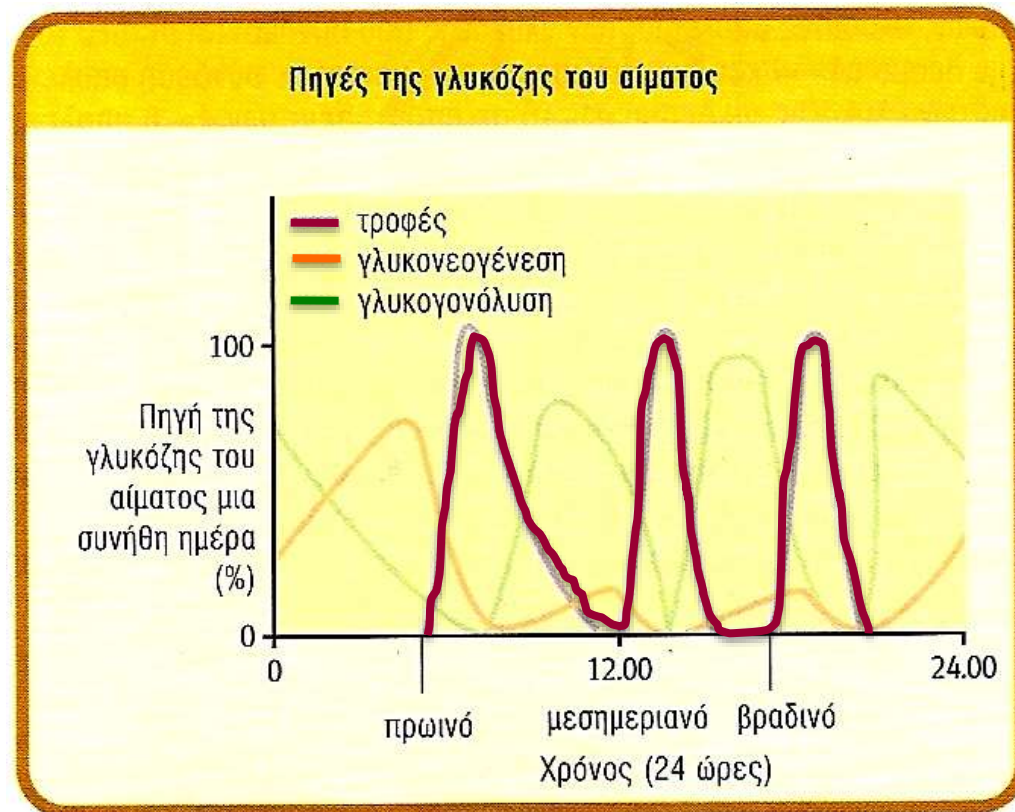
# Γλυκονεογένεση

- ❖ Η σύνθεση γλυκόζης (κατά τη περίοδο ασιτίας)
- ❖ Κυρίως στο **ήπαρ**, λιγότερο στα νεφρά (10%), ελάχιστη σε εγκέφαλο, μυς
- ❖ Για σταθερά επίπεδα στο αίμα

Σύνολο γλυκόζης στο σώμα: 210 gr (20 gr +190 gr γλυκογόνο)

Ημερήσια ανάγκη σώματος: 160 gr

Ημερήσια ανάγκη εγκεφάλου: 120 gr



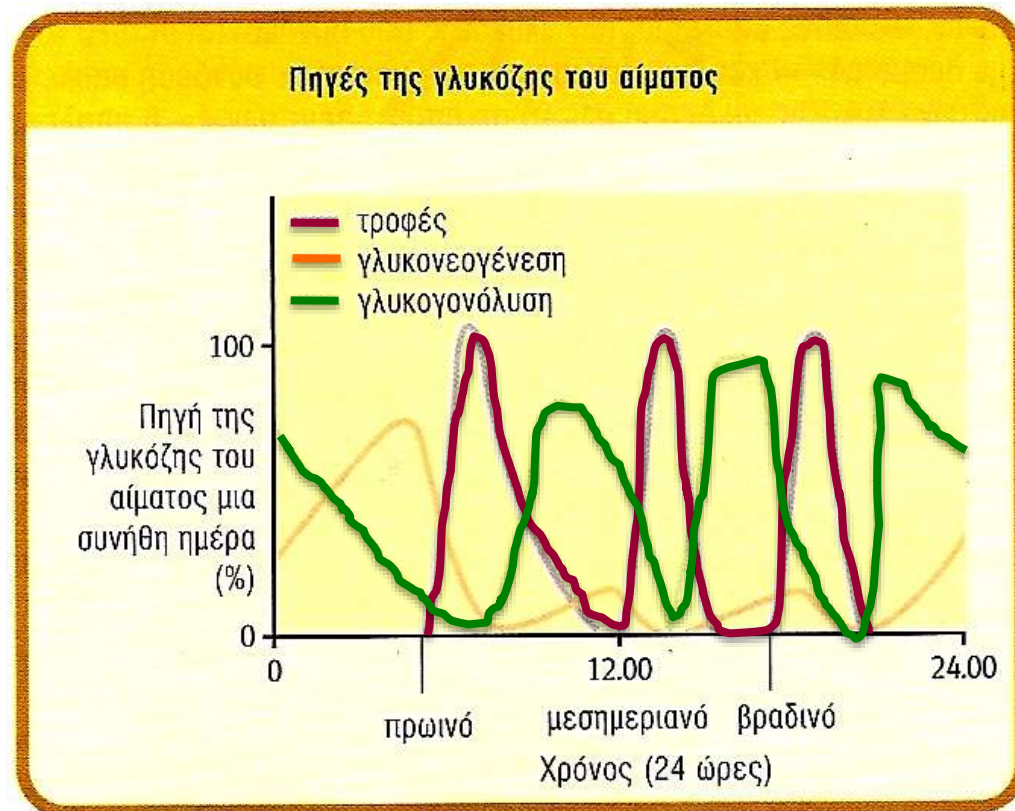
# Γλυκονεογένεση

- ❖ Η σύνθεση γλυκόζης (κατά τη περίοδο ασιτίας)
- ❖ Κυρίως στο **ήπαρ**, λιγότερο στα νεφρά (10%), ελάχιστη σε εγκέφαλο, μυς
- ❖ Για σταθερά επίπεδα στο αίμα

Σύνολο γλυκόζης στο σώμα: 210 gr (20 gr +190 gr γλυκογόνο)

Ημερήσια ανάγκη σώματος: 160 gr

Ημερήσια ανάγκη εγκεφάλου: 120 gr



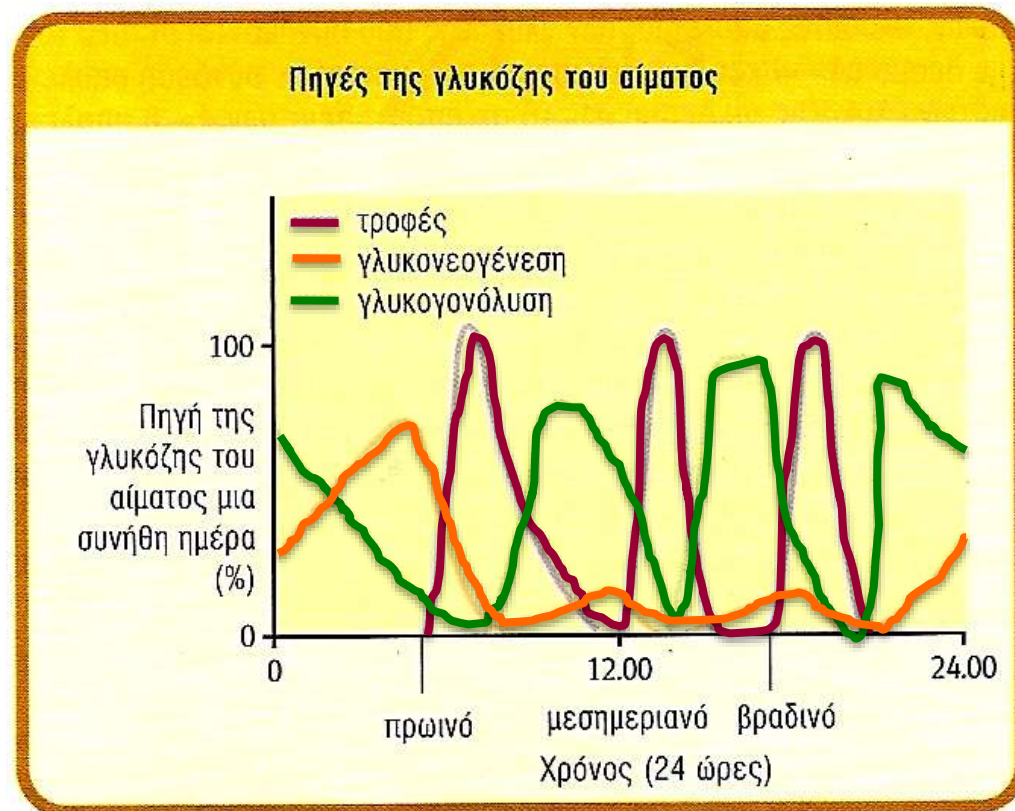
# Γλυκονεογένεση

- ❖ Η σύνθεση γλυκόζης (κατά τη περίοδο ασιτίας)
- ❖ Κυρίως στο **ήπαρ**, λιγότερο στα νεφρά (10%), ελάχιστη σε εγκέφαλο, μυς
- ❖ Για σταθερά επίπεδα στο αίμα

Σύνολο γλυκόζης στο σώμα: 210 gr (20 gr +190 gr γλυκογόνο)

Ημερήσια ανάγκη σώματος: 160 gr

Ημερήσια ανάγκη εγκεφάλου: 120 gr



# ΓΛΥΚΟΝΕΟΓΕΝΕΣΗ

- ❖ Η σύνθεση γλυκόζης (κατά τη περίοδο ασιτίας)
- ❖ Κυρίως στο **ήπαρ**, λιγότερο στα νεφρά (10%), ελάχιστη σε εγκέφαλο, μυς
- ❖ Για σταθερά επίπεδα στο αίμα

