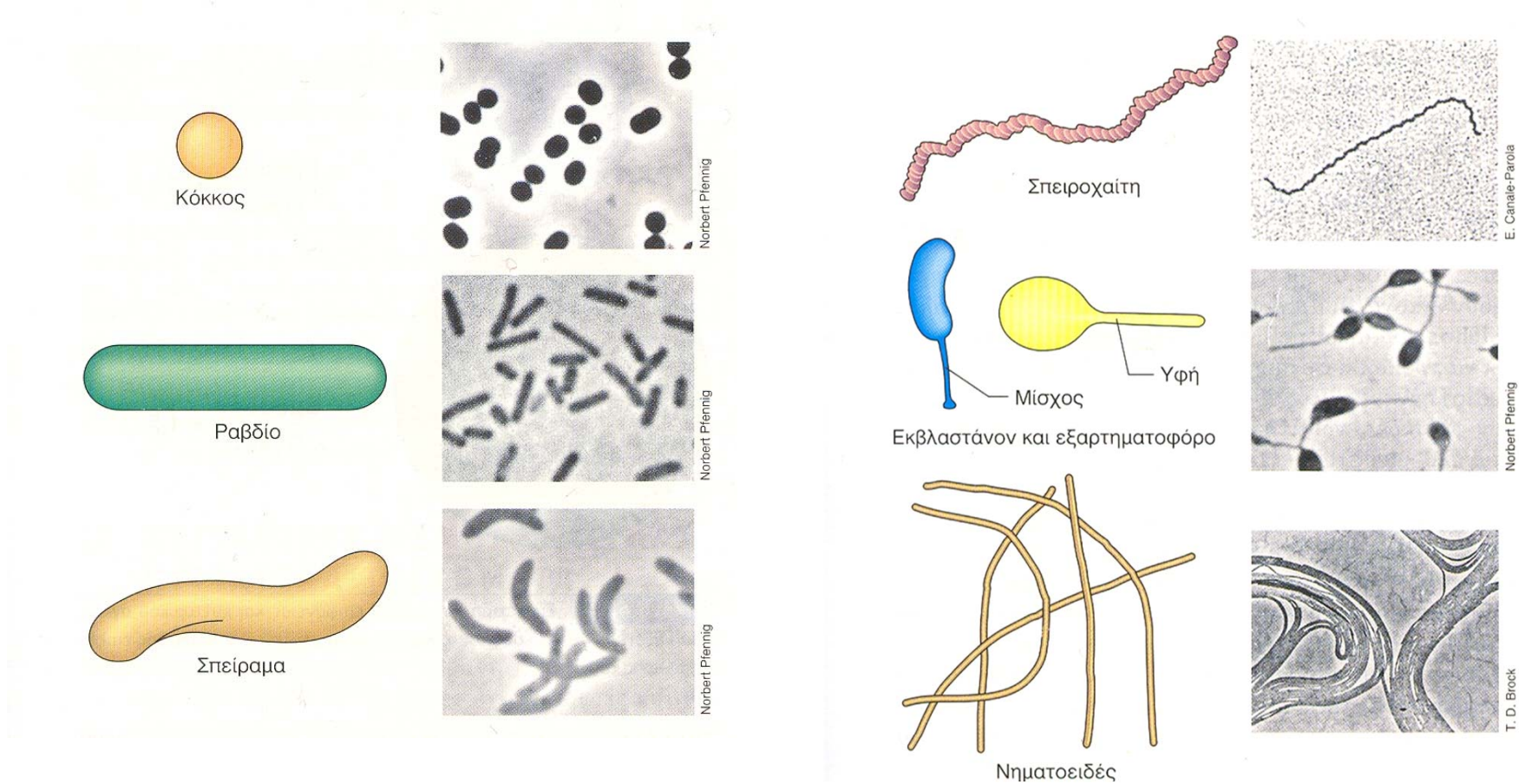


Κυτταρική Δομή & Λειτουργία

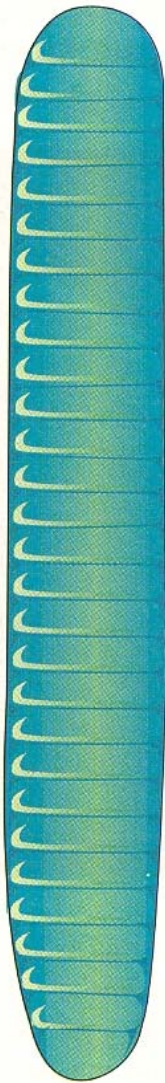
Κυτταρική μορφολογία

- Ο όρος **μορφολογία** αναφέρεται στο **σχήμα** ενός οργανισμού.
- Για τους προκαρυωτικούς μικροοργανισμούς είναι γνωστές πολλές διαφορετικές μορφολογίες.



Σχ.10. Αντιπροσωπευτικά κυτταρικά σχήματα (μορφολογίες) προκαρυωτικών μικροοργανισμών. 2

Oscillatoria (ένα κυανοβακτήριο)
8 × 50 μm



Bacillus megaterium
1,5 × 4 μm



Escherichia coli
1 × 3 μm



Streptococcus pneumoniae
διάμετρος 0,8 μm



Haemophilus influenzae
0,25 × 1,2 μm

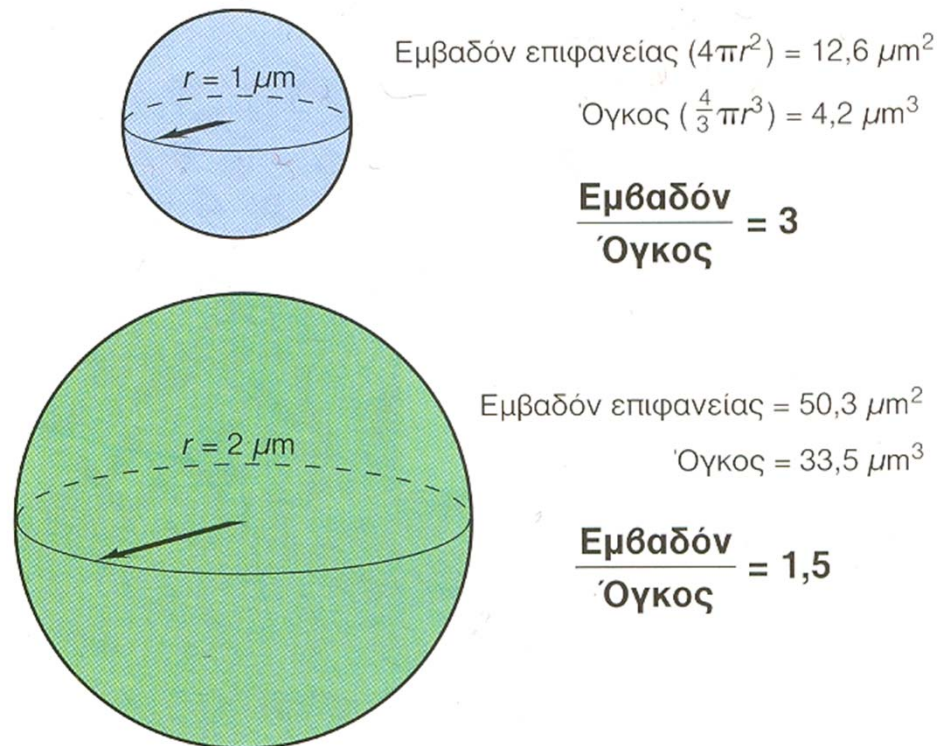


- Το μέγεθος των προκαρυωτικών κυττάρων ποικίλλει από 0.2μm έως άνω των 700μm.
- Ελάχιστοι βέβαια προκαρυωτικοί μικροοργανισμοί είναι μεγάλου μεγέθους (π.χ. το *Erythrobacter* που ξεπερνά τα 600μm).
- Τα ευκαρυωτικά κύτταρα έχουν διάμετρο από 2μm έως άνω των 600μm.
- Κατά κανόνα, τα προκαρυωτικά κύτταρα είναι πολύ μικρά σε σχέση με τα ευκαρυωτικά.

Σχ.11. Σύγκριση μεγέθους διαφόρων προκαρυωτικών. Οι περισσότεροι προκαρυώτες έχουν πλάτος μεταξύ 0.5-4μm.

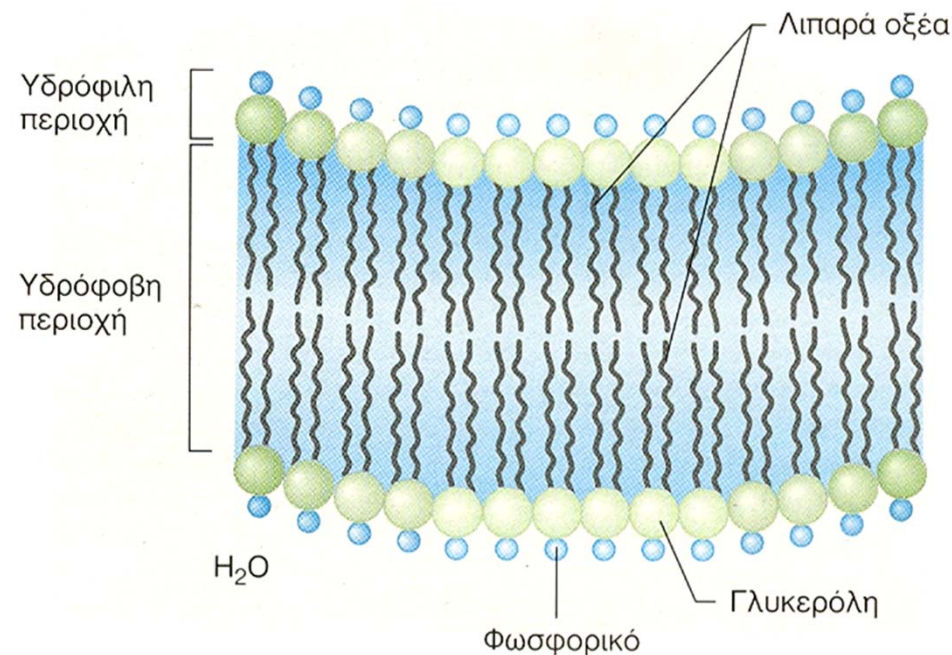
- Το μικρό μέγεθος των προκαρυωτικών κυττάρων επηρεάζει πολλές βιολογικές ιδιότητες, όπως τον ρυθμό εισόδου-εξόδου των θρεπτικών μεταβολιτών και αποβλήτων, καθορίζοντας την κυτταρική αύξηση και την ταχύτητα μεταβολισμού, οι οποίες είναι αντιστρόφως ανάλογες προς το κυτταρικό μέγεθος.
- Αυτό συμβαίνει γιατί η ταχύτητα μεταφοράς ουσιών εξαρτάται από τη διαθέσιμη μεμβρανική επιφάνεια και σε σχέση με τον κυτταρικό όγκο, τα μικρά κύτταρα έχουν περισσότερη επιφάνεια στη διάθεσή τους από ότι τα μεγάλα.
- Με άλλα λόγια, όσο αυξάνεται το μέγεθος του κυττάρου, τόσο μειώνεται ο λόγος επιφάνειας/όγκος.

Σχ.12. Συσχέτιση κυτταρικής επιφάνειας και κυτταρικού όγκου.

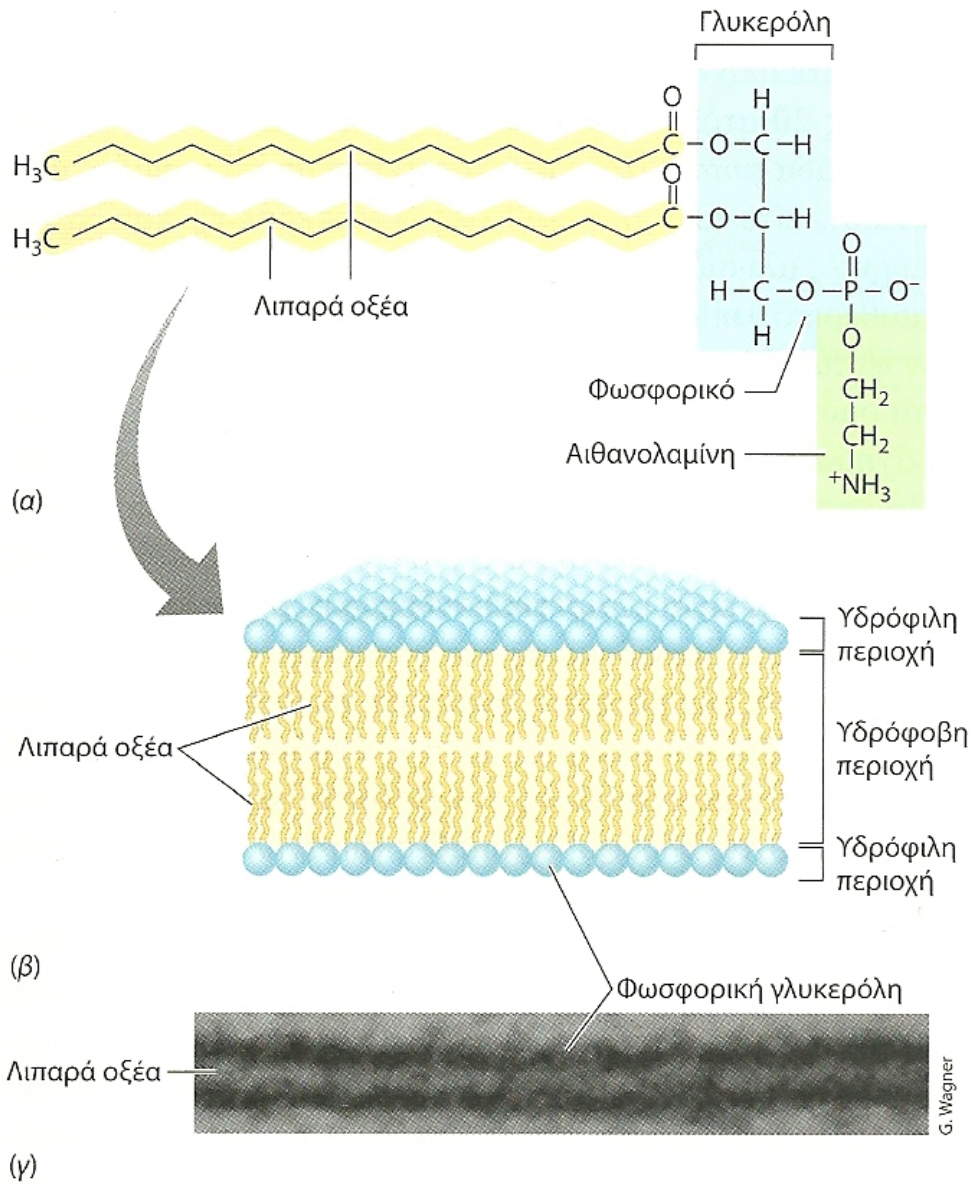


Κυτταροπλασματική μεμβράνη: Δομή

- Η κυτταροπλασματική μεμβράνη είναι μια λεπτή δομή που περιβάλλει πλήρως το κύτταρο (πάχους 8-10nm).
- Αποτελεί τον φραγμό ανάμεσα στο κυτταρόπλασμα και το περιβάλλον και αν διαρραγεί το κύτταρο «πεθαίνει».
- Η γενική δομή των βιολογικών μεμβρανών είναι μια **διπλοστοιβάδα φωσφολιπιδίων**.