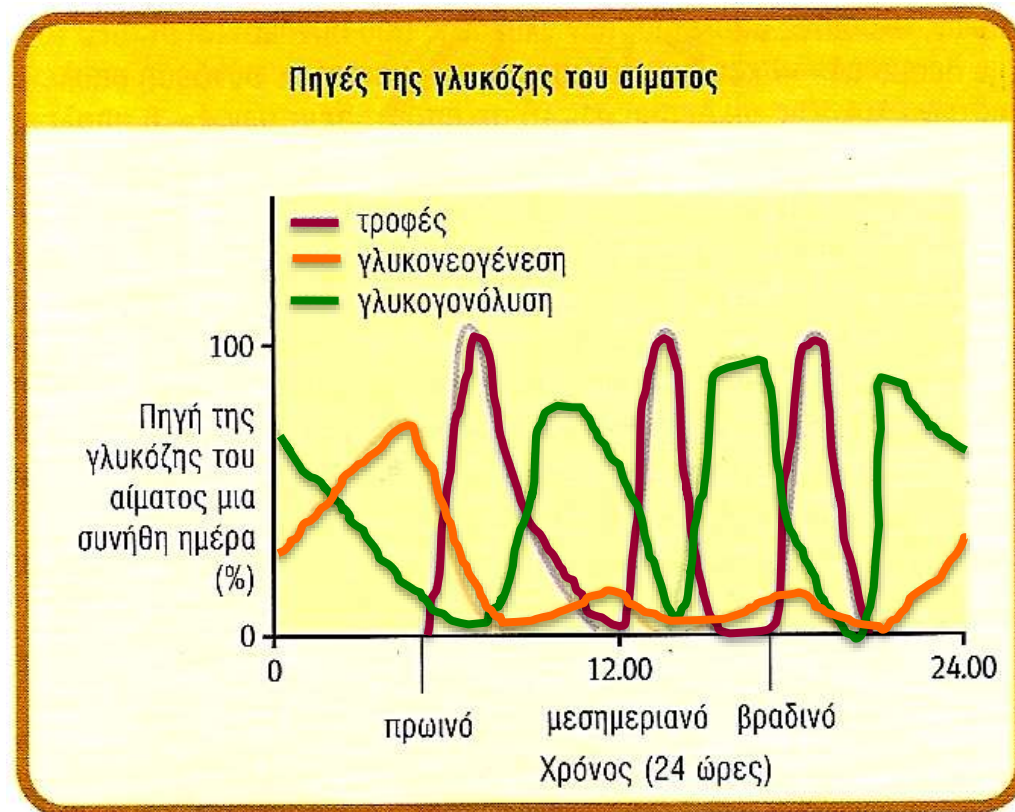
Σύνολο γλυκόζης στο σώμα: 210 gr (20 gr +190 gr γλυκογόνο)

Ημερήσια ανάγκη σώματος: 160 gr

Ημερήσια ανάγκη εγκεφάλου: 120 gr

❖ Ουσιαστικά αντιστροφή της γλυκόλυσης: παραγωγή γλυκόζης από **πυροσταφυλικό**.

❖ Οι τρεις μη αντιστρεπτές αντιδράσεις καταλύονται αντίστροφα από διαφορετικά ένζυμα



# Γλυκονεογένεση

- ❖ Η σύνθεση γλυκόζης (κατά τη περίοδο ασιτίας)
- ❖ Κυρίως στο **ήπαρ**, λιγότερο στα νεφρά (10%), ελάχιστη σε εγκέφαλο, μυς
- ❖ Για σταθερά επίπεδα στο αίμα

Σύνολο γλυκόζης στο σώμα: 210 gr (20 gr +190 gr γλυκογόνο)

Ημερήσια ανάγκη σώματος: 160 gr

Ημερήσια ανάγκη εγκεφάλου: 120 gr

❖ Ουσιαστικά αντιστροφή της γλυκόλυσης: παραγωγή γλυκόζης από **πυροσταφυλικό**.

❖ Οι τρεις μη αντιστρεπτές αντιδράσεις καταλύονται αντίστροφα από διαφορετικά ένζυμα

Πρόδρομα μόρια:

❖ γαλακτικό

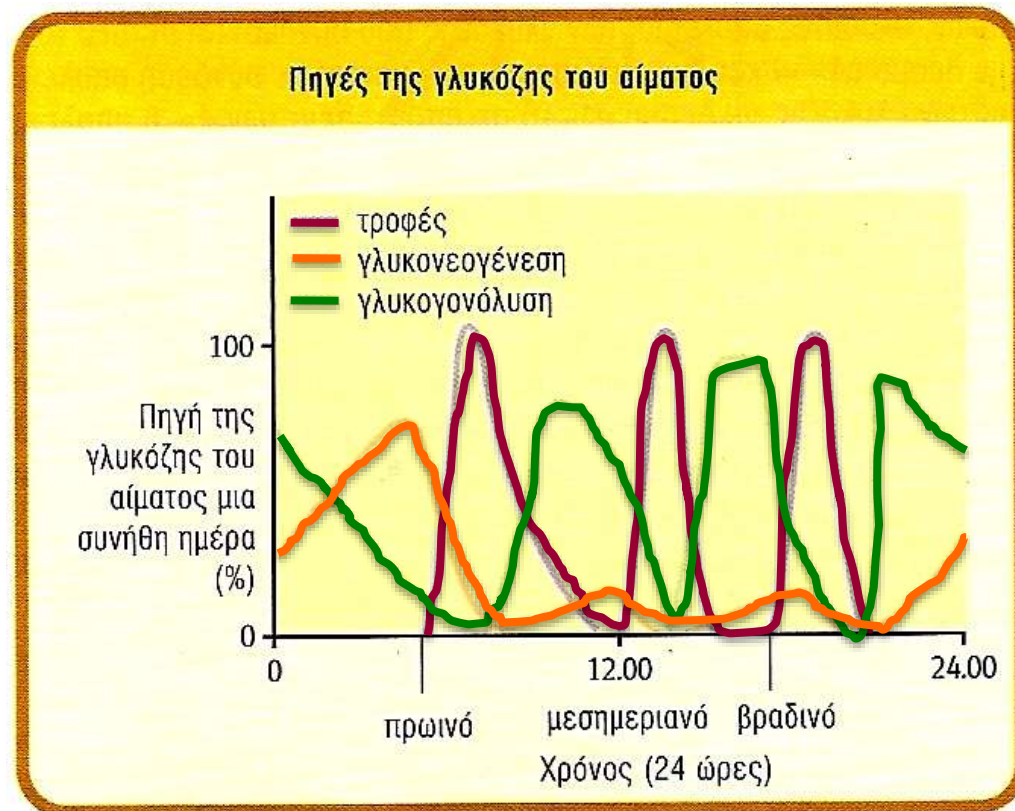
(από γλυκόλυση π.χ. μυς)

❖ γλυκογενετικά αμινοξέα

(από καταβολισμό πρωτεϊνών)

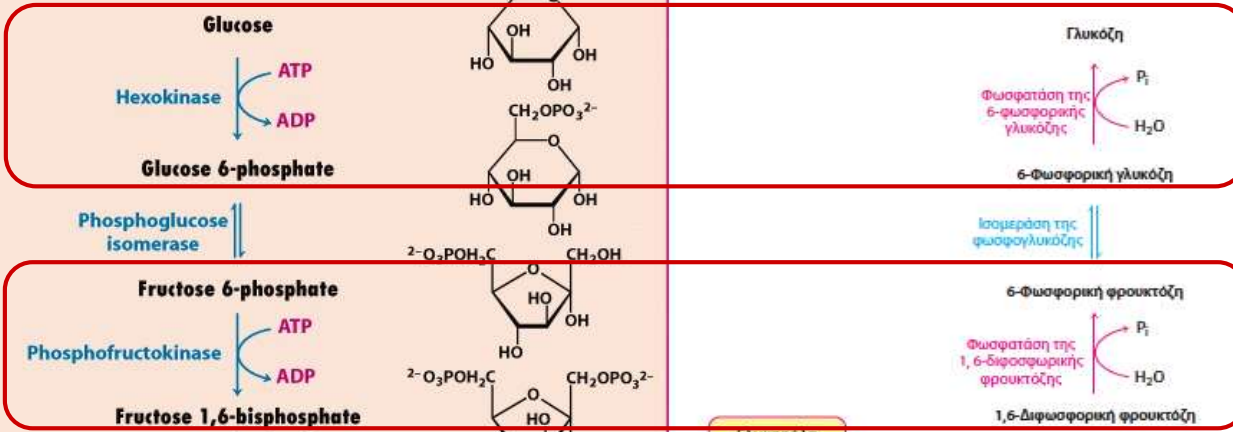
❖ γλυκερόλη

(από τριγλυκερίδια -λίπη)

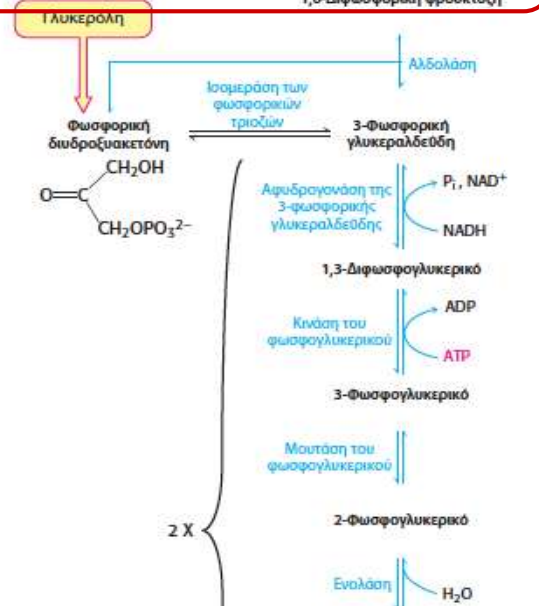
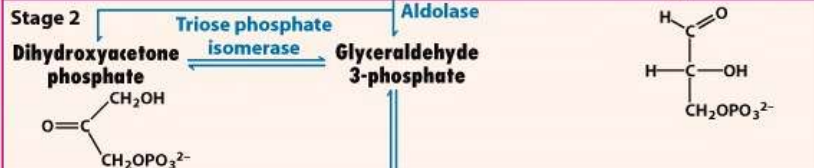