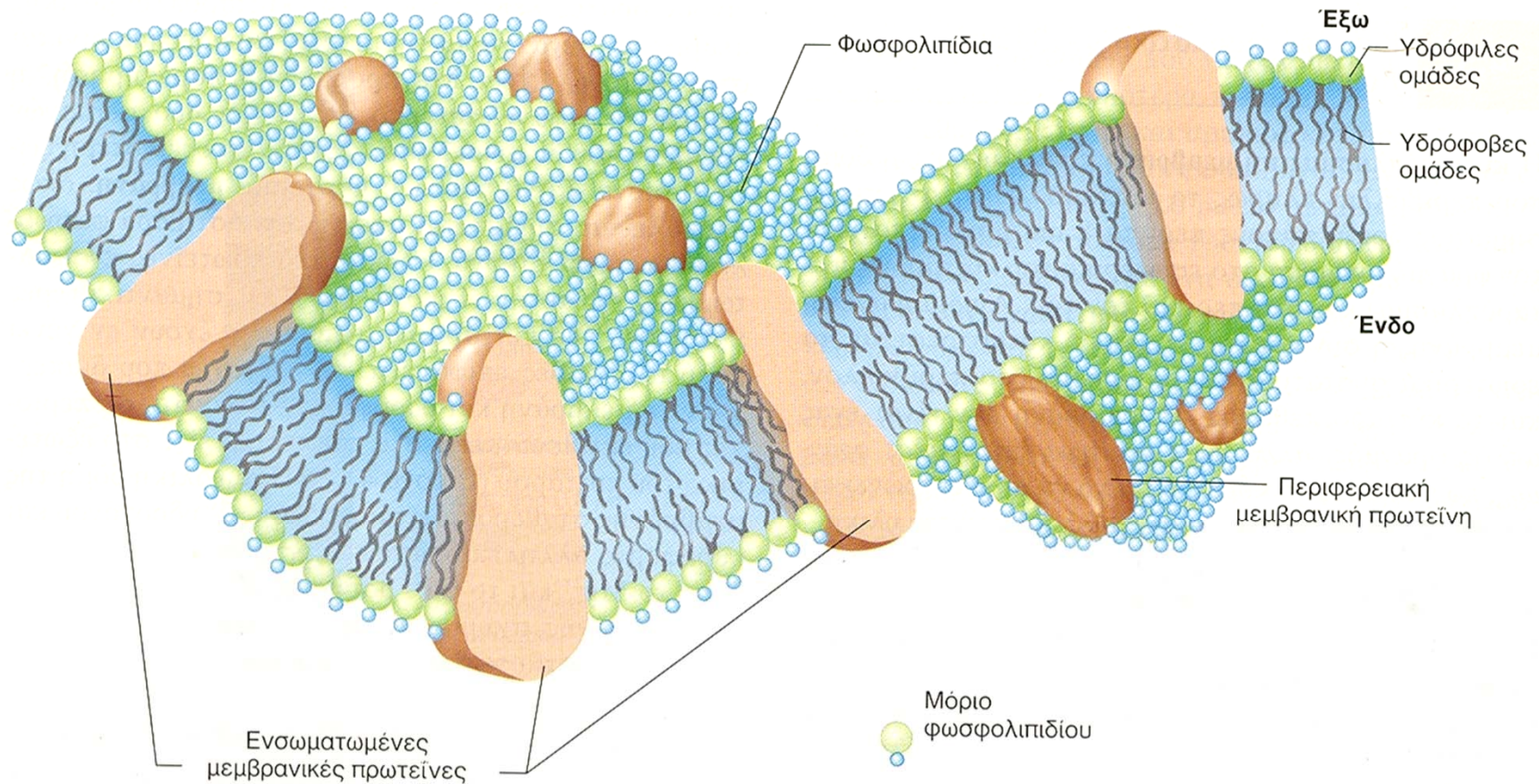


Σχ.13. Δομή διπλοστοιβάδας φωσφολιπιδίων.



Σχ. 14. Διπλοστοιβάδα φωσφολιπιδίων της κυτταρικής μεμβράνης.
 (α) Δομή φωσφατιδυλοαιθανολαμίνης.
 (β) Γενική αρχιτεκτονική μεμβρανικής διπλοστοιβάδας.
 (γ) Μικρογραφία μεμβράνης από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

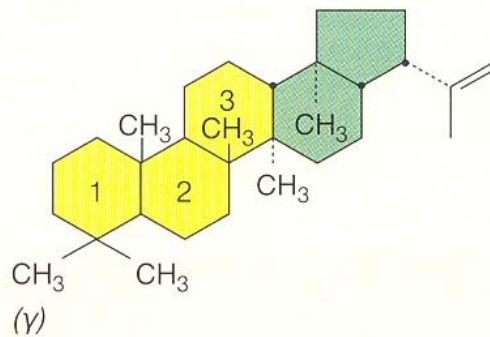
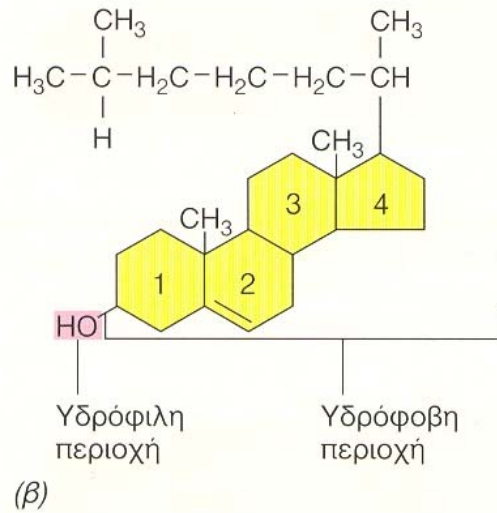
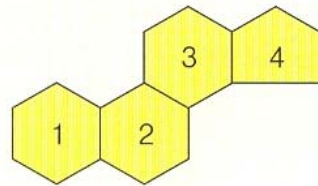
- Στην διπλοστοιβάδα φωσφολιπιδίων βρίσκονται ενσωματωμένες πρωτεΐνες, οι οποίες έχουν πολύ υδρόφοβες επιφάνειες σε περιοχές που διαπερνούν την μεμβράνη και υδρόφιλες επιφάνειες σε περιοχές που εκτίθενται είτε στο εσωτερικό, είτε στο εξωτερικό του κυττάρου.



Σχ.15. Δομή κυτταροπλασματικής μεμβράνης.

- Η δομή της κυτταροπλασματικής μεμβράνης σταθεροποιείται με δεσμούς υδρογόνου και υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις, ενώ κατιόντα (π.χ. Mg^{2+} , Ca^{2+}) σχηματίζουν ιοντικούς δεσμούς με τα αρνητικά φορτία των φωσφολιπιδίων.
- Ορισμένες πρωτεΐνες συνδέονται πολύ σταθερά με την επιφάνεια της μεμβράνης (ενσωματωμένες μεμβρανικές πρωτεΐνες).
- Οι **περιφερειακές μεμβρανικές πρωτεΐνες** είναι λιποπρωτεΐνες που στο αμινοτελικό άκρο τους περιέχουν λιπίδια μέσω των οποίων συνδέονται σταθερά στη μεμβράνη.
- Η κυτταροπλασματική μεμβράνη είναι ρευστή: φωσφολιπίδια και πρωτεϊνικά μόρια έχουν σημαντική ελευθερία κινήσεων (**ρευστό μωσαϊκό**).

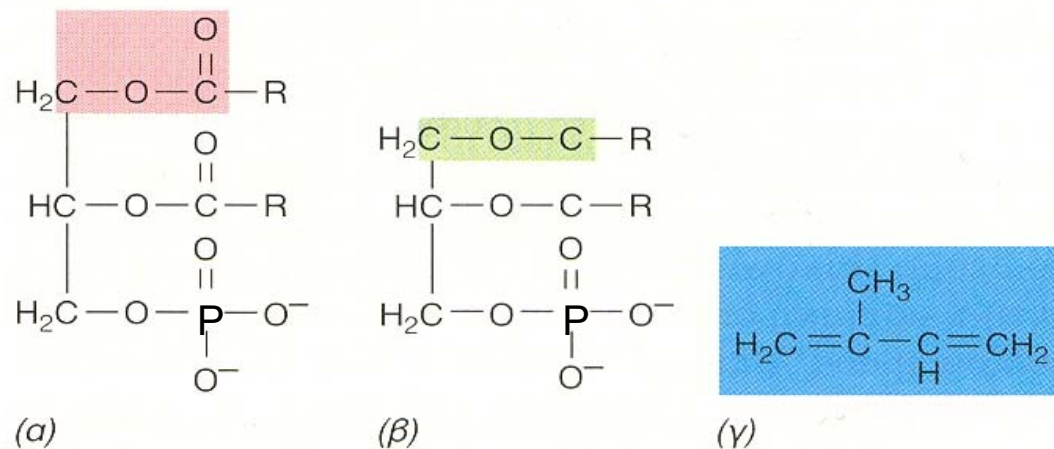
- Οι κυτταροπλασματικές μεμβράνες ορισμένων βακτηρίων ενισχύονται με μόρια που μοιάζουν με **στερόλες**, τα οποία ονομάζονται **οπανοειδή**.
- Αντιθέτως, σχεδόν όλοι οι προκαρυώτες στερούνται στερολών (εξαίρεση τα μεθανιότροφα και τα μυκοπλάσματα).
- Οι στερόλες είναι άκαμπτα, επίπεδα μόρια, σε αντίθεση με τα λιπαρά οξέα που είναι εύκαμπτα, και ο ρόλος τους είναι να ενισχύσουν τις μεμβράνες των ευκαρυωτικών κυττάρων.
- Συνεπώς, η αλληλεπίδραση των στερολών με τη μεμβράνη σταθεροποιεί τη δομή της και μειώνει την ευκαμψία της.
- Τα οπανοειδή απαντούν στις μεμβράνες πολλών βακτηρίων και διαδραματίζουν ρόλο ανάλογο με αυτόν των στερολών στα ευκαρυωτικά κύτταρα.
- Οπανοειδή δεν απαντούν στα αρχαία.



Σχ.16. Στερόλες και σπανοειδή:
 (α) Γενική δομή στερόλης,
 (β) Δομή χοληστερόλης,
 (γ) Δομή του σπανοειδούς διπλοπτενίου.

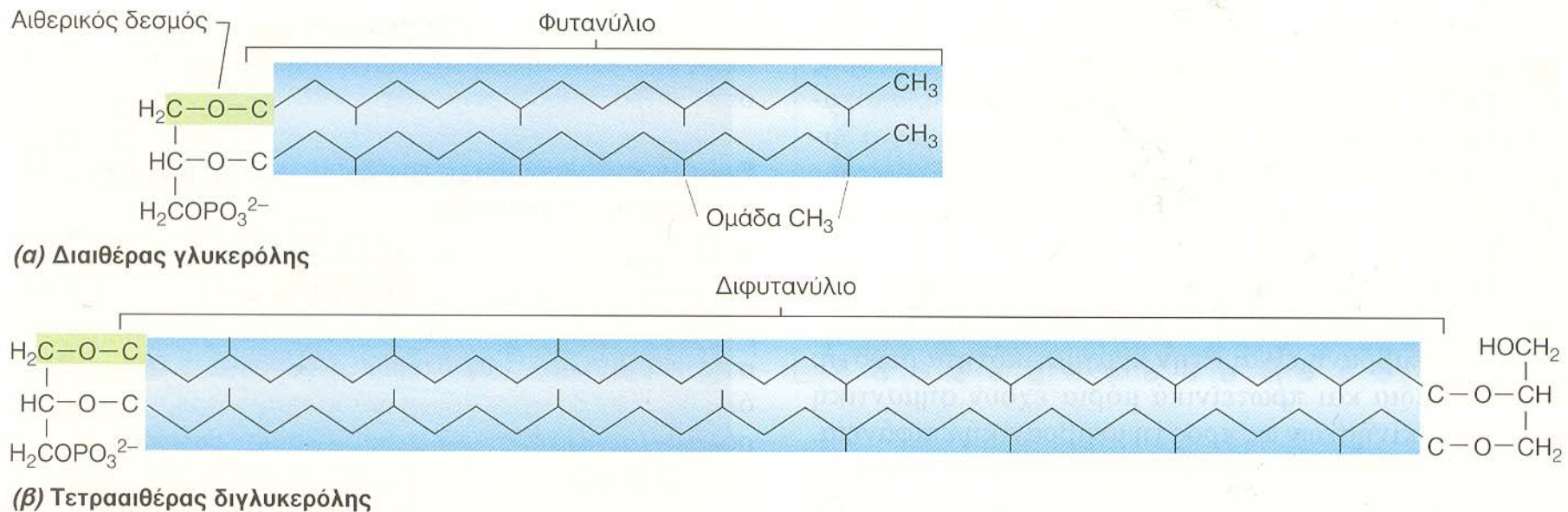
Μεμβράνες αρχαίων

- Τα **λιπίδια** των **αρχαίων** χαρακτηρίζονται από **χημική ιδιαιτερότητα**.
- Σε αντίθεση με τα λιπίδια των βακτηρίων και ευκαρύων, όπου τα λιπαρά οξέα συνδέονται στο μόριο της γλυκερόλης με **εστερικούς δεσμούς**, τα λιπίδια των **αρχαίων** συνδέονται με **αιθερικούς δεσμούς**.
- Επιπροσθέτως, τα λιπίδια των αρχαίων στερούνται λιπαρών οξέων.
- Οι πλευρικές αλυσίδες αποτελούνται από επαναλαμβανόμενες μονάδες **ισοπρενίου**.

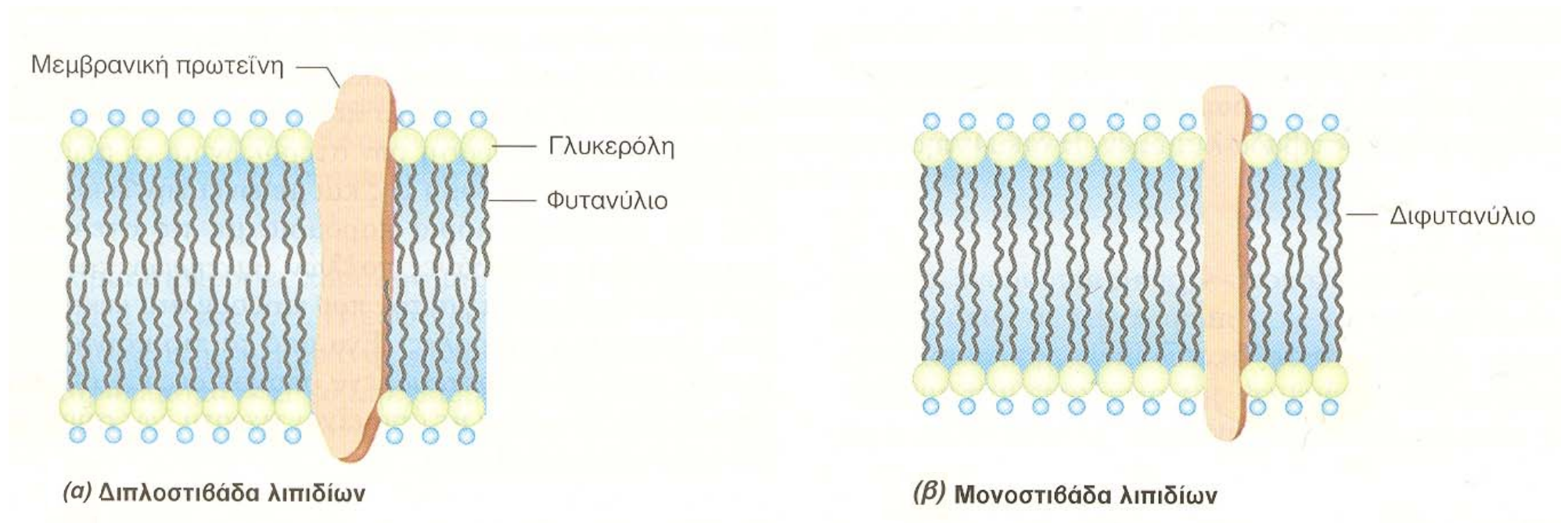


Σχ.17. Χημικοί δεσμοί σε λιπίδια: (α) Εστερικός δεσμός, (β) Αιθερικός δεσμός, (γ) Ισοπρένιο.

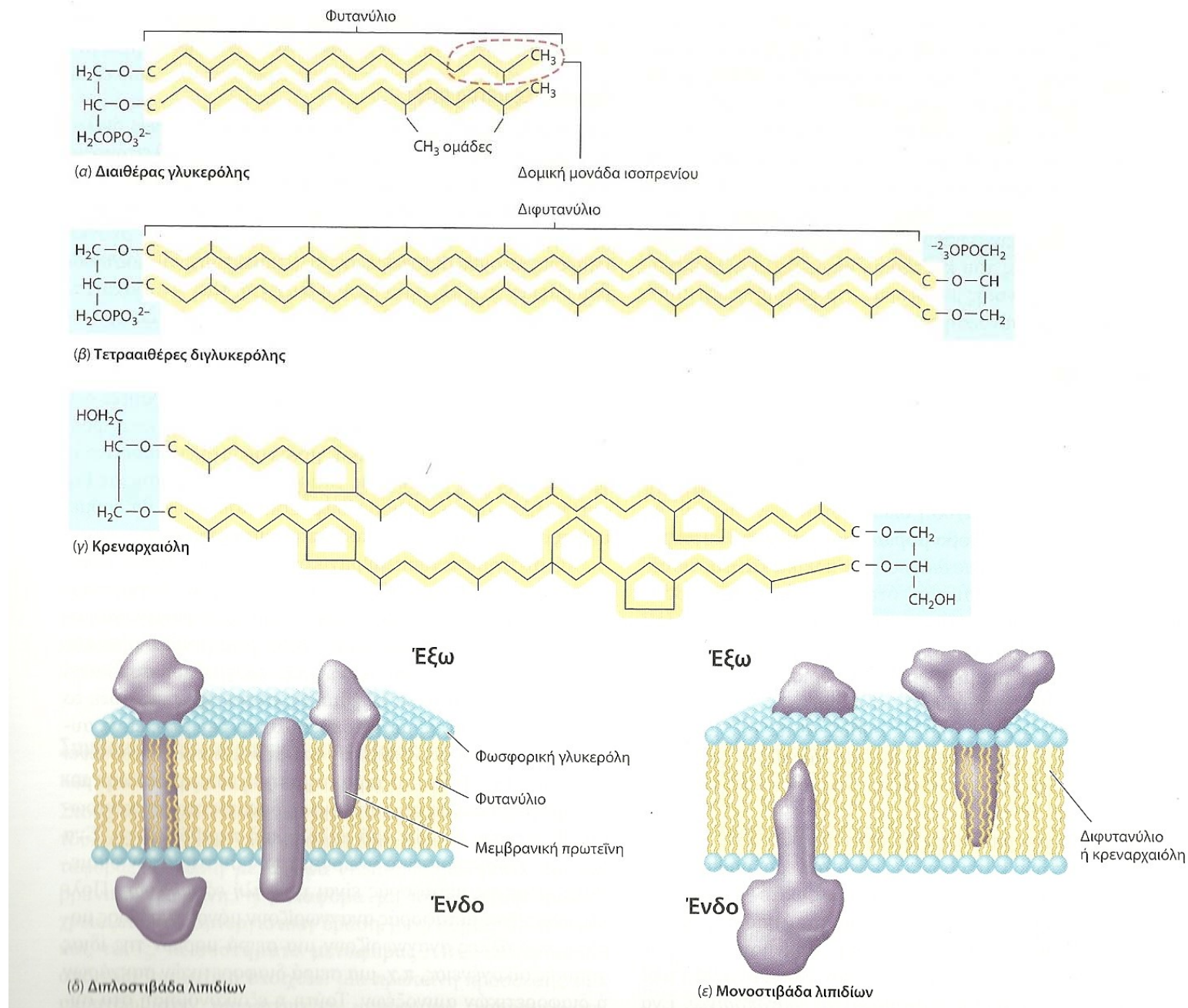
- Κύριες κατηγορίες λιπιδίων στα αρχαία είναι οι **διαιθέρες** της γλυκερόλης και οι **τετρααιθέρες** της διγλυκερόλης.
- Στο μόριο του τετρααιθέρα, οι πλευρικές αλυσίδες φυτανυλίου (αλυσίδα 4 ισοπρενίων) συνδέονται μεταξύ τους με ομοιοπολικό δεσμό, σχηματίζοντας **μονοστοιβάδα** και όχι διπλοστοιβάδα.
- Οι μονοστοιβάδες είναι εξαιρετικά ανθεκτικές, γεγονός που δικαιολογεί ότι η συγκεκριμένη μεμβρανική δομή απαντά συχνά στα υπερθερμόφιλα αρχαία.



Σχ.18. Κύρια λιπίδια των αρχαίων: (α) Διαιθέρες γλυκερόλης, (β) Τετρααιθέρες γλυκερόλης.



Σχ.19. Δομή μεμβρανών αρχαίων: (α) Διπλοστοιβάδα λιπιδίων, (β) Μονοστοιβάδα λιπιδίων.



Σχ.20. Τα κυριότερα λιπίδια των αρχαίων και η αρχιτεκτονική των μεμβρανών τους. (α) Διαιθέρας γλυκερόλης. (β) Τετρααιθέρας γλυκερόλης. (γ) Κρεναρχαιόλη, το κύριο λιπίδιο του φύλου των Θαυμαρχαιωτικών. (δ,ε) Η δομή των μεμβρανών στα αρχαία μπορεί να είναι διπλοστοιβάδα ή μονοστοιβάδα.

Κυτταροπλασματική μεμβράνη: Λειτουργία

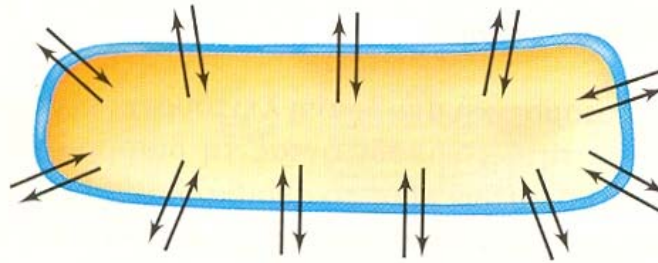
- Η κυτταροπλασματική μεμβράνη παίζει κρίσιμο ρόλο σε πάρα πολλές κυτταρικές λειτουργίες:

1. Λειτουργεί ως φραγμός διαπερατότητας, εμποδίζοντας την παθητική ροή κυτταροπλασματικών συστατικών από ή προς το εσωτερικό του κυττάρου,

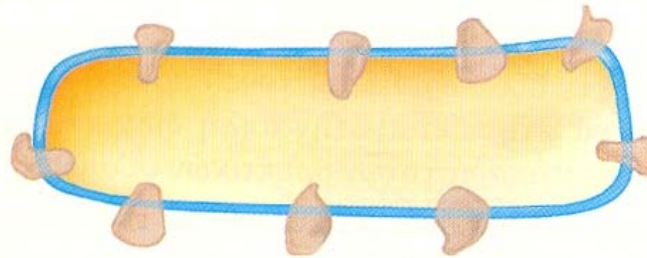
2. Αποτελεί τη θέση λειτουργίας πολλών πρωτεϊνών (ένζυμα που παίζουν σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της ενέργειας, πρωτεΐνες που συμμετέχουν στην μεταφορά ουσιών προς το εσωτερικό ή εξωτερικό του κυττάρου), και

3. Αποτελεί θέση διατήρησης ενέργειας στο κύτταρο, βρίσκεται δηλαδή σε ενεργειακά «φορτισμένη» μορφή, στην οποία H^+ διαχωρίζονται από OH^- (πρωτονιοκίνητη δύναμη).

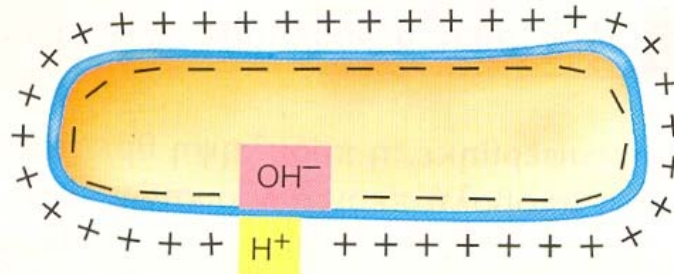
- Αν και ορισμένα μικρά υδρόφοβα μόρια διαπερνούν τη μεμβράνη λόγω διάχυσης, τα υδρόφιλα και φορτισμένα μόρια δεν περνούν ελεύθερα, αλλά μεταφέρονται μέσω ειδικών διαμεμβρανικών πρωτεϊνών.
- Ακόμα και το εξαιρετικά μικρό σε μέγεθος H^+ είναι αδύνατον να διαχέεται ελεύθερα μέσω της κυτταροπλασματικής μεμβράνης.
- Ωστόσο, το μόριο του νερού διαπερνά εύκολα τη μεμβράνη.
- Η μεταφορά του νερού επιταχύνεται σημαντικά από ειδικούς διαμεμβρανικούς μεταφορείς, τις **υδατοπορίνες**.



Φραγμός διαπερατότητας — Εμποδίζει τη διαρροή και λειτουργεί ως δίοδος μεταφοράς θρεπτικών ουσιών από και προς το εσωτερικό του κυττάρου



Δέσμευση πρωτεϊνών — Θέση εντοπισμού πολλών πρωτεϊνών που συμμετέχουν σε λειτουργίες μεταφοράς, βιοενεργειακές δράσεις, και χημειοτακτισμό



Διατήρηση ενέργειας — Θέση όπου αναπτύσσεται και δρα η πρωτονιεγερτική δύναμη

Σχ.21. Οι κύριες λειτουργίες της κυτταροπλασματικής μεμβράνης.

- Οι πρωτεΐνες μεταφοράς δεν μεταφέρουν απλώς ουσίες από τη μια πλευρά της μεμβράνης στην άλλη, αλλά συσσωρεύουν ουσίες στο εσωτερικό του κυττάρου ακόμα και αντίθετα προς τη διαβάθμιση της συγκέντρωσής τους.
- Αν τα κύτταρα δεν είχαν άλλο τρόπο για να προσλαμβάνουν θρεπτικές ουσίες πλην της διάχυσης, δεν θα μπορούσαν να επιτύχουν τα υψηλά επίπεδα ενδοκυτταρικών συγκεντρώσεων, που είναι αναγκαία για τις βιοχημικές αντιδράσεις του μεταβολισμού.
- Τα κύτταρα έχουν μηχανισμούς για να συσσωρεύουν θρεπτικά υλικά σε επίπεδα υψηλότερα από αυτά που υπάρχουν στη φύση (έργο των **πρωτεϊνών μεταφοράς**).

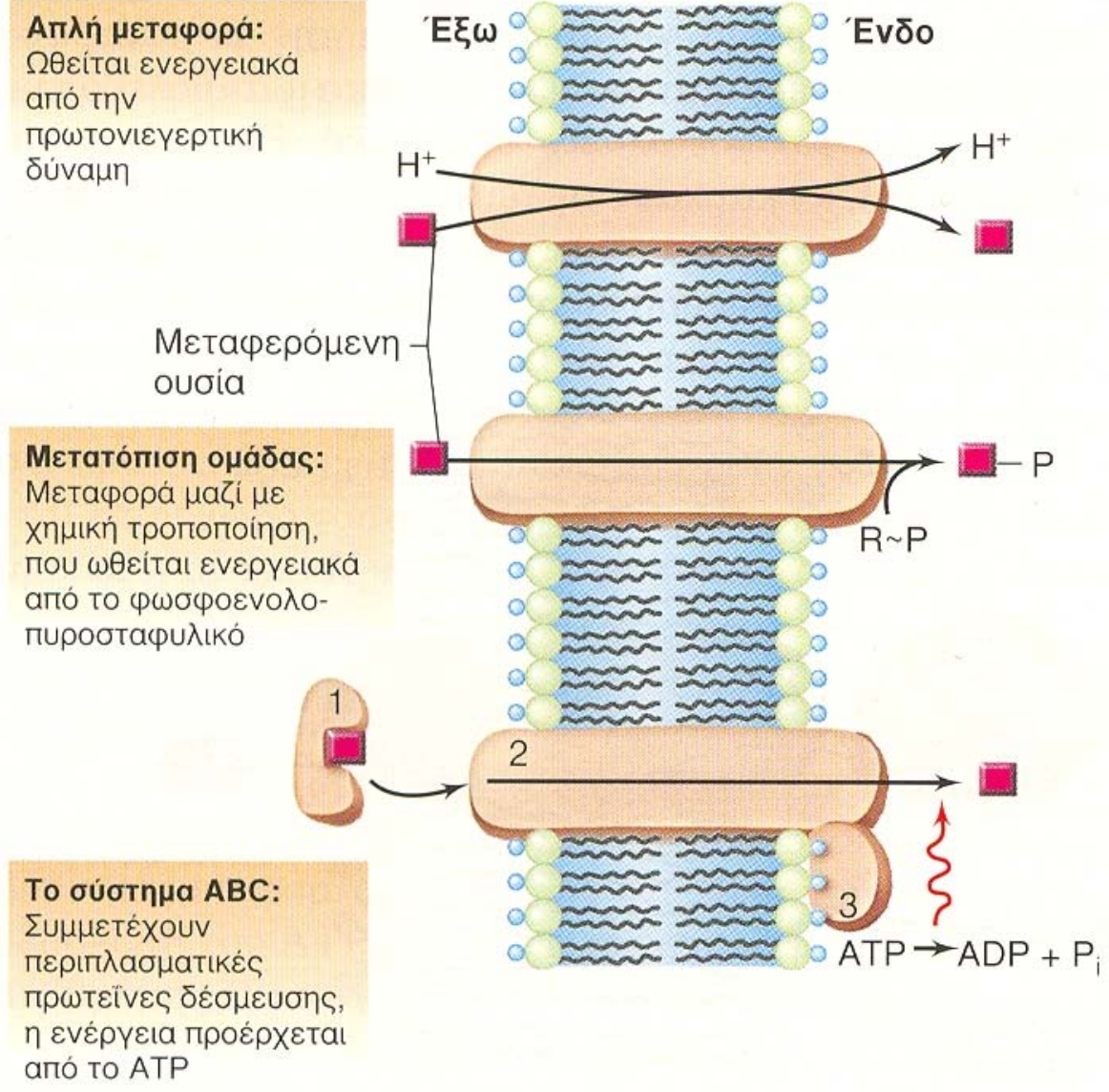
- Χαρακτηριστικό της διαμεσολαβούμενης μεταφοράς είναι η **υψηλή εξειδίκευση** των πρωτεϊνικών μεταφορέων.
- Πολλοί μεταφορείς αναγνωρίζουν ένα μόνο είδος μορίου, ενώ άλλοι μια σειρά μορίων της ίδιας οικογένειας.
- Επιπλέον, το κύτταρο **ρυθμίζει** τη σύνθεση των πρωτεϊνών μεταφοράς ανάλογα με το είδος των διαθέσιμων θρεπτικών ουσιών και τη συγκέντρωσή τους.
- Ο παράγοντας συγκέντρωση είναι σημαντικός, γιατί συχνά υφίστανται δύο τύποι μεταφορέων για την ίδια ουσία:
 1. Ένας όταν η ουσία είναι σε μεγάλη συγκέντρωση, και
 2. Ένας άλλος, υψηλότερης συγγένειας, όταν η ουσία βρίσκεται σε χαμηλή συγκέντρωση.



Σχ.22. Σχέση ταχύτητας πρόσληψης και εξωτερικής συγκέντρωσης στις διεργασίες απλής διάχυσης και διαμεσολαβούμενης μεταφοράς.