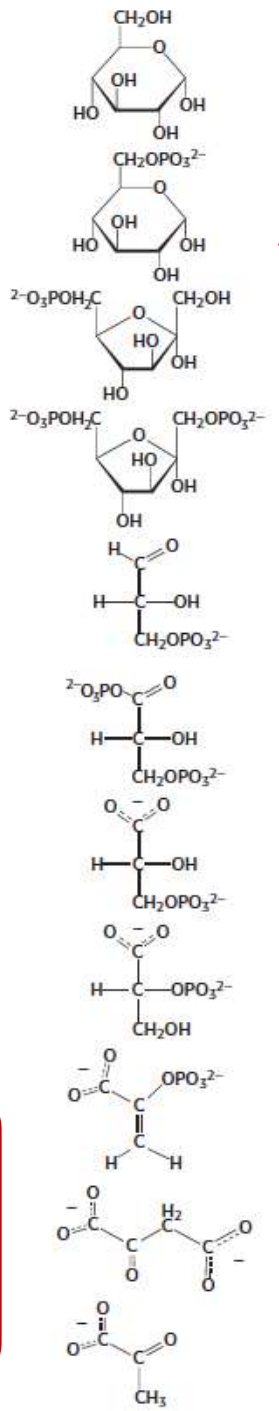
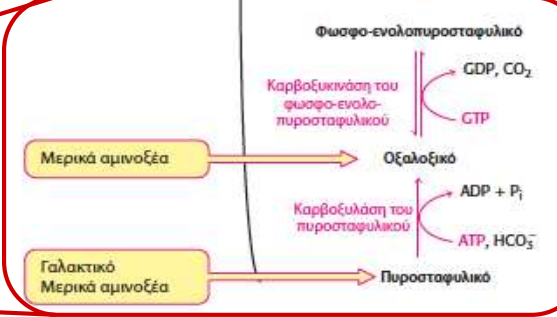
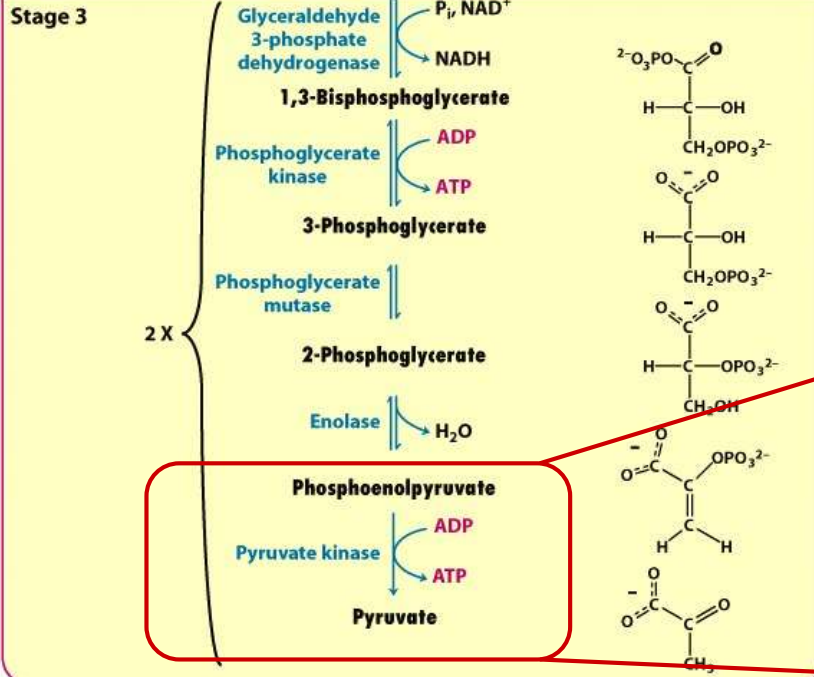
Stage 1



Stage 2



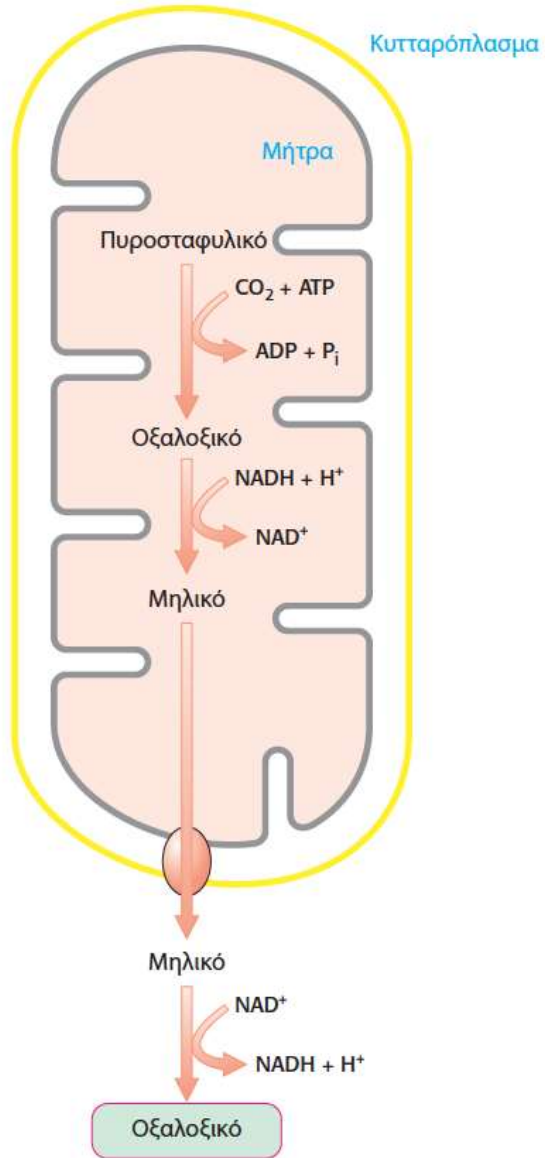
Stage 3



Γ  
Λ  
Υ  
Κ  
Ο  
Ν  
Ε  
Ν  
Ε  
Α  
Ν

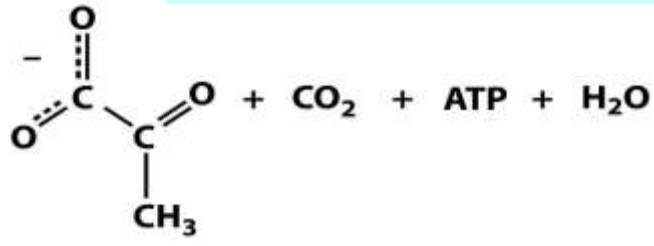
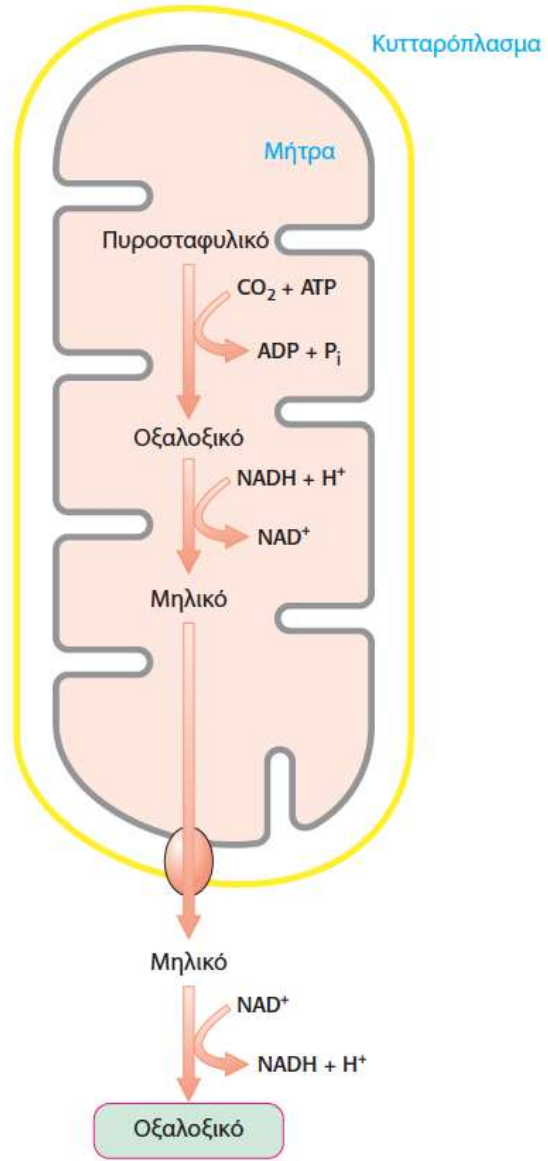
Γ  
Λ  
Υ  
Κ  
Ο  
Ν  
Ε  
Ν  
Ε  
Α  
Ν

# Μετατροπή του πυροσταφυλικού σε ΡΕΡ

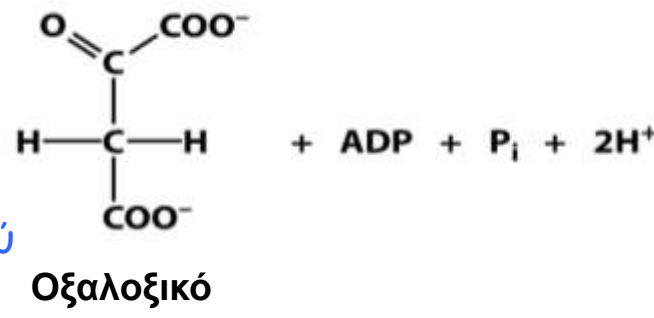




# Μετατροπή του πυροσταφυλικού σε ΡΕΡ



Καρβοξυλάση  
πυροσταφυλικού



# Μετατροπή του πυροσταφυλικού σε ΡΕΡ

Κυτταρόπλασμα

Μήτρα

Πυροσταφυλικό

CO<sub>2</sub> + ATP

ADP + P<sub>i</sub>

Οξαλοξικό

NADH + H<sup>+</sup>

NAD<sup>+</sup>

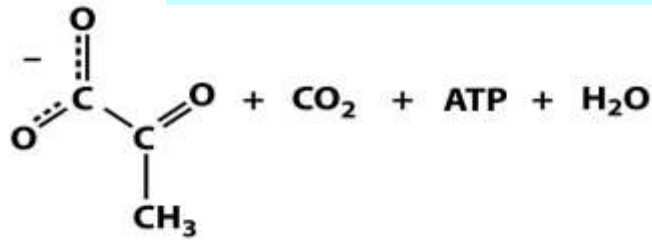
Μηλικό

Μηλικό

NAD<sup>+</sup>

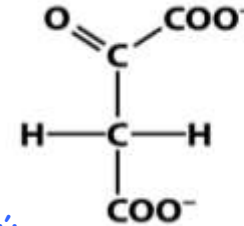
NADH + H<sup>+</sup>

Οξαλοξικό



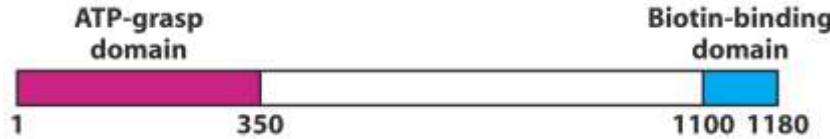
Πυροσταφυλικό

Καρβοξυλάση  
πυροσταφυλικού

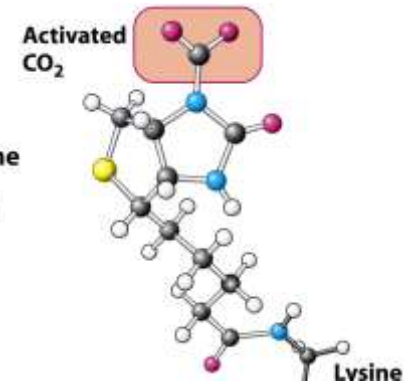
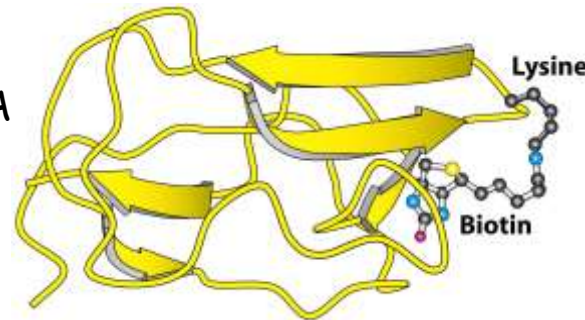