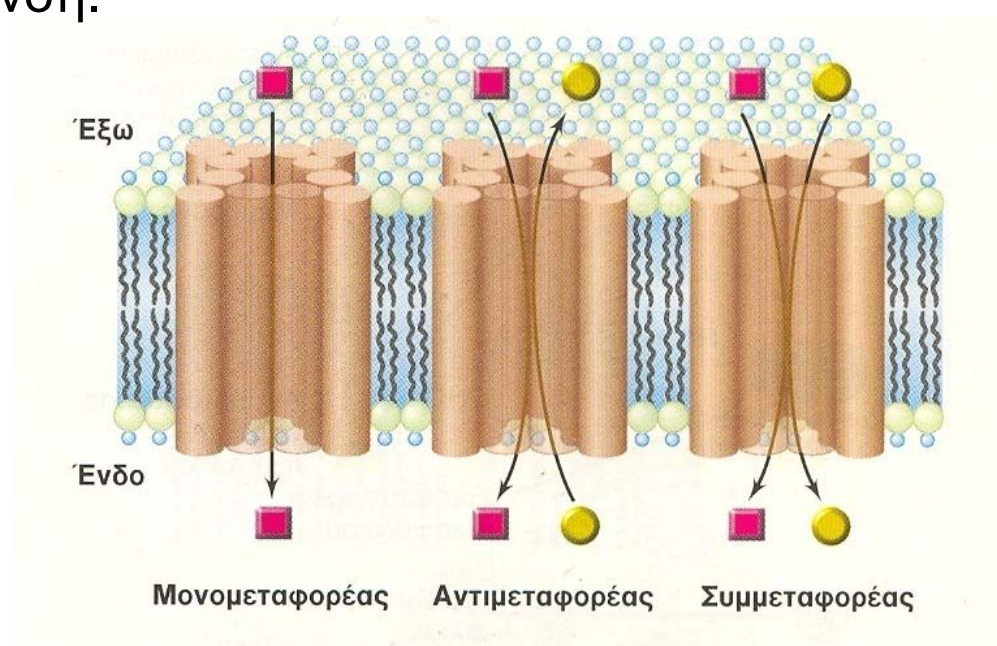
Δομή και λειτουργία των μεμβρανικών πρωτεϊνών μεταφοράς

- Υπάρχουν 3 τύποι διαμεμβρανικών συστημάτων μεταφοράς:
 1. Αυτά που χρησιμοποιούν 1 διαμεμβρανική πρωτεΐνη (**απλή μεταφορά**),
 2. Αυτά που χρησιμοποιούν μια ολόκληρη σειρά πρωτεϊνών που δρουν συνεργειακά (**μετατόπιση ομάδας**), και
 3. Αυτά που χρησιμοποιούν 1 διαμεμβρανική και 1 περιπλασματική πρωτεΐνη (**σύστημα ABC**).
- Το σύστημα ABC αποτελείται από μια πρωτεΐνη πρόσδεσης υποστρώματος, μια πρωτεΐνη μεταφοράς ενσωματωμένη στη μεμβράνη και μια πρωτεΐνη υδρόλυσης του ATP.
- Οι πρωτεΐνες-μεταφορείς έχουν συνήθως 12 α -έλικες που διατρέχουν τη μεμβράνη από την εσωτερική και εξωτερική πλευρά, σχηματίζοντας ένα διαμεμβρανικό κανάλι.



Σχ.23. Οι 3 τύποι διαμεμβρανικών συστημάτων μεταφοράς.

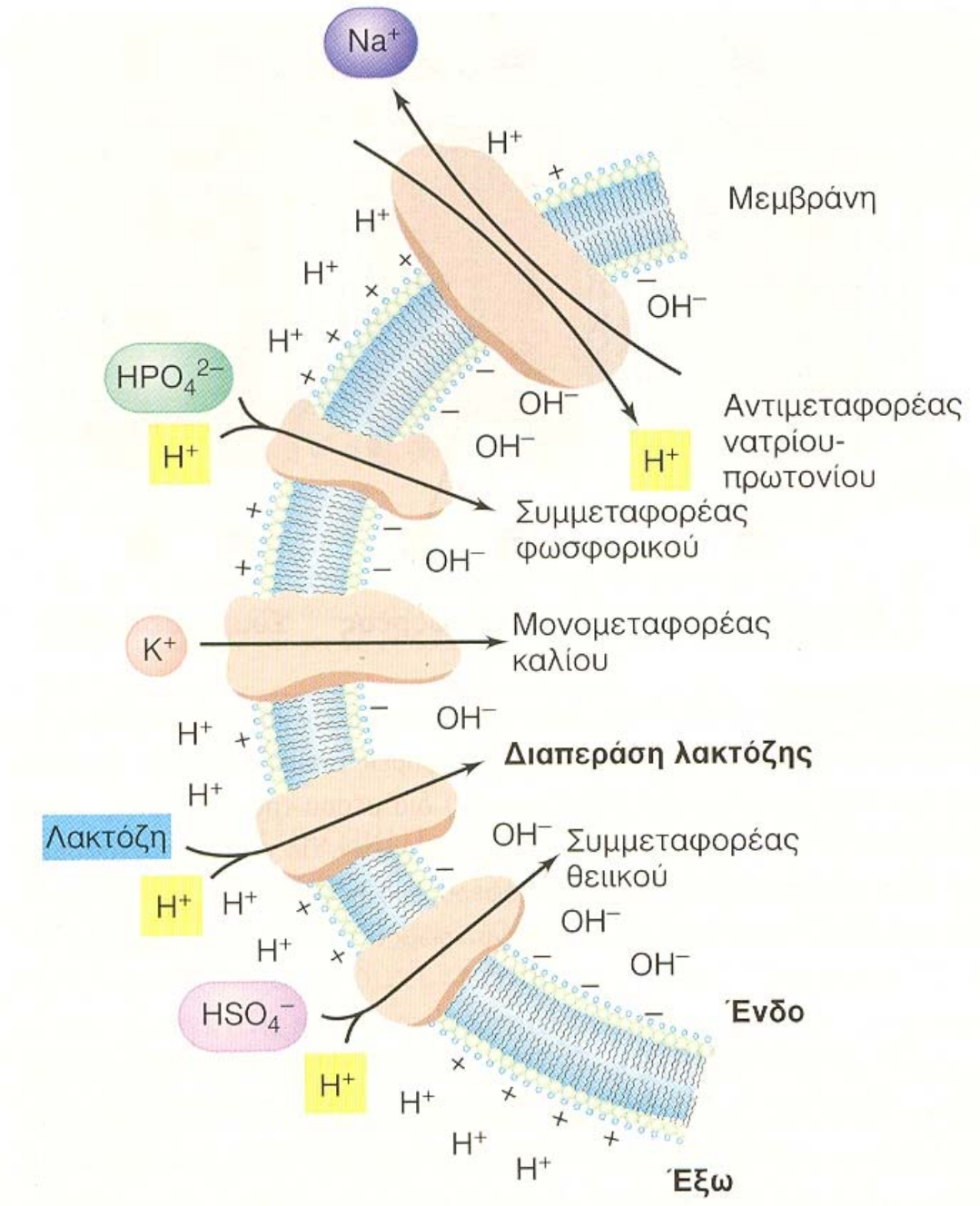
- Ανεξάρτητα από τον μηχανισμό μεταφοράς, τα συμβάντα της διαμεμβρανικής μεταφοράς διακρίνονται σε:
- **Μονομεταφορά** που εκτελείται από πρωτεΐνες που μεταφέρουν ένα μόριο διαμέσου της μεμβράνης προς μια κατεύθυνση.
- **Συμμεταφορά** που εκτελείται από πρωτεΐνες που μεταφέρουν μια ουσία μαζί με κάποια άλλη ουσία (συνήθως H^+).
- **Αντιμεταφορά** που εκτελείται από πρωτεΐνες που μεταφέρουν μια ουσία προς μια κατεύθυνση και ταυτόχρονα μεταφέρουν μια δεύτερη ουσία προς την αντίθετη κατεύθυνση.



Σχ.24. Δομή διαμεμβρανικών μεταφορέων και τύποι μεταφοράς.

Διαπεράση λακτόζης: ένας απλός μεταφορέας

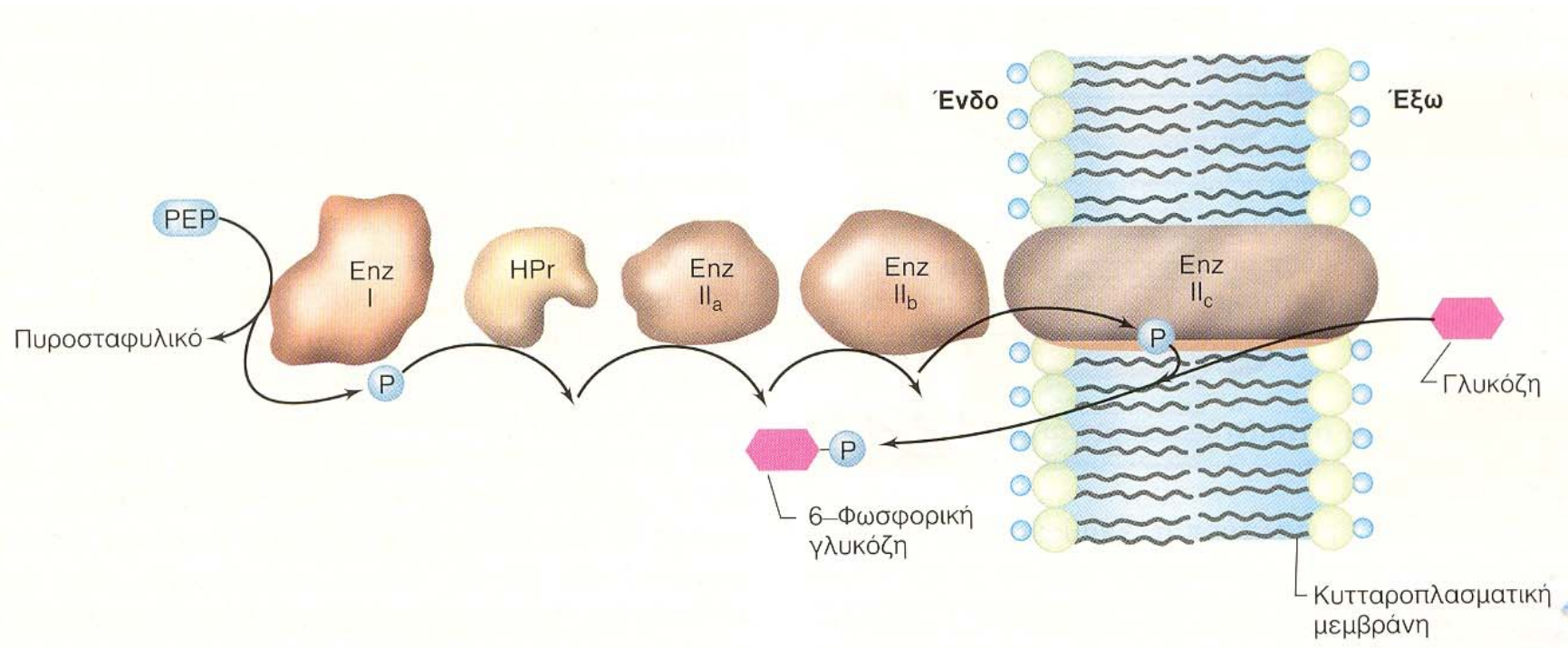
- Η διαπεράση λακτόζης είναι τυπικός συμμεταφορέας, μεταφέροντας ένα μόριο λακτόζης μαζί με 1 H⁺.
- Καθώς τα μόρια λακτόζης μεταφέρονται από τη διαπεράση λακτόζης, η ενέργεια της πρωτονιοκίνητης δύναμης μειώνεται σταδιακά λόγω της εισροής πρωτονίων στο κύτταρο.
- Η πρωτονιοκίνητη δύναμη, όμως, αναγεννάται διαρκώς μέσω εξώεργων αντιδράσεων.
- Ως τελικό αποτέλεσμα, η διαπεράση της λακτόζης οδηγεί σε υψηλές ενδοκυτταρικές συγκεντρώσεις.



Σχ.25. Λειτουργία διαπεράσης της λακτόζης και άλλων απλών μεταφορέων της *Escherichia coli*. 25

Μετατόπιση ομάδας

- Είναι η διεργασία μεταφοράς κατά την οποία η μεταφερόμενη ουσία **τροποποιείται** χημικά κατά τη διέλευσή της μέσω της μεμβράνης.
- Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το **σύστημα της φωσφοτρανσφεράσης**, με το οποίο μεταφέρονται στο εσωτερικό του κυττάρου και συγχρόνως φωσφορυλιώνονται τα σάκχαρα γλυκόζη, μαννόζη και φρουκτόζη.

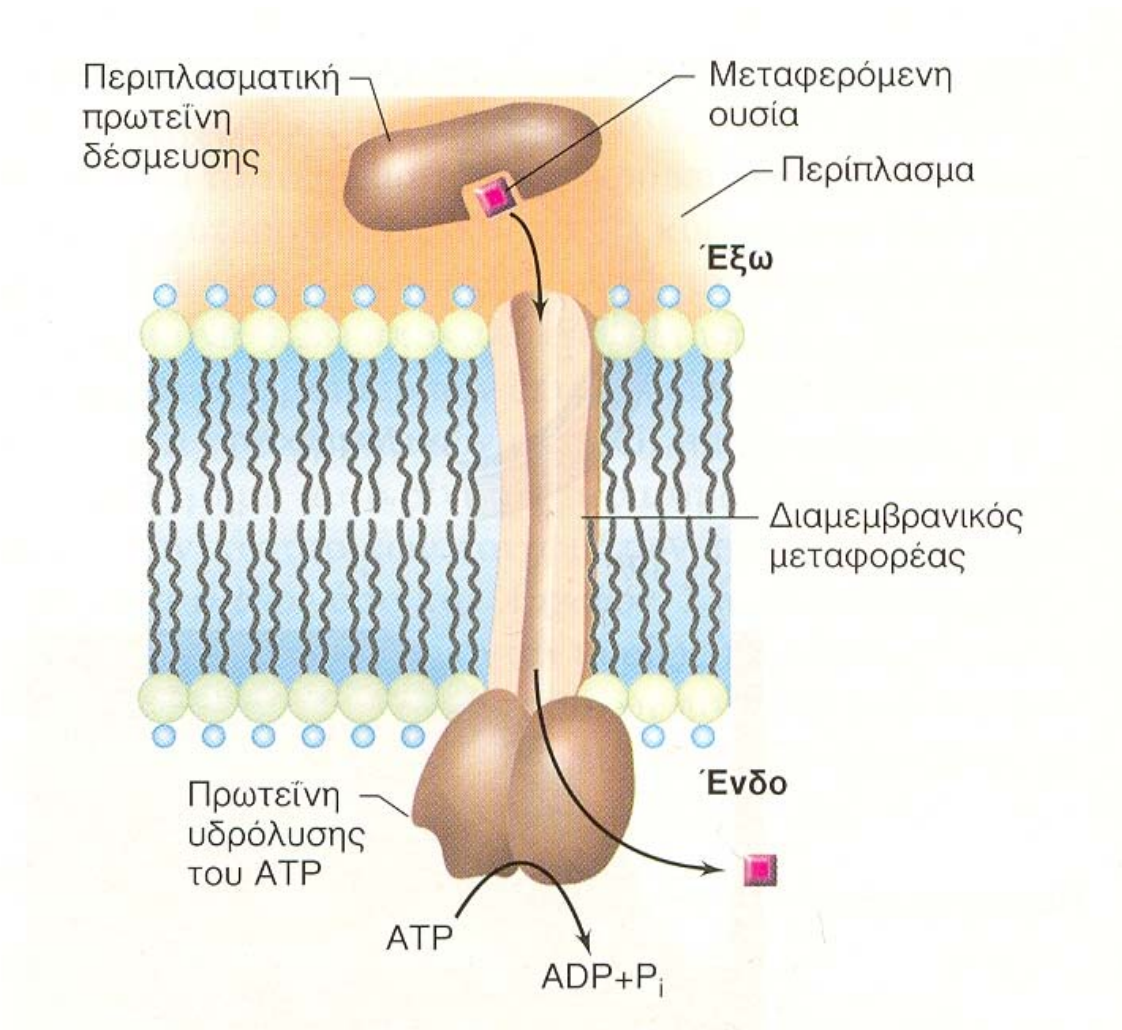


Σχ.26. Μηχανισμός του συστήματος της φωσφοτρανσφεράσης της *Escherichia coli*.