Οξαλοξικό

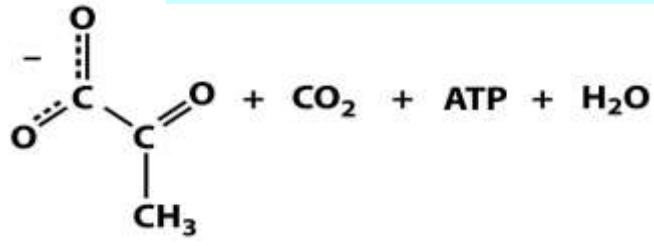
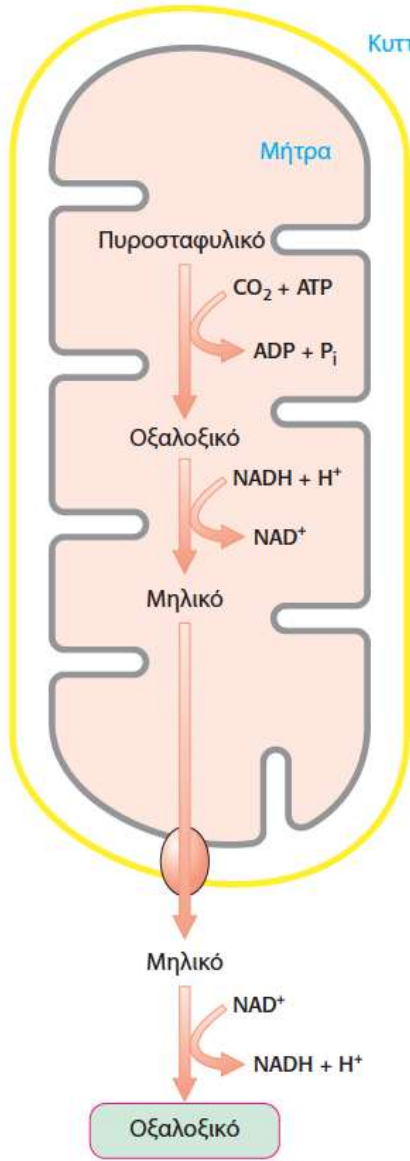
+ ADP + P<sub>i</sub> + 2H<sup>+</sup>



Αναστέλλεται από ADP  
Χρειάζεται ακέτυλο-CoA

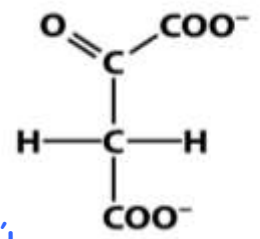


# Μετατροπή του πυροσταφυλικού σε ΡΕΡ



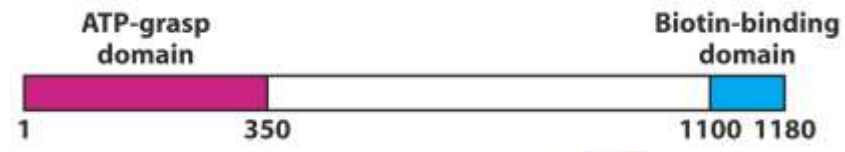
Πυροσταφυλικό

Καρβοξυλάση  
πυροσταφυλικού

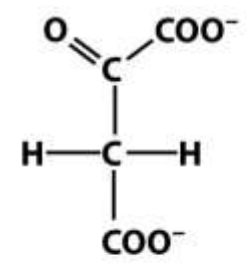
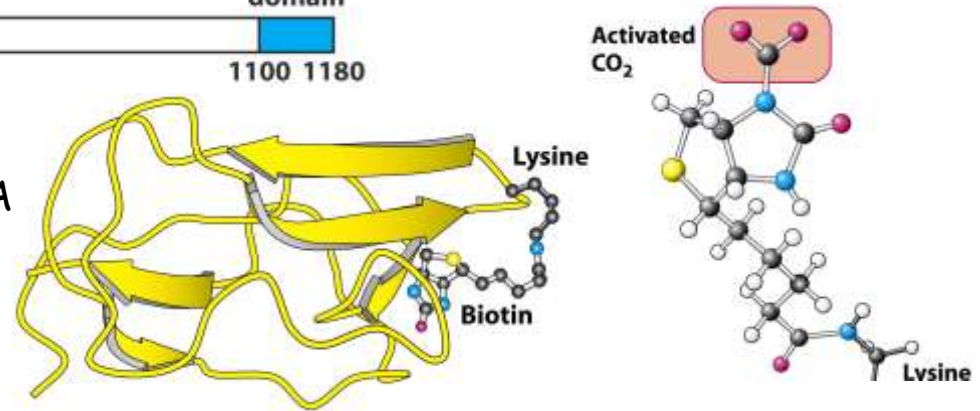


+ ADP + P<sub>i</sub> + 2H<sup>+</sup>

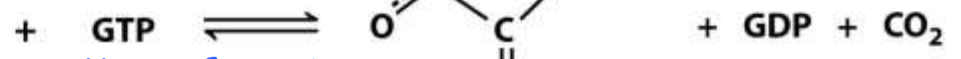
Οξαλοξικό



Αναστέλλεται από ADP  
Χρειάζεται ακέτυλο-CoA



Οξαλοξικό

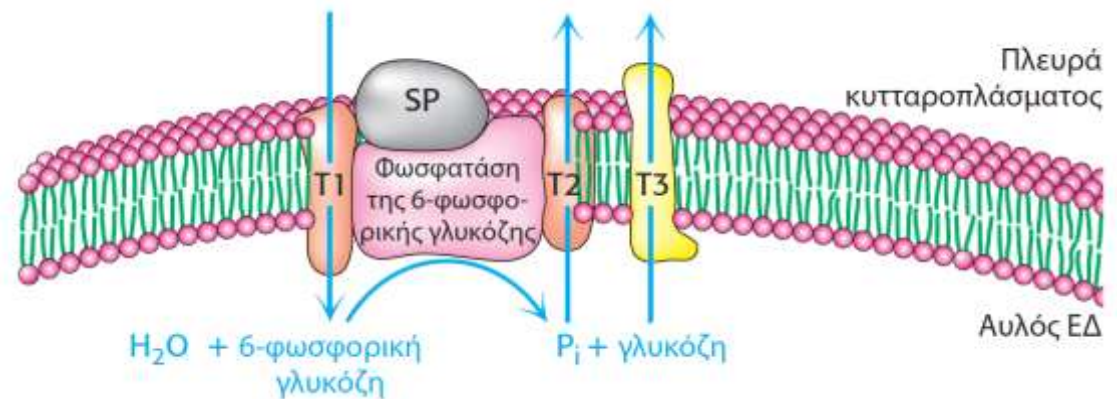


Καρβοξυκινάση  
Φωσφοενολ-  
πυροσταφυλικού

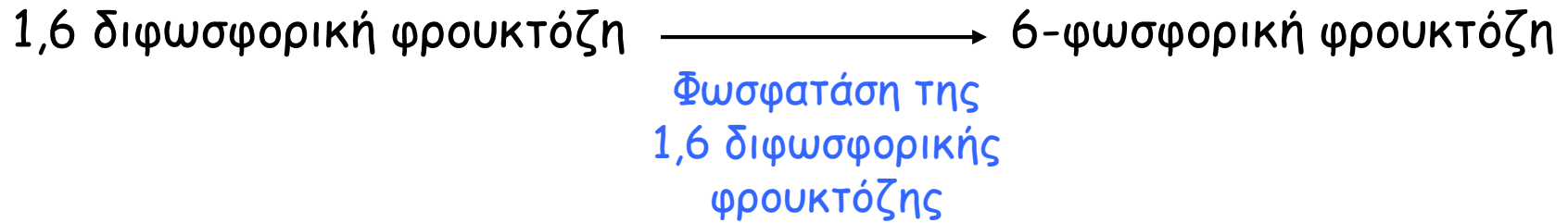
Φωσφο-ενολπυροσταφυλικό

# Αποφωσφορυλίωση της 1,6-διφωσφορικής φρουκτόζης σε F6P

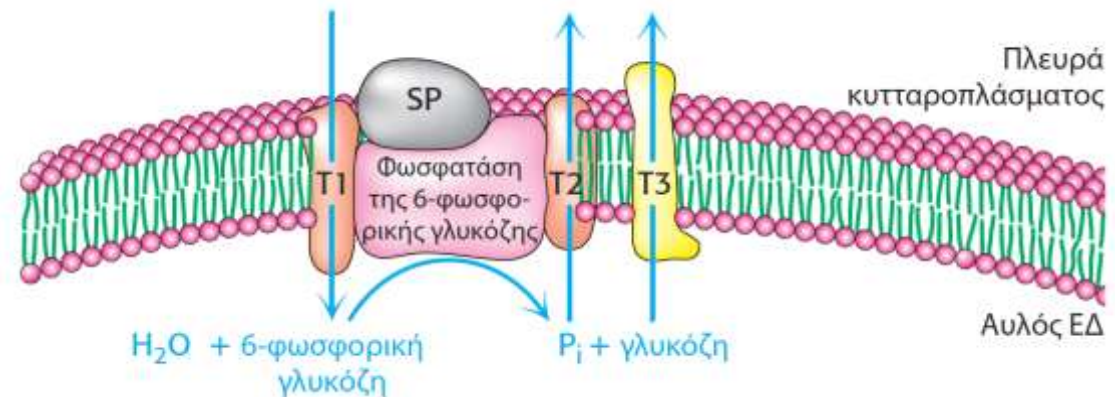
## Αποφωσφορυλίωση της 6-φωσφορικής γλυκόζης



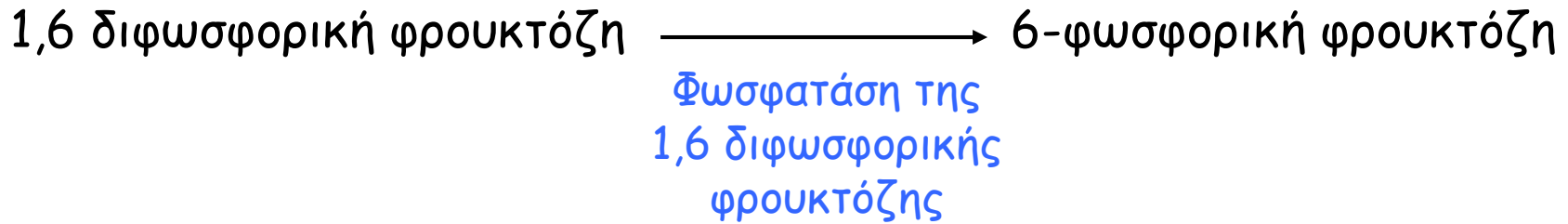
# Αποφωσφορυλίωση της 1,6-διφωσφορικής φρουκτόζης σε F6P