Διαμεμβρανική μεταφορά εξαρτώμενη από περιπλασματικές πρωτεΐνες δέσμευσης: Το σύστημα ABC

- Το περίπλασμα [χώρος μεταξύ κυτταροπλασματικής μεμβράνης και εξωτερικής μεμβράνης στα Gram (-) βακτήρια] περιέχει πρωτεΐνες που συμμετέχουν σε μηχανισμούς μεταφοράς (**περιπλασματικές πρωτεΐνες δέσμευσης**).
- Τα συστήματα μεταφοράς που χρησιμοποιούν περιπλασματικές πρωτεΐνες δέσμευσης διαθέτουν επίσης διαμεμβρανικές υπομονάδες, οι οποίες εκτελούν την μεταφορά, καθώς και μια υπομονάδα που παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια, μέσω υδρόλυσης ATP (**συστήματα μεταφοράς ABC**).

- Ιδιαίτερο γνώρισμα των συστημάτων ABC είναι ότι οι περιπλασματικές πρωτεΐνες δέσμευσης διαθέτουν εξαιρετικά υψηλή συγγένεια υποστρώματος.
- Οι πρωτεΐνες αυτές μετακινούνται στον χώρο του περιπλάσματος και δεσμεύουν τα υποστρώματά τους ακόμα και σε εξαιρετικά χαμηλές συγκεντρώσεις υποστρώματος.
- Παρόμοια συστήματα μεταφοράς υπάρχουν και στα Gram (+) βακτήρια.
- Στα βακτήρια αυτά, που δεν έχουν περίπλασμα, οι πρωτεΐνες δέσμευσης δεν είναι κινητές, αλλά βρίσκονται αγκυροβολημένες στην κυτταροπλασματική μεμβράνη.

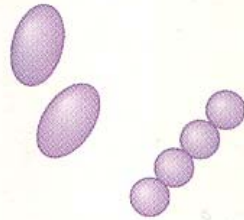


Σχ.27. Μηχανισμός του συστήματος μεταφοράς ABC.

Το κυτταρικό τοίχωμα των προκαρυωτών

- Στο εσωτερικό του βακτηριακού κυττάρου αναπτύσσεται σημαντική πίεση (αγγίζει τις 2 atm) λόγω συσσώρευσης μεγάλων συγκεντρώσεων διαλυμένων ουσιών.
- Για να αντέξουν τις πιέσεις αυτές, τα βακτήρια έχουν **κυτταρικά τοιχώματα**, τα οποία προσδίδουν στα κύτταρα σχήμα και σχετική ακαμψία.
- Τα βακτήρια υποδιαιρούνται σε δύο μεγάλες ομάδες:
 - A. Τα Gram (+) βακτήρια, και
 - B. Gram (-) βακτήρια.
- Η διαφορά στη χρώση Gram οφείλεται σε διαφορές στο κυτταρικό τοίχωμα.

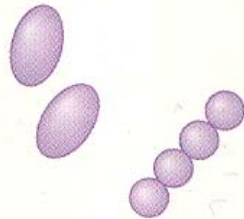
Βήμα 1



Διαβρέξτε το μονιμοποιημένο επίχρισμα κυττάρων με κρυσταλλικό ιώδες επί 1 min

Όλα τα κύτταρα αποκτούν πορφυρό χρώμα

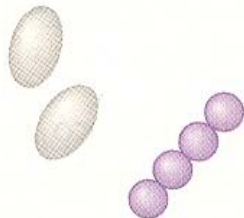
Βήμα 2



Προσθέστε διάλυμα ιωδίου επί 3 min

Όλα τα κύτταρα παραμένουν πορφυρά

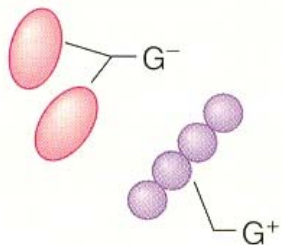
Βήμα 3



Αποχρωματίστε με αλκοόλη -περί τα 20 sec

Τα θετικά κατά Gram κύτταρα μένουν πορφυρά, τα αρνητικά κατά Gram αποχρωματίζονται

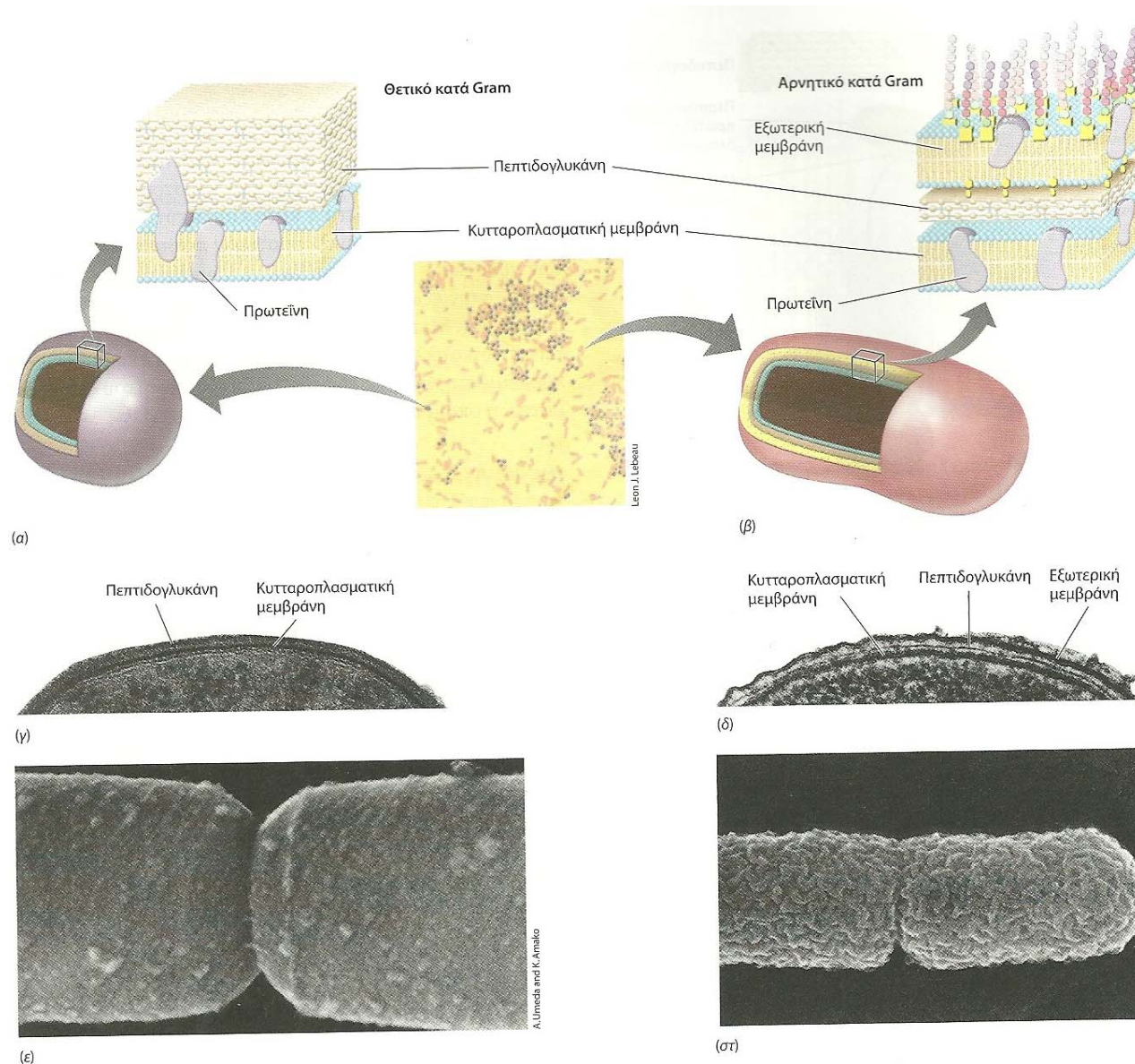
Βήμα 4



Εφαρμόστε την αντιχρωστική σαφρανίνη, επί 1-2 min

Τα θετικά κατά Gram κύτταρα (G^+) είναι πορφυρά, τα αρνητικά κατά Gram (G^-) είναι ρόδινα-ερυθρά

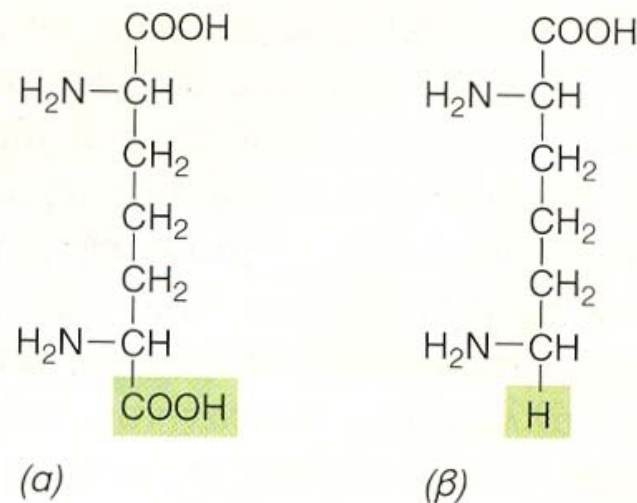
(a)



Σχ.29. Κυτταρικά τοιχώματα βακτηρίων. (α,β) Σχηματική αναπαράσταση Gram (+) και Gram (-) κυτάρων. Στο ηλεκτρονικό μικρογράφημα βλέπουμε κύτταρα *Staphylococcus aureus* (πορφυρό χρώμα) και *Esherichia coli* (ρόδινο, ερυθρό χρώμα). (γ) Ηλεκτρονικά μικρογραφήματα διέλευσης (TEM) που δείχνουν κυτταρικό τοίχωμα Gram (+) και Gram (-) βακτηρίων. (ε, στ) Ηλεκτρονικά μικρογραφήματα σάρωσης (SEM) Gram (+) και Gram (-) βακτηρίων, αντίστοιχα.

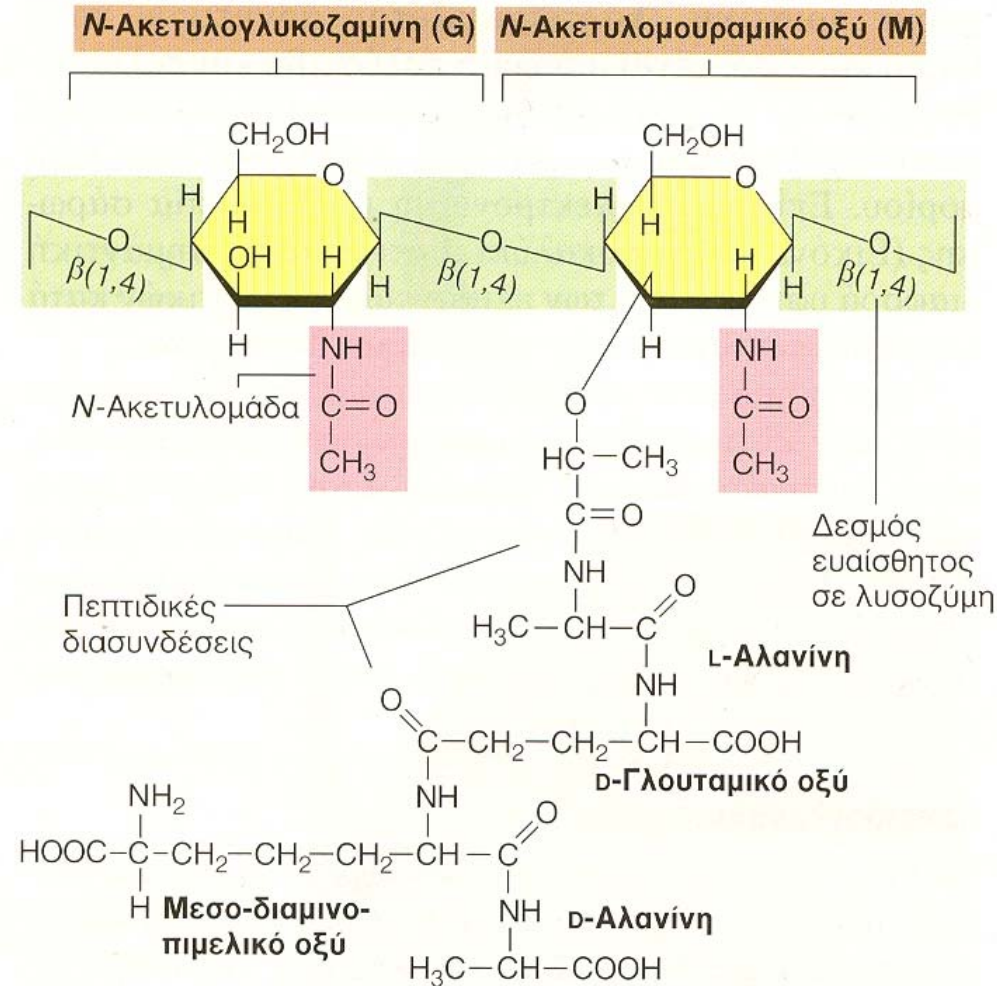
Πεπτιδογλυκάνη

- Η άκαμπτη στοιβάδα των Gram (-) και Gram (+) βακτηρίων έχει παραπλήσια χημική σύσταση.
- Πρόκειται για μια στοιβάδα από **πεπτιδογλυκάνη (ή μουρείνη)**.
- Οι πεπτιδογλυκάνες είναι μακρομόρια, όπου επαναλαμβάνεται ένας βλεννοδισακχαρίτης (*N*-ακετυλογλυκοζαμίνη-*N*-ακετυλομουραμικό οξύ).
- Σε ορισμένα μόρια *N*-ακετυλομουραμικού οξέος συνδέεται μια τετραπεπτιδική ουρά αποτελούμενη από *L*-αλανίνη, *D*-γλουταμινικό οξύ, διαμινοπιμελικό οξύ (DAP) ή λυσίνη και *D*-αλανίνη.



Σχ.30. (α) Διαμινοπιμελικό οξύ.
(β) Λυσίνη.

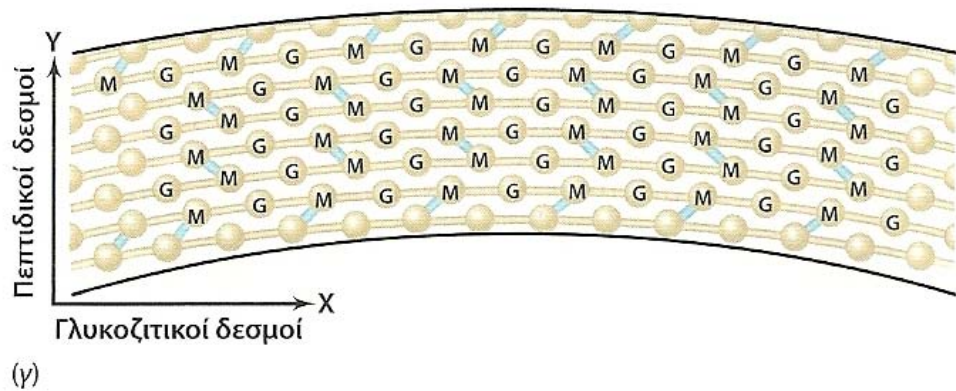
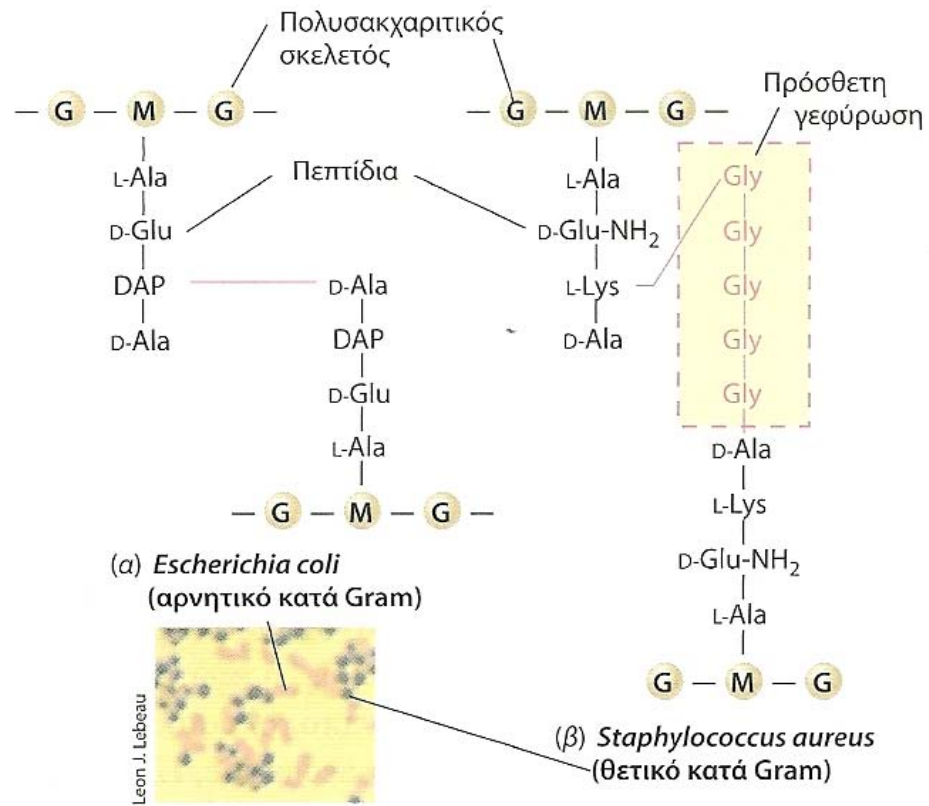
- Η βασική δομή της πεπτιδογλυκάνης είναι μια πτυχωτή επιφάνεια, όπου οι αλυσίδες γλυκάνης, τις οποίες σχηματίζουν τα σάκχαρα, συνδέονται μεταξύ τους με πεπτιδικούς δεσμούς μεταξύ των τετραπεπτιδίων.



Σχ.31. Δομή τετραπεπτιδίου γλυκάνης.

- Η έκταση των διασυνδέσεων διαφέρει χαρακτηριστικά μεταξύ διαφορετικών ομάδων βακτηρίων (όσο μεγαλύτερη τόσο πιο στερεό είναι το τοίχωμα).
- Στα Gram (-) οι διασυνδέσεις γίνονται συνήθως με απευθείας σχηματισμό πεπτιδικού δεσμού μεταξύ αμινομάδας του DAP και τελικής *D*-αλανίνης άλλου τετραπεπτιδίου γλυκάνης.
- Στα Gram (+) οι διασυνδέσεις γίνονται συνήθως με πεπτιδικές γεφυρώσεις από πρόσθετα αμινοξέα, οι τύποι και αριθμοί των οποίων ποικίλουν με το είδος του μικροοργανισμού.
- Στα Gram (+) βακτήρια υπάρχουν πολλά στρώματα πεπτιδογλυκάνης (έως 25 και αποτελεί έως και 90% των υλικών του κυτταρικού τοιχώματος).

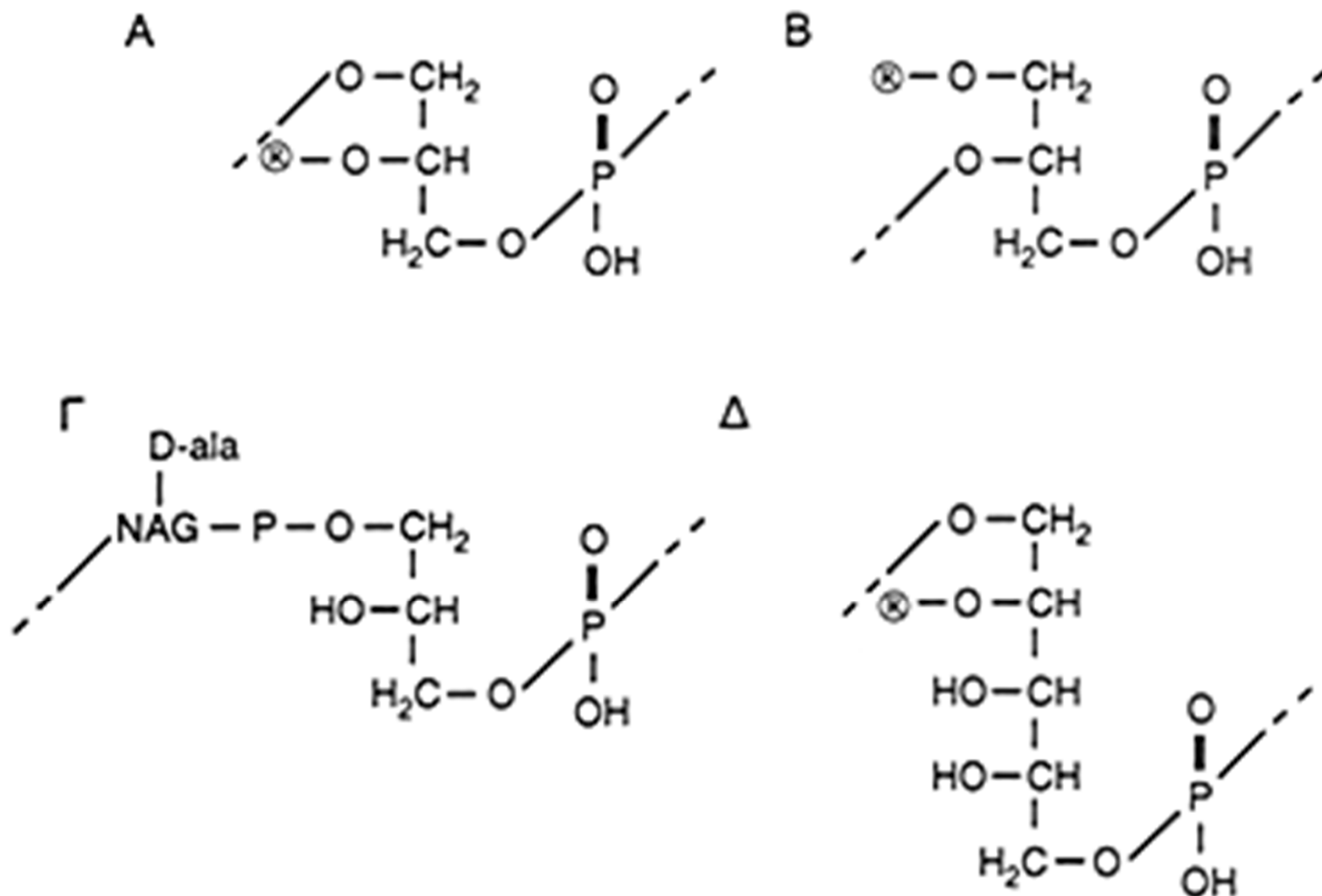
- Στα Gram (-) βακτήρια υπάρχει συνήθως μόνο ένα στρώμα πεπτιδογλυκάνης (μερικές φορές ίσως δύο) και αποτελεί μόνο 5-10% των υλικών του κυτταρικού τοιχώματος.
- Παρά τις διαφορές, το μήκος των αλυσίδων πεπτιδογλυκάνης, ο τρόπος και η έκταση της διασύνδεσης των αλυσίδων καθορίζουν το σχήμα των βακτηρίων.
- Η πεπτιδογλυκάνη απαντά **μόνο** στα βακτήρια (το *N*-ακετυλομουραμικό και το DAP απουσιάζουν εντελώς από τα κυτταρικά τοιχώματα των αρχαίων και ευκαρύων).
- Το DAP υπάρχει σε όλα τα Gram (-) και σε ορισμένα είδη Gram (+).
- Στους περισσότερους Gram (+) κόκκους το DAP αντικαθίσταται από λυσίνη, ενώ σε άλλα Gram (+) βακτήρια απαντούν διαφορετικά αμινοξέα αντί DAP.



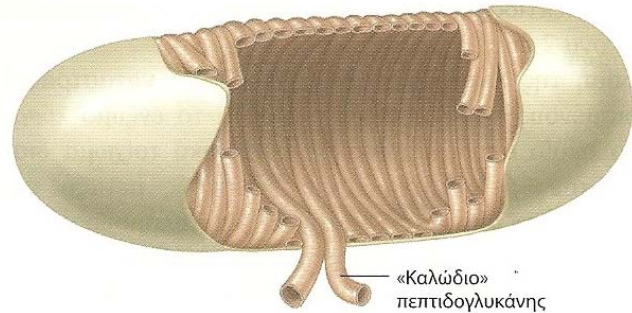
Σχ.32. Δομή πεπτιδογλυκάνης.

Τειχικά οξέα

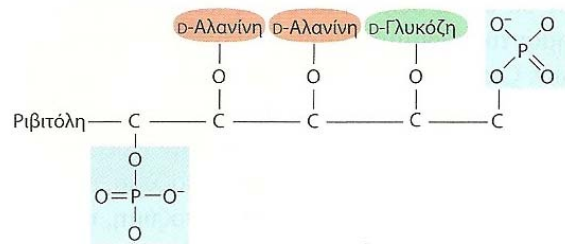
- Πολλά Gram (+) βακτήρια έχουν ενσωματωμένους στο κυτταρικό τους τοίχωμα όξινους πολυσακχαρίτες (**τειχικά οξέα**).
- Τα τειχικά οξέα είναι πολυμερή που περιέχουν κατάλοιπα φωσφορικής γλυκερόλης ή φωσφορικής ριβιτόλης.
- Οι πολυαλκοόλες αυτές συνδέονται μεταξύ τους με φωσφοεστερικούς δεσμούς και συνήθως είναι συνδεδεμένα μαζί τους άλλα σάκχαρα ή *D*-αλανίνη.
- Ορισμένα συνδέονται με λιπίδια των μεμβρανών των Gram (+) βακτηρίων (λιποτειχικά οξέα).



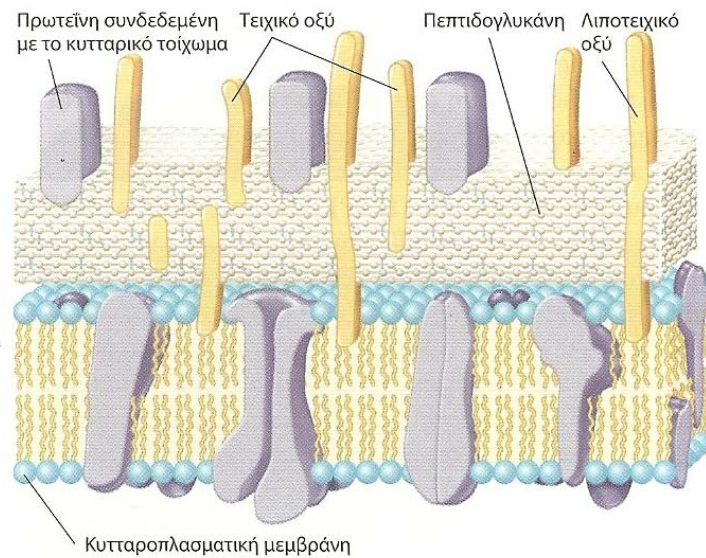
Σχ.33. Τειχικά οξέα.



(α)



(β)



(γ)

Σχ.34. Δομή κυτταρικού τοιχώματος Gram (+) βακτηρίων. (α) Σχεδιάγραμμα Gram (+) βακτηρίου. (β) Δομή τειχικού οξέος ριβιτόλης. (γ) Δομή κυτταρικού τοιχώματος Gram (+) κυττάρου.

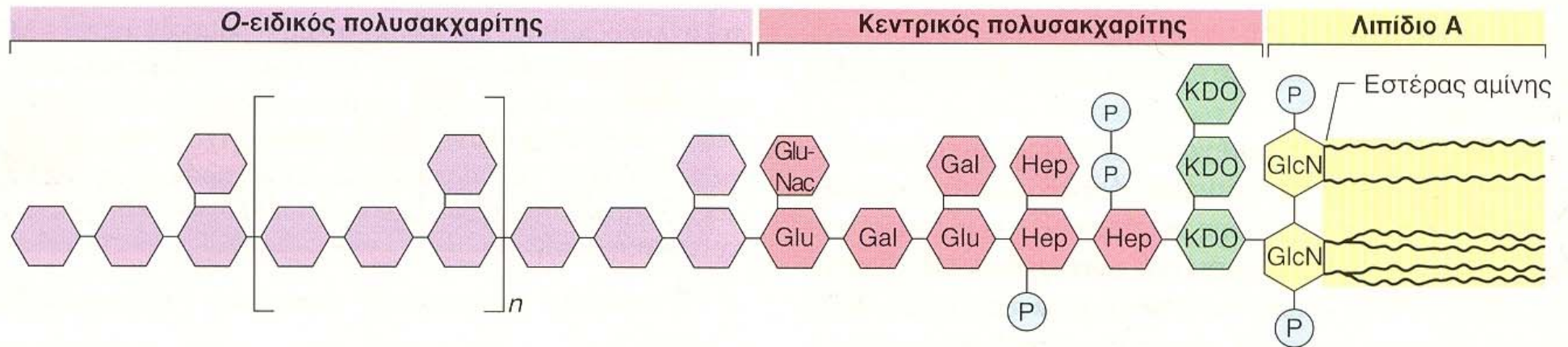
Η εξωτερική μεμβράνη των Gram (-) βακτηρίων

- Εκτός της πεπτιδογλυκάνης, τα Gram (-) περιέχουν μια πρόσθετη επίστρωση τοιχώματος αποτελούμενη από **λιποπολυσακχαρίτες (LPS)**.
- Η στοιβάδα αυτή είναι ουσιαστικά μια δεύτερη λιπιδική στοιβάδα, γνωστή και ως εξωτερική μεμβράνη.

Η χημεία του LPS

- Το πολυσακχαριτικό τμήμα του LPS αποτελείται από 2 μέρη:
 1. Τον **κεντρικό πολυσακχαρίτη** (πυρήνας), και
 2. Τον **O-πολυσακχαρίτη**.

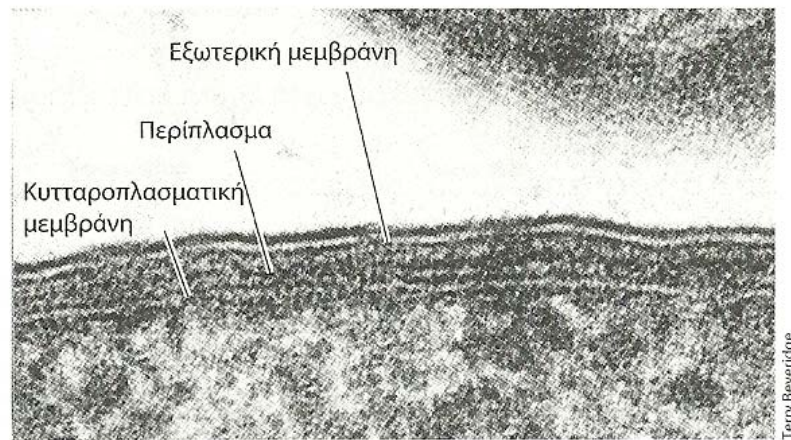
- Ο κεντρικός πολυσακχαρίτης περιέχει 2-κετοδεοξυοκτανικό οξύ (KDO), επτόζες, γλυκόζη, γαλακτόζη, και *N*-ακετυλογλυκοζαμίνη.
- Με τον κεντρικό πολυσακχαρίτη συνδέεται ο *O*-πολυσακχαρίτης που περιέχει συνήθως γαλακτόζη, γλυκόζη, ραμνόζη, μαννόζη, και ένα ή περισσότερα ασυνήθη σάκχαρα.