## Αποφωσφορυλίωση της 6-φωσφορικής γλυκόζης

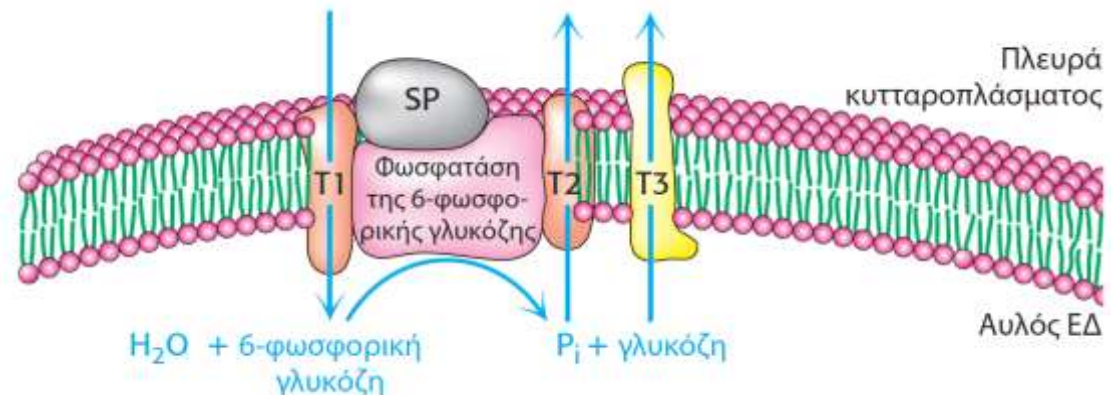


## Αποφωσφορυλίωση της 1,6-διφωσφορικής φρουκτόζης σε F6P



- αναστέλλεται από **AMP** (ενεργειακό φορτίο)
- αναστέλλεται από **2,6 διφωσφορική φρουκτόζη** (δηλώνει περίσσεια 6-φωσφορικής φρουκτόζης)
- ενεργοποιείται από **κιτρικό** (καύσιμο από άλλες πηγές)

## Αποφωσφορυλίωση της 6-φωσφορικής γλυκόζης



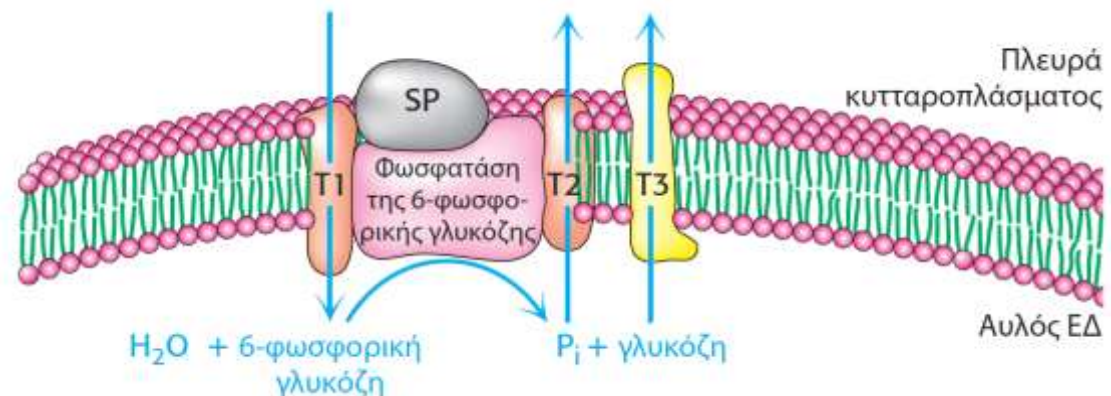
## Αποφωσφορυλίωση της 1,6-διφωσφορικής φρουκτόζης σε F6P

1,6 διφωσφορική φρουκτόζη  $\longrightarrow$  6-φωσφορική φρουκτόζη  
Φωσφατάση της  
1,6 διφωσφορικής  
φρουκτόζης

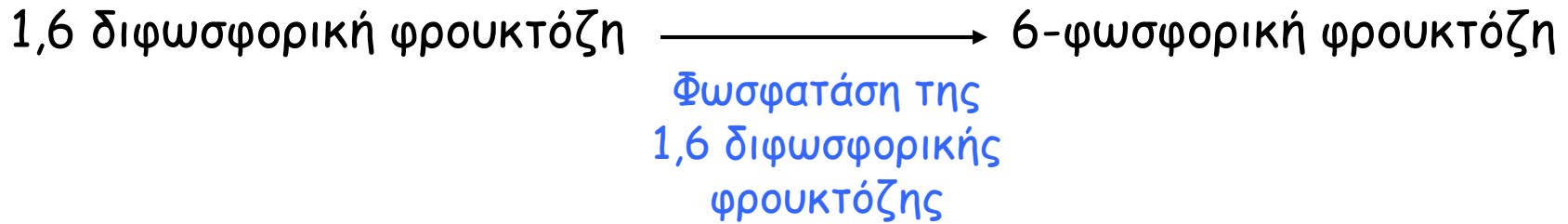
- αναστέλλεται από **AMP** (ενεργειακό φορτίο)
- αναστέλλεται από **2,6 διφωσφορική φρουκτόζη** (δηλώνει περίσσεια 6-φωσφορικής φρουκτόζης)
- ενεργοποιείται από **κιτρικό** (καύσιμο από άλλες πηγές)

## Αποφωσφορυλίωση της 6-φωσφορικής γλυκόζης

6-φωσφορική γλυκόζη  $\longrightarrow$  γλυκόζη  
Φωσφατάση της  
6-φωσφορικής γλυκόζης

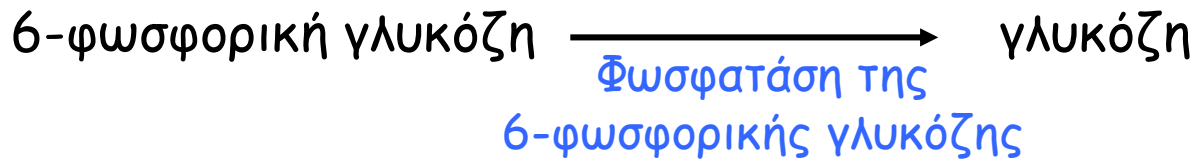


## Αποφωσφορυλίωση της 1,6-διφωσφορικής φρουκτόζης σε F6P

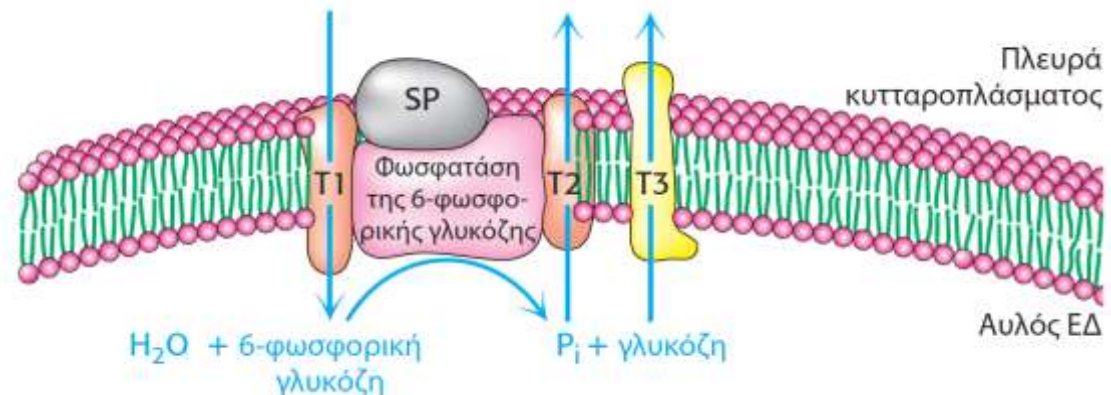


- αναστέλλεται από **AMP** (ενεργειακό φορτίο)
- αναστέλλεται από **2,6 διφωσφορική φρουκτόζη** (δηλώνει περίσσεια 6-φωσφορικής φρουκτόζης)
- ενεργοποιείται από **κιτρικό** (καύσιμο από άλλες πηγές)

## Αποφωσφορυλίωση της 6-φωσφορικής γλυκόζης



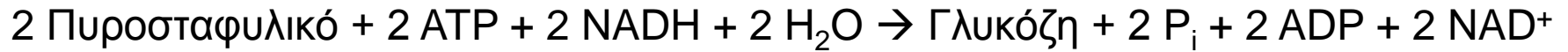
- ❖ στο ήπαρ (νεφρούς)
- ❖ στο ενδοπλασματικό δίκτυο





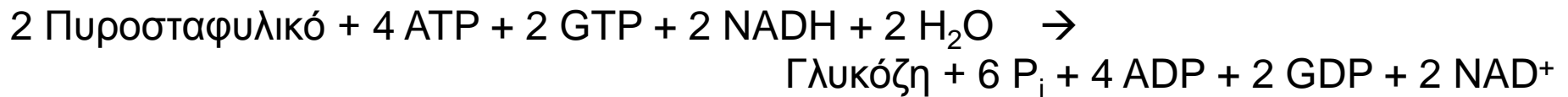
# ΣΥΝΟΛΟ

## Αντιστροφή γλυκόλυσης



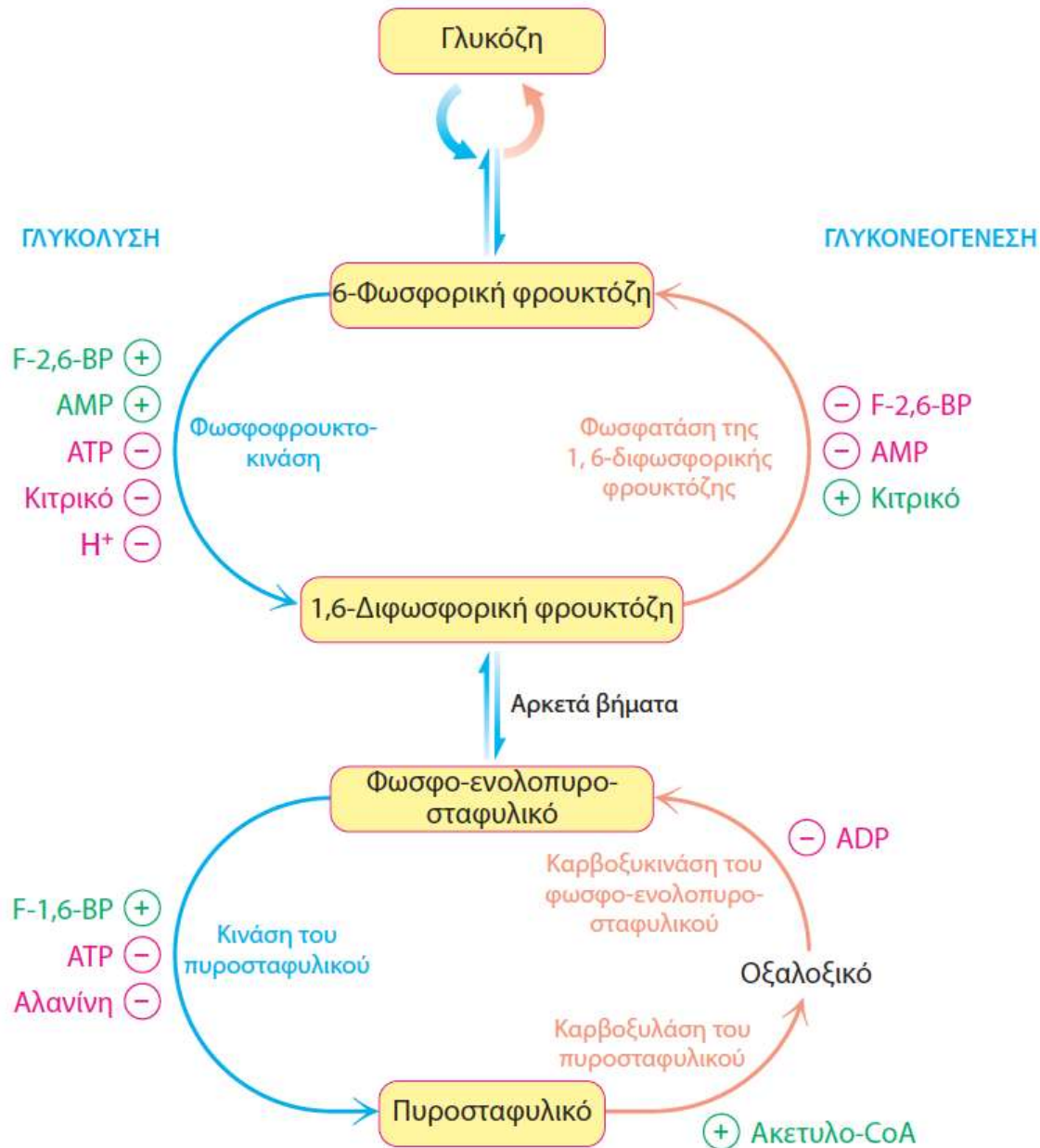
$$\Delta G^{\circ\prime}: + 20 \text{ kcal/mol}$$

## Γλυκονεογένεση

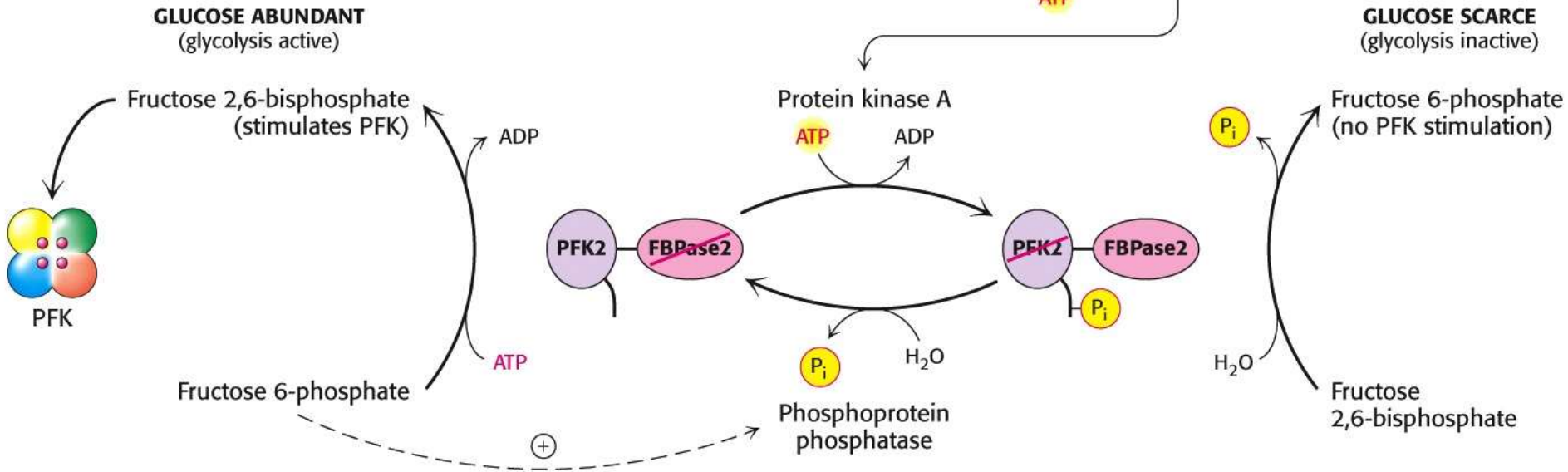
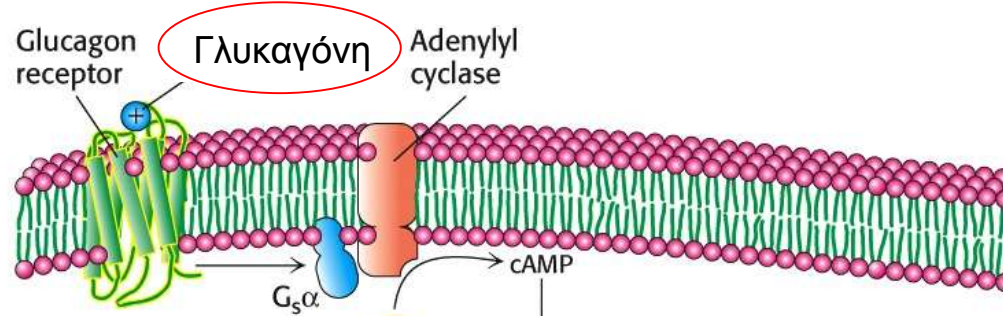


$$\Delta G^{\circ\prime}: - 9 \text{ kcal/mol}$$

# Αντίρροπη ρύθμιση γλυκόλυσης-γλυκονεογένεσης



# Ορμονική ρύθμιση της φωσφοφρουκτοκινάσης μέσω της F-2,6-BP στο ήπαρ φωσφατάσης της 1,6 διφωσφορικής φρουκτόζης



**ΑΦΘΟΝΗ ΓΛΥΚΟΖΗ**  
(Μεταγευματική κατάσταση)  
**ΕΝΕΡΓΗ PFK2**  
**ΑΦΘΟΝΗ F-2,6-BP**  
**ΕΝΕΡΓΗ PFK**  
**ΕΝΕΡΓΗ ΓΛΥΚΟΛΥΣΗ**

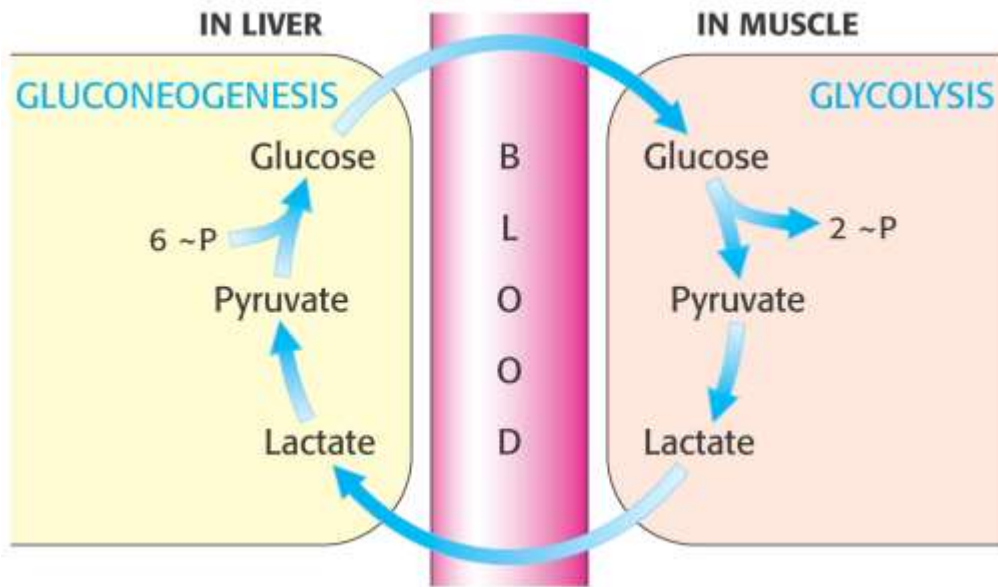
**ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ ΓΛΥΚΟΝΕΟΓΕΝΕΣΗΣ**

**ΧΑΜΗΛΗ ΓΛΥΚΟΖΗ**  
(Ασιτία)  
**ΕΝΕΡΓΗ FBPάση 2**  
**ΛΙΓΗ F-2,6-BP**  
**ΑΝΕΝΕΡΓΗ PFK**  
**ΑΝΕΝΕΡΓΗ ΓΛΥΚΟΛΥΣΗ**

**ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΓΛΥΚΟΝΕΟΓΕΝΕΣΗΣ**

# Πρόδρομα μόρια παραγωγής γλυκόζης

Γαλακτικό



Ισοένζυμα γαλακτικής  
αφυδρογονάσης

Πυροσταφυλικό → γαλακτικό  
(Μ4-μυς)

Πυροσταφυλικό ← γαλακτικό  
(Η4-καρδιά)