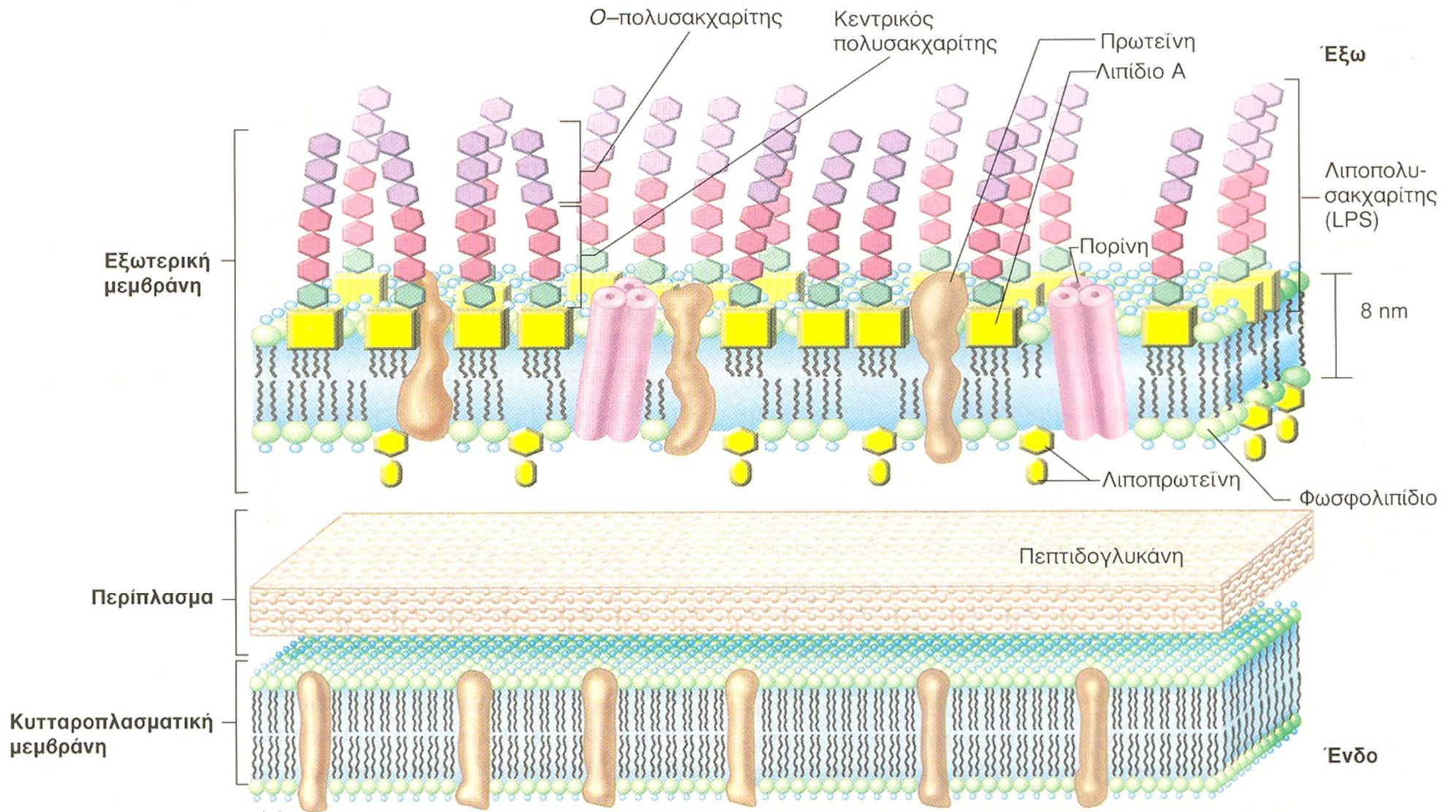
Σχ.35. Δομή του λιποπολυσακχαρίτη (LPS) των Gram (-) βακτηρίων.

- Τα σάκχαρα του Ο-πολυσακχαρίτη σχηματίζουν 4-μελείς ή 5-μελείς αλληλουχίες, συχνά διακλαδιζόμενες.
- Το λιπιδικό μέρος του λιποπολυσακχαρίτη (**λιπίδιο Α**), αποτελείται από λιπαρά οξέα ενωμένα με δισακχαρίτη φωσφορικής Ν-ακετυλογλυκοζαμίνης μέσω αμινοεστερικών δεσμών.
- Ο δισακχαρίτης συνδέεται με τον κεντρικό πολυσακχαρίτη μέσω του κετοδεοξυοκτανικού οξέος.
- Συνήθη λιπαρά οξέα που απαντώνται στο λιπίδιο Α είναι το καπροϊκό, το δαφνικό, το μυριστικό, το παλμιτικό, κλπ.

- Ο LPS συνδέεται με διάφορες πρωτεΐνες σχηματίζοντας το **εξωτερικό ήμισυ** της δομής της μεμβράνης.
- Ο LPS λειτουργεί ως «άγκυρα» που κρατά ενωμένες την εξωτερική μεμβράνη με την πεπτιδογλυκάνη.



Σχ.36. Ηλεκτρονικό μικρογράφημα διέλευσης κυτάρου *E. coli*.



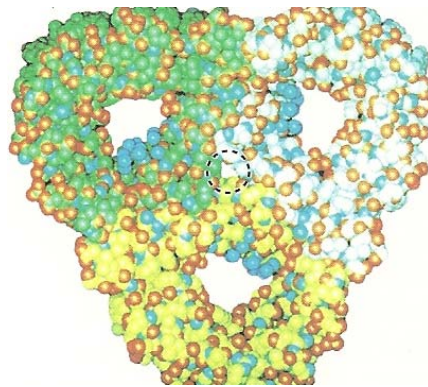
Σχ.37. Το κυτταρικό τοίχωμα Gram (-) βακτηρίων.

- Η εξωτερική μεμβράνη συχνά παρουσιάζει τοξικότητα έναντι ζωικών κυττάρων.
- Οι τοξικές ιδιότητες συνδέονται με το λιπίδιο A (**ενδοτοξίνη**).
- Η εξωτερική μεμβράνη είναι σχετικά διαπερατή στα μικρομόρια, σε αντίθεση με την κυτταροπλασματική μεμβράνη.
- Αυτό οφείλεται στην παρουσία πρωτεϊνών (**πορίνες**) που λειτουργούν ως κανάλια.
- Οι πορίνες διακρίνονται σε:

A. Μη ειδικές, που σχηματίζουν κανάλια πλήρη ύδατος, από τα οποία μπορούν να διέλθουν οποιοδήποτε τύπου μικρομόρια, και

B. Ειδικές, που σχηματίζουν ειδικά κέντρα δέσμευσης για μια ουσία ή μια ομάδα παραπλήσιων ουσιών.

- Οι περισσότερες πορίνες αποτελούνται από 3 όμοιες πρωτεϊνικές υπομονάδες.
- Συνεπώς, η εξωτερική μεμβράνη είναι διαπερατή από μικρά μόρια (λόγω των πορινών), δεν είναι όμως διαπερατή από μεγαλομόρια (πρωτεΐνες, ένζυμα, κλπ).
- Έτσι, στο περίπλασμα συγκρατώνται υδρολυτικά ένζυμα, πρωτεΐνες δέσμησης, χημειοϋποδοχείς, κλπ.



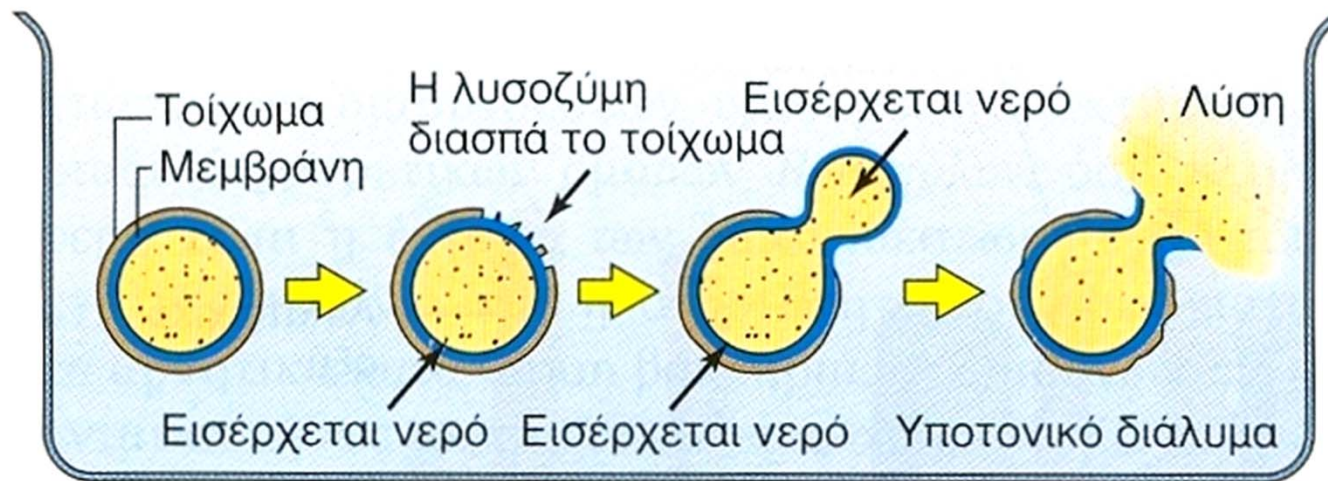
Σχ.38. Μοριακό μοντέλο δομής πορίνης.

Συσχέτιση της δομής του κυτταρικού τοιχώματος με τη χρώση Gram

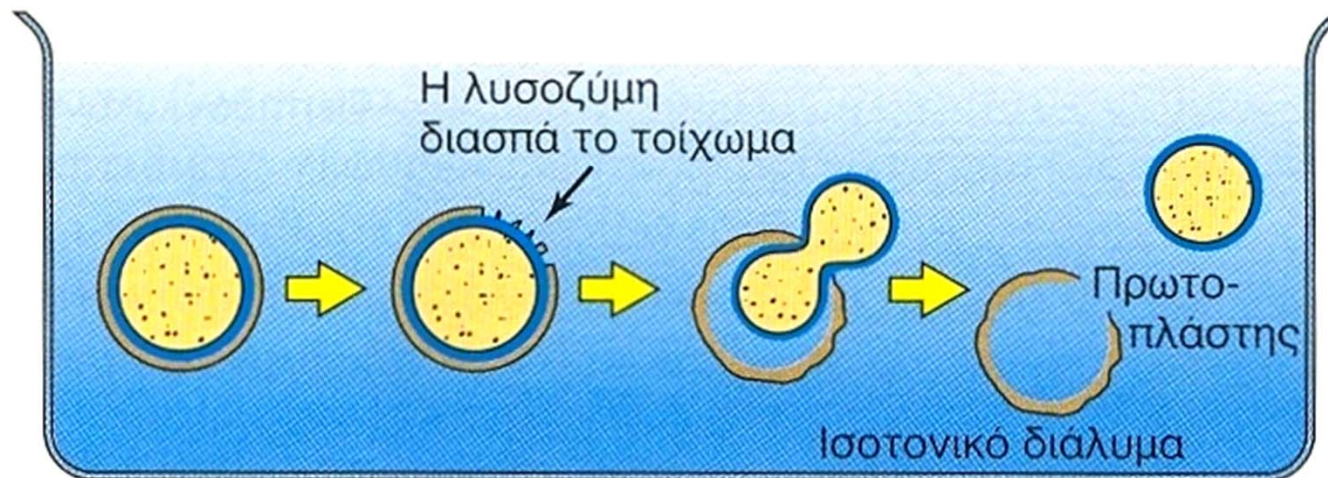
- Στη χρώση Gram, σχηματίζεται εντός του κυττάρου σύμπλεγμα ιωδίου-κρυσταλλικού ιώδους, το οποίο στα Gram (-) βακτήρια απομακρύνεται κατά την πλύση με αλκοόλη, ενώ στα Gram (+) όχι.
- Τα Gram (+) βακτήρια, έχουν παχύτατα κυτταρικά τοιχώματα από πολλές στοιβάδες πεπτιδογλυκάνης, που αφυδατώνονται από την αλκοόλη, με αποτέλεσμα να κλείνουν οι πόροι και να εγκλωβίζεται το σύμπλεγμα ιωδίου-κρυσταλλικού ιώδους.
- Στα Gram (-) βακτήρια, η αλκοόλη διαπερνά την εξωτερική λιπιδόχο στοιβάδα και τη λεπτή στοιβάδα πεπτιδογλυκάνης, με αποτέλεσμα να απομακρύνεται το σύμπλεγμα ιωδίου-κρυσταλλικού ιώδους.

Κύτταρα χωρίς τοιχώματα

- Το ένζυμο λυσοζύμη διασπά τον β -1,4-γλυκοζιτικό δεσμό μεταξύ *N*-ακετυλογλυκοζαμίνης και *N*-ακετυλομουραμικού οξέος, εξασθενίζοντας το κυτταρικό τοίχωμα, οπότε έχουμε λύση του κυττάρου εξ' αιτίας εισαγωγής νερού στο κύτταρο.
- Σε υψηλή ωσμωτική ισχύ, η κατεργασία με λυσοζύμη οδηγεί στην δημιουργία **πρωτοπλαστών**.
- Οι **σφαιροπλάστες** φέρουν ορισμένα υπόλοιπα του πολύπλοκου Gram (-) κυτταρικού τοιχώματος.



(α)



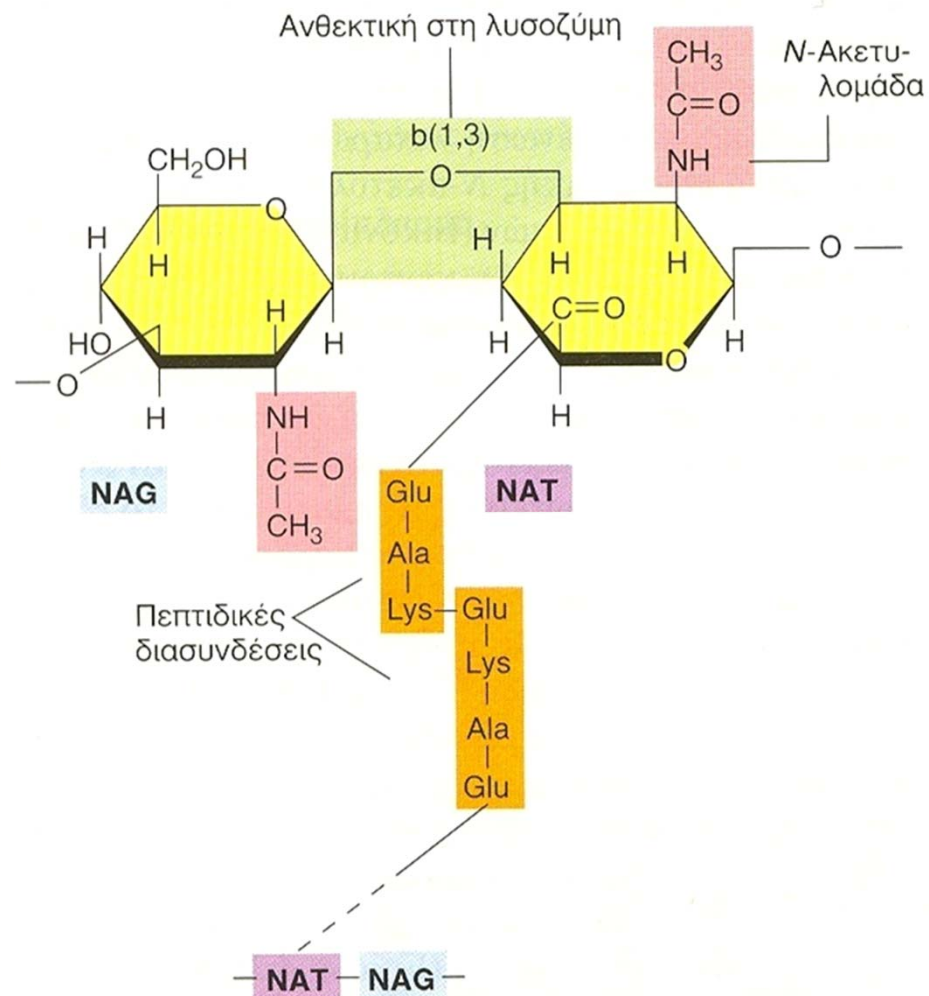
(β)

Σχ.39. Πρωτοπλάστες (α) σε αραιό διάλυμα, και (β) σε ισοτονικό διάλυμα σακχαρόζης.