H3M1

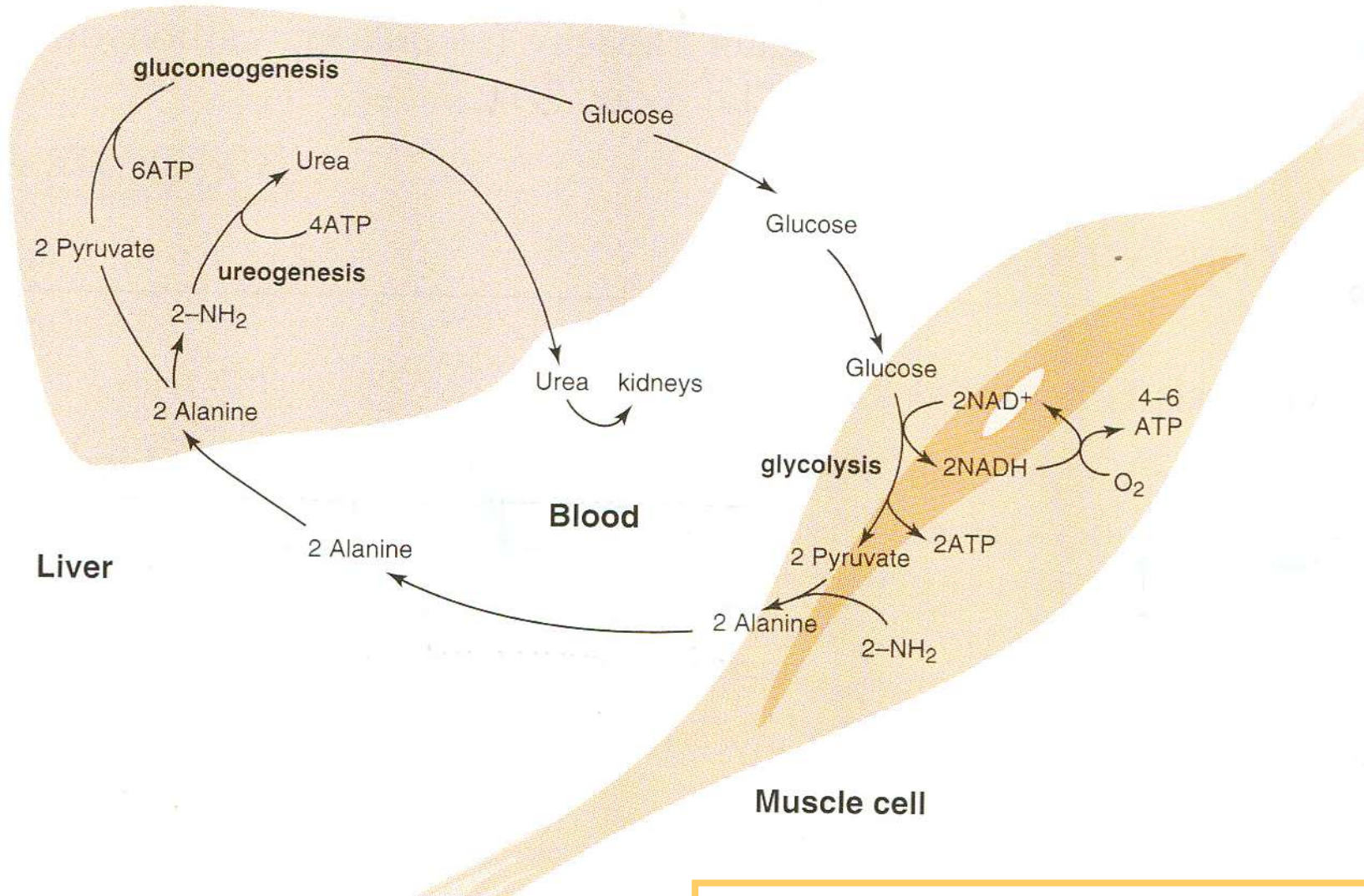
H2M2

H1M3

Κύκλος Cori (αναερόβιος)

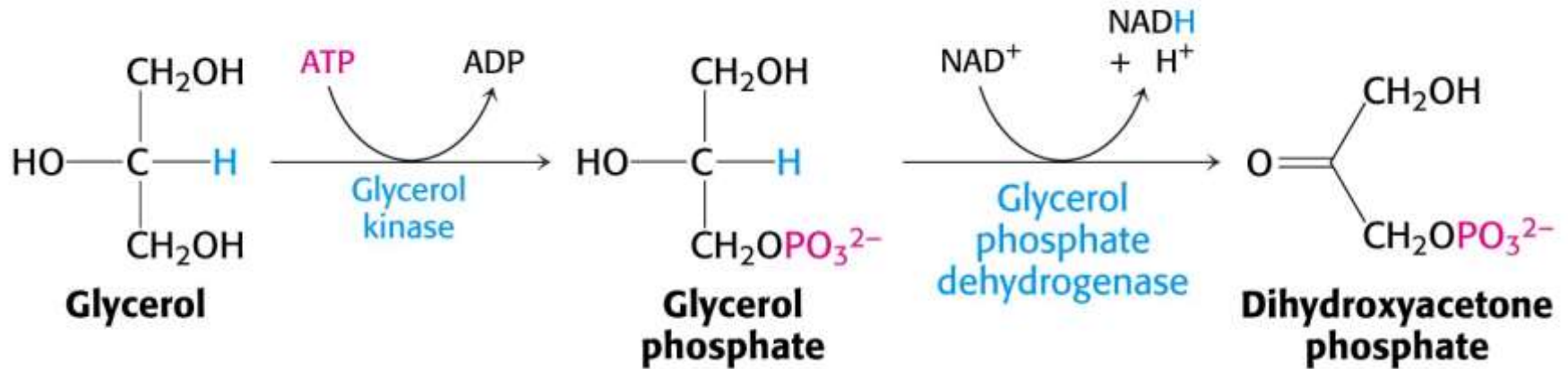
# Αμινοξέα

# Τα γλυκογενετικά



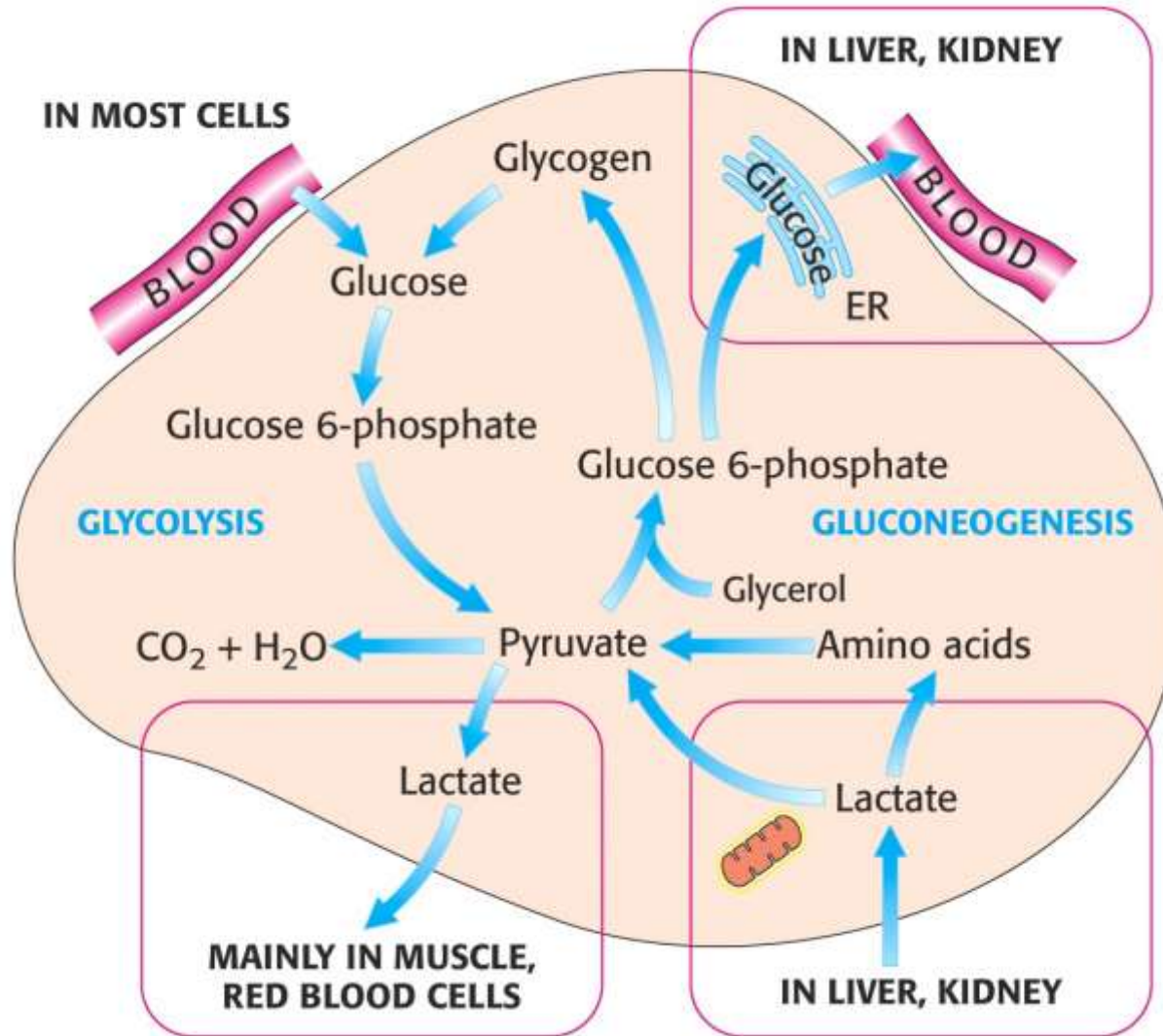
Κύκλος αλανίνης (αερόβιος)

# Γλυκερόλη



Ο λιπώδης ιστός δεν έχει κινάση της γλυκερόλης και άρα **δεν μπορεί να παράγει γλυκόζη**. Η γλυκερόλη πηγαίνει στο ήπαρ και εκεί μπαίνει στη γλυκονεογένεση.

# Συνεργασία μεταξύ γλυκόλυσης και γλυκονεογένεσης



# Γλυκόλυση και γλυκονεογένεση κατά την μυϊκή άσκηση

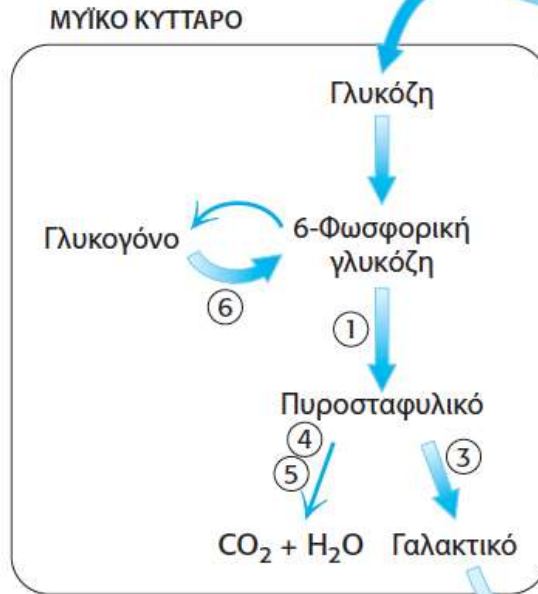




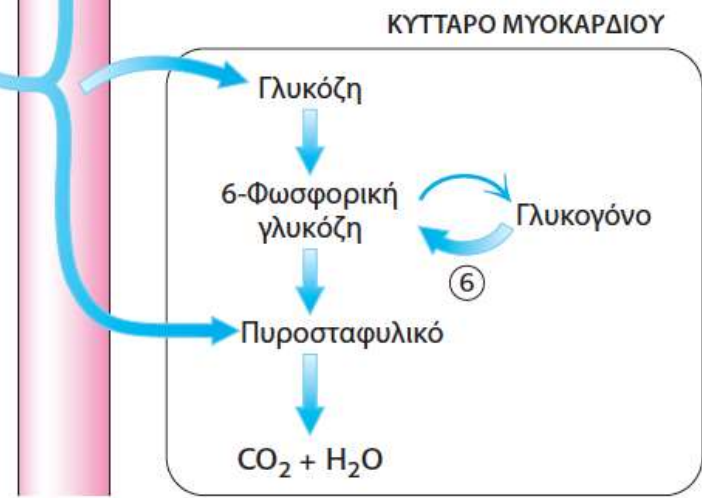
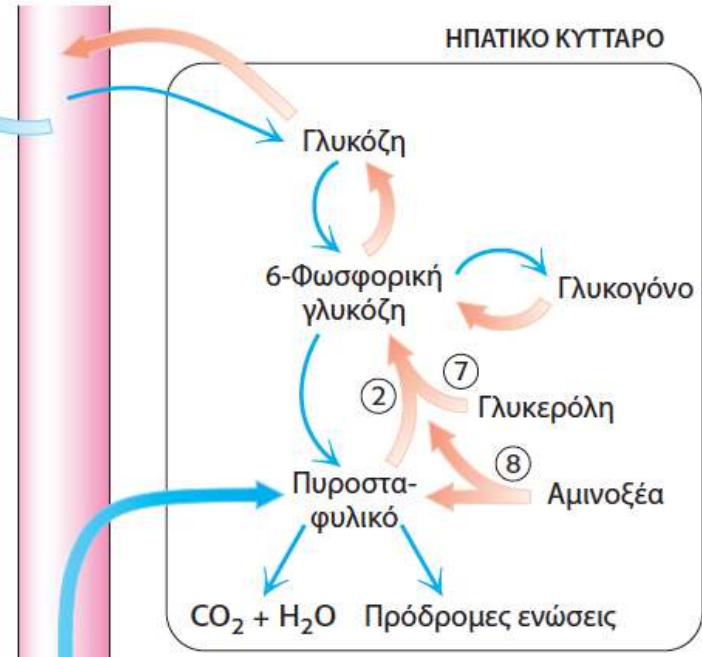
# Γλυκόλυση και γλυκονεογένεση κατά την μυϊκή άσκηση



# Γλυκόλυση και γλυκονεογένεση κατά την μυϊκή άσκηση



- Μερικές ενεργοποιημένες μεταβολικές πορείες κατά τη διάρκεια ενός αγώνα ταχύτητας:
1. Γλυκόλυση
  2. Γλυκονεογένεση
  3. Γαλακτική ζύμωση
  4. Κύκλος του κιτρικού οξέος, Κεφ. 17
  5. Οξειδωτική φωσφυλίωση, Κεφ. 18
  6. Διάσπαση γλυκογόνου, Κεφ. 21
  7. Οξείδωση λιπαρών οξέων, Κεφ. 22
  8. Καταβολισμός αμινοξέων, Κεφ. 23



Κυκλοφορία αίματος

## Στάδια γλυκόλυσης

## Σύνοψη: Ρύθμιση Γλυκόλυσης

### 1<sup>ο</sup> Στάδιο: Δέσμευση & ενεργοποίηση γλυκόζης

Εξοκινάση

6-Φωσφορική Γλυκόζη (-ATP),

Ισομεράση

6-Φωσφορική φρουκτόζη

Φωσφοφρουκτοκινάση

1,6-Διφωσφορική φρουκτόζη (-ATP),

### 2<sup>ο</sup> Στάδιο: Διάσπαση

Αλδολάση, Ισομεράση

3-Φωσφορική γλυκεραλδεΐδη (2X)

### 3<sup>ο</sup> Στάδιο: Οξείδωση & συλλογή ενέργειας

Αφυδρογονάση (GAPDH)

1,3-Διφωσφογλυκερικό + NADH (2X)

Κινάση

3-Φωσφογλυκερικό + ATP (2X)

Μουτάση

2-Φωσφογλυκερικό (2X)

Ενολάση

Φωσφο-ενολπυροσταφυλικό (2X)

Κινάση

Πυροσταφυλικό + ATP (2X)

## Εξοκινάση

Ήπαρ,  $K_m \sim 10 \text{ mM}$

## Γλυκοκινάση

Εγκέφαλος, Μυς,  $K_m < 0.1 \text{ mM}$ , αναστολή από G6P

## Φωσφοφρουκτοκινάση

Αλλοστερικός έλεγχος

Αναστολή ↓ : ATP,  $H^+$ , Κιτρικό

Ενεργοποίηση ↑ : AMP, 2,6-διφωσφορική φρουκτόζη

Ορμονικός έλεγχος (ήπαρ)

Φωσφοφρουκτοκινάση 2 (→ 2,6-διφωσφορική φρουκτόζη)

Αναστολή από γλυκαγόνη ↓ (ασιτία)

## Κινάση του πυροσταφυλικού

Αλλοστερικός έλεγχος

Αναστολή ↓ : ATP, αλανίνη

Ενεργοποίηση ↑ : 2,6-διφωσφορική φρουκτόζη

Ορμονικός έλεγχος (ήπαρ)

Φωσφορυλίωση

Αναστολή από γλυκαγόνη ↓ (ασιτία)

# Σύνοψη: Γλυκονεογένεση

## Στάδια γλυκόλυσης

### 1<sup>ο</sup> Στάδιο: Δέσμευση & ενεργοποίηση γλυκόζης

Κυρίως στο ήπαρ

~~Εξοκινάση~~

6-Φωσφορική Γλυκόζη (-ATP),

Ισομεράση

6-Φωσφορική φρουκτόζη

~~Φωσφοφρουκτοκινάση~~

1,6-Διφωσφορική φρουκτόζη (-ATP),

### 2<sup>ο</sup> Στάδιο: Διάσπαση

Αλδολάση, Ισομεράση

3-Φωσφορική γλυκεραλδεΐδη (2X)

### 3<sup>ο</sup> Στάδιο: Οξειδωση & συλλογή ενέργειας

Αφυδρογονάση (GAPDH)

1,3-Διφωσφογλυκερικό + NADH (2X)

Κινάση

3-Φωσφογλυκερικό + ATP (2X)

Μουτάση

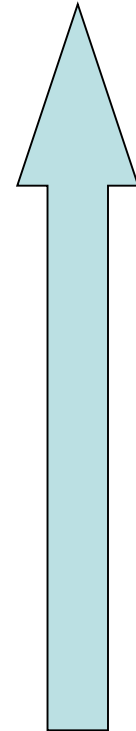
2-Φωσφογλυκερικό (2X)

Ενολάση

Φωσφο-ενολπυροσταφυλικό (2X)

~~Κινάση~~

Πυροσταφυλικό + ATP (2X)



Μετατροπή του πυροσταφυλικού σε PEP

Καρβοξυλάση πυροσταφυλικού (βιοτίνη,  $\uparrow$  ακετυλο-CoA,  $\downarrow$  ADP)

Οξαλοξικό ( $-$  CO<sub>2</sub>,  $-$  ATP)

Καρβοξυκινάση φωσφοενολπυροσταφυλικού

Φωσφοενολπυροσταφυλικό ( $+$  CO<sub>2</sub>,  $-$  GTP)

Μετατροπή της 1,6-διφωσφορικής φρουκτόζης σε F6P

Φωσφατάση ( $\uparrow$  ΚΙΤΡΙΚΟ,  $\downarrow$  AMP, 2,6 διφωσφορική φρουκτόζη)

Μετατροπή της 6-φωσφορικής γλυκόζης σε γλυκόζη

Φωσφατάση (ήπαρ, ενδοπλασματικό δίκτυο)

---

Πηγές γλυκόζης

Γαλακτικό

Γαλακτικό  $\rightarrow$  Πυροσταφυλικό (Κύκλος Cori)

Γλυκογενετικά αμινοξέα

Αλανίνη  $\rightarrow$  Πυροσταφυλικό (Κύκλος Αλανίνης)

Γλυκερόλη (Τριγλυκερίδια)  $\rightarrow$  ήπαρ

Γλυκερόλη  $\rightarrow$  Φωσφορική γλυκερόλη ( $-$  ATP)  $\rightarrow$

Φωσφορική διυδροξυακετόνη ( $+$  NADH)

Η φωσφοφρουκτοκινάση

A. Ενεργοποιείται από το ATP

B. Ενεργοποιείται από την γλυκαγόνη

Γ. Ενεργοποιείται από την μείωση του pH

Δ. Αναστέλλεται από το κιτρικό

Ε. Αναστέλλεται από τη 2,6-διφωσφορική φρουκτόζη

Η φωσφοφρουκτοκινάση

A. Ενεργοποιείται από το ATP

B. Ενεργοποιείται από την γλυκαγόνη

Γ. Ενεργοποιείται από την μείωση του pH

Δ. Αναστέλλεται από το κιτρικό

Ε. Αναστέλλεται από τη 2,6-διφωσφορική φρουκτόζη



Η φωσφοφρουκτοκινάση

A. Ενεργοποιείται από το ATP

B. Ενεργοποιείται από την γλυκαγόνη

Γ. Ενεργοποιείται από την μείωση του pH

Δ. Αναστέλλεται από το κιτρικό

Ε. Αναστέλλεται από τη 2,6-διφωσφορική φρουκτόζη

Κατά τη διάρκεια της άσκησης ή της ασιτίας  
γλυκονεογένεση συμβαίνει κυρίως:

A. Στον μυϊκό ιστό.

B. Στο ήπαρ.

Γ. Στον εγκέφαλο.

Δ. Στον λιπώδη ιστό.

Ε. Σε κανένα από τα παραπάνω

Η φωσφοφρουκτοκινάση

A. Ενεργοποιείται από το ATP

B. Ενεργοποιείται από την γλυκαγόνη

Γ. Ενεργοποιείται από την μείωση του pH

Δ. Αναστέλλεται από το κιτρικό

Ε. Αναστέλλεται από τη 2,6-διφωσφορική φρουκτόζη

Κατά τη διάρκεια της άσκησης ή της ασιτίας  
γλυκονεογένεση συμβαίνει κυρίως:

A. Στον μυϊκό ιστό.

B. Στο ήπαρ.

Γ. Στον εγκέφαλο.

Δ. Στον λιπώδη ιστό.

Ε. Σε κανένα από τα παραπάνω