- Αν και η πλειοψηφία των προκαρυωτών αδυνατεί να επιβιώσει απουσία κυτταρικού τοιχώματος, μερικοί προκαρυώτες δεν έχουν τοίχωμα (π.χ. μυκοπλάσματα).
- Αυτοί επιβιώνουν είτε γιατί διαθέτουν ισχυρές μεμβράνες, είτε γιατί ζουν σε ωσμωτικώς προστατευμένα ενδιαιτήματα.
- Ορισμένα μυκοπλάσματα περιέχουν στις κυτταρικές μεμβράνες τους στερόλες, οι οποίες προσδίδουν ισχύ και ακαμψία.

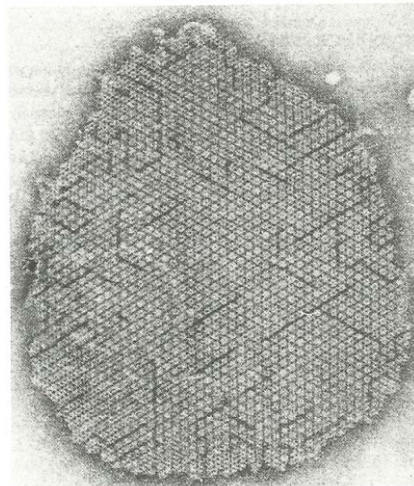
Κυτταρικά τοιχώματα των αρχαίων

- Σε μερικά είδη αρχαίων το κυτταρικό τοίχωμα αποτελείται όχι από πεπτιδογλυκάνη, αλλά από έναν παρόμοιο πολυσακχαρίτη, την ψευδοπεπτιδογλυκάνη (έχει *N*-ακετυλοταλοζαμινουρονικό οξύ αντί *N*-ακετυλομουραμικό οξύ).



Σχ.40. Δομή ψευδομουρείνης.

- Οι γλυκοζιτικοί δεσμοί της ψευδοπεπτιδογλυκάνης είναι β -1,3 και όχι β -1,4.
- Επίσης, τα αμινοξέα των πεπτιδικών διασυνδέσεων είναι *L*-στερεοϊσομερή.
- Σε άλλα είδη αρχαίων, τα κυτταρικά τοιχώματα αποτελούνται από πολυσακχαρίτες, γλυκοπρωτεΐνες ή πρωτεΐνες, αντί πεπτιδογλυκάνης και ψευδοπεπτιδογλυκάνης.
- Συνήθης τύπος κυτταρικού τοιχώματος μεταξύ των αρχαίων είναι η παρακρυσταλλική επιφανειακή στοιβάδα (στοιβάδα S) που αποτελείται από μόρια πρωτεΐνης ή γλυκοπρωτεΐνης.
- Τα αρχαία, επειδή δεν περιέχουν πεπτιδογλυκάνη, εμφανίζουν ανθεκτικότητα έναντι λυσοζύμης και πενικιλίνης (εμποδίζει τη σύνθεση της πεπτιδογλυκάνης).



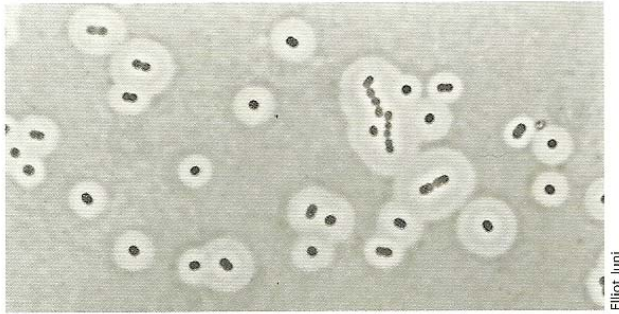
Σχ.41. Η στοιβάδα S.

Άλλες δομές κυτταρικής επιφάνειας και κυτταρικά έγκλειστα

Κάψες και βλεννοστοιβάδες

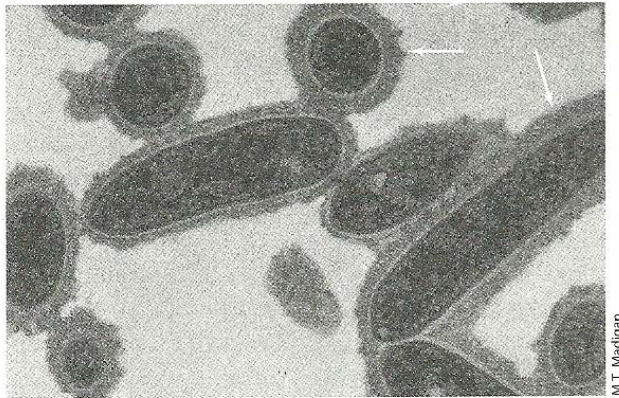
- Πολλοί προκαρυωτικοί μικροοργανισμοί εκκρίνουν στις επιφάνειές τους βλεννώδη ή κολλώδη υλικά.
- Πολλές από αυτές τις δομές αποτελούνται από πολυσακχαρίτες και πρωτεΐνες.
- Οι όροι **κάψα** και **βλεννοστοιβάδα** χρησιμοποιούνται για την περιγραφή στοιβάδων πολυσακχαριτών.
- Αν η στοιβάδα είναι οργανωμένη σαν ένα στεγανό υλικό που αποκλείει τη δίοδο μικρών σωματιδίων (π.χ. ινδικής μελάνης), τότε ονομάζεται **κάψα**.
- Η συγκεκριμένη δομή είναι εύκολα ορατή με το οπτικό μικροσκόπιο μετά από επώαση των κυττάρων με ινδική μελάνη.
- Αν η στοιβάδα είναι πιο χαλαρή, περισσότερο δυσδιάκριτη και αδυνατεί να αποκλείσει τη δίοδο μικρών σωματιδίων, τότε ονομάζεται **βλεννοστοιβάδα**.

- Οι στοιβάδες της εξωτερικής επιφάνειας εξυπηρετούν διάφορες λειτουργίες:
 - βοηθούν στην προσκόλληση των μικροοργανισμών σε στερεές επιφάνειες,
 - δημιουργία βιοϋμενίων (biofilms),
 - συντελούν στην μολυσματικότητα, π.χ. ο *Bacillus anthracis* (αιτιολογικός παράγοντας της ασθένειας του άνθρακα) και ο *Streptococcus pneumoniae* (αιτιολογικός παράγοντας της βακτηριακής πνευμονίας) δημιουργούν εξωτερικά κάψα πρωτεϊνικής ή πολυσακχαριτικής φύσης, αντίστοιχα,
 - προστασία έναντι κυττάρων του ανοσοποιητικού συστήματος του ξενιστή,
 - προστασία έναντι ξηρασίας.



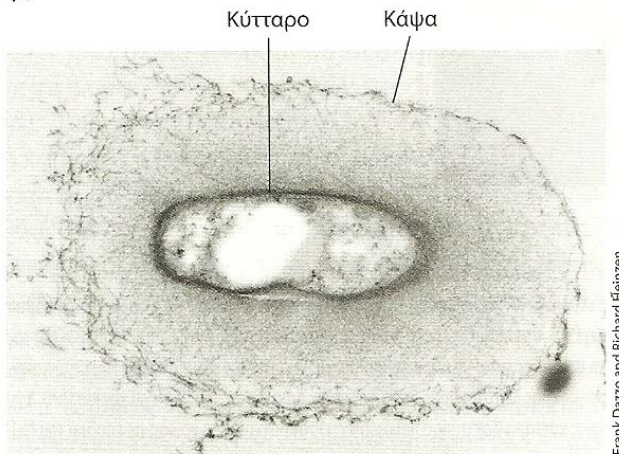
Elliot Juni

(α)



M.T. Madigan

(β)



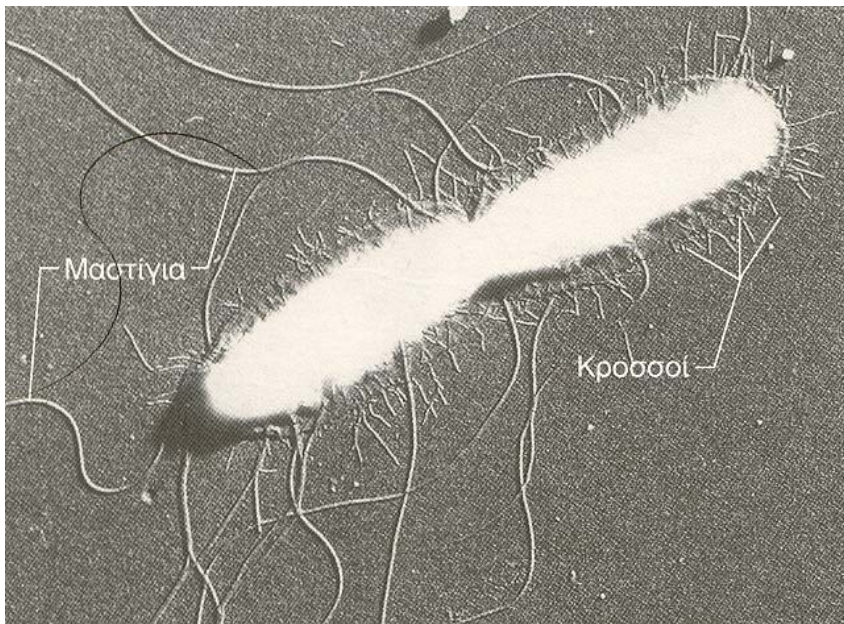
Frank Dazzo and Richard Feinzen

(γ)

Σχ.42. Βακτηριακές κάψες. (α) *Acinetobacter* (φωτογραφία από μικροσκόπιο αντίθεσης φάσεων μετά από χρώση με ινδική μελάνη). (β) *Rhodobacter capsulatus* (TEM). (γ) *Rhizobium trifolii* (SEM μετά από χρώση με ερυθρό του ρουθηνίου).

Κροσσοί και τριχίδια

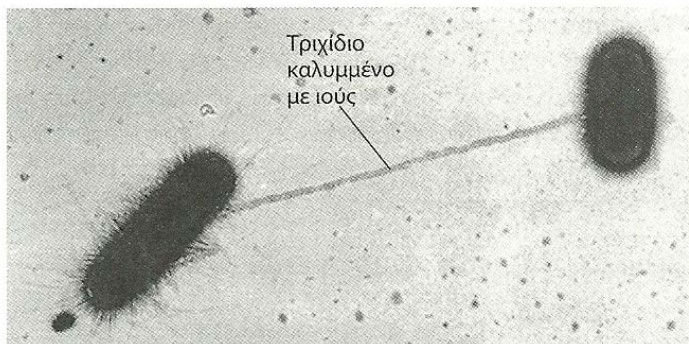
- Είναι νηματοειδείς πρωτεΐνες που εξέρχουν από την επιφάνεια του κυττάρου.
- Οι **κροσσοί** επιτρέπουν στα κύτταρα να προσκολλώνται σε διάφορες επιφάνειες (ζωικούς ιστούς, δημιουργία υμενίων, κλπ).
- Οι κροσσοί συμβάλλουν στην παθογονικότητα σημαντικών παθογόνων.



Σχ.43. Διαιρούμενο κύτταρο *Salmonella typhi* που εμφανίζει μαστίγια και κροσσούς.

- Τα **τριχίδια** έχουν παραπλήσια δομή με τους κροσσούς, αλλά είναι μακρύτερα και υπάρχουν σε ελάχιστους αριθμούς (συντά μόνο 1 ανά κύτταρο).
- Συμμετέχουν μάλλον σε μηχανισμούς βακτηριακής σύζευξης και σε διαδικασίες προσκόλλησης παθογόνων σε ζωικούς ιστούς.
- Λειτουργούν ως υποδοχείς για ορισμένους τύπους ιών.
- Διακρίνονται με βάση τη δομή και τη λειτουργία τους.
- Σημαντικές λειτουργίες είναι:

1) Διευκολύνουν την ανταλλαγή γενετικού υλικού μεταξύ των κυττάρων (σύζευξη), και



Σχ.44. Τριχίδια κυττάρου *E. coli* που υφίσταται σύζευξη. Στο συζευκτικό τριχίδιο παρατηρείται προσκόλληση ιών.

2) επιτρέπουν την προσκόλληση παθογόνων σε ειδικούς ιστούς των ξενιστών.

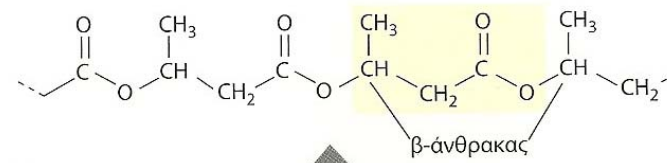
- Τα **τριχίδια τύπου IV** βοηθούν στην προσκόλληση των κυττάρων, επιτρέποντας μια ασυνήθιστη μορφή κυτταρικής κινητικότητας (**σπασμωδική αυτοκινησία**).
- Εμφανίζονται μόνο στους πόλους ραβδόμορφων βακτηρίων.
- Η σπασμωδική αυτοκινησία είναι μια μορφή ολισθητικής κινητικότητας, κατά την οποία το κύτταρο προωθείται κατά μήκος της στερεάς επιφάνειας με διαδοχικές κινήσεις (τροφοδοτούνται με ATP).
- Είναι βασικοί παράγοντες αποικισμού σε είδη *Pseudomonas*, *Moraxella*, *Vibrio cholerae* και *Neisseria gonorrhoeae*.
- Θεωρείται, επίσης, ότι διευκολύνουν τη μεταβίβαση γενετικού υλικού σε ορισμένα βακτήρια μέσω μετασχηματισμού.

Κυτταρικά έγκλειστα

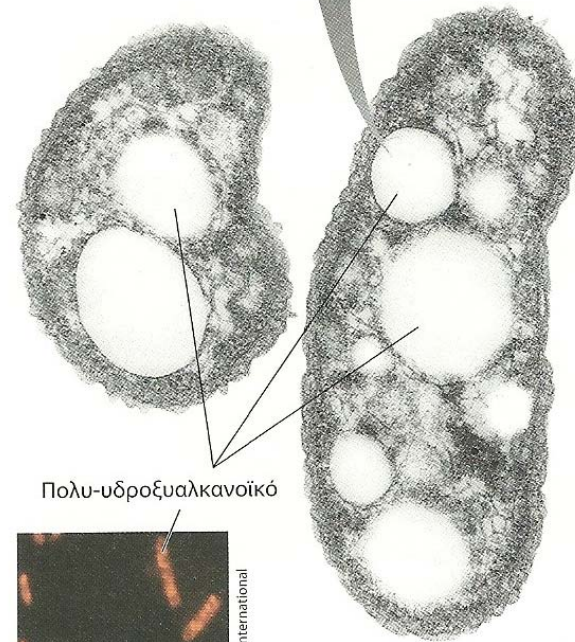
- Συχνά στο εσωτερικό των κυττάρων παρατηρούνται κοκκία και άλλα έγκλειστα που λειτουργούν ως αποθήκες ενέργειας, άνθρακα ή δομικών μονάδων.
- Τα περισσότερα κυτταρικά έγκλειστα περιβάλλονται από μονή μεμβράνη λιπιδίων, που διαχωρίζει το έγκλειστο από το κυτταρόπλασμα.

Αποθηκευτικά πολυμερή άνθρακα

- Ένας από τους συνηθέστερους τύπους έγκλειστων των προκαρυωτικών μικροοργανισμών είναι αυτός που περιέχει **πολυ-β-υδροξυβουτυρικό οξύ (PHB)**.
- Τα μονομερή των πολυμερών ενδέχεται να διαφέρουν σημαντικά σε μέγεθος, C_3-C_{18} .
- Για τη συνολική περιγραφή της ομάδας αποθηκευτικών πολυμερών χρησιμοποιείται ο όρος **πολυ-β-υδροξυαλκανοϊκά (PHA)**.
- Άλλο αποθηκευτικό πολυμερές των προκαρυωτών είναι το **γλυκογόνο**.



(α)



Πολυ-υδροξυαλκανοϊκό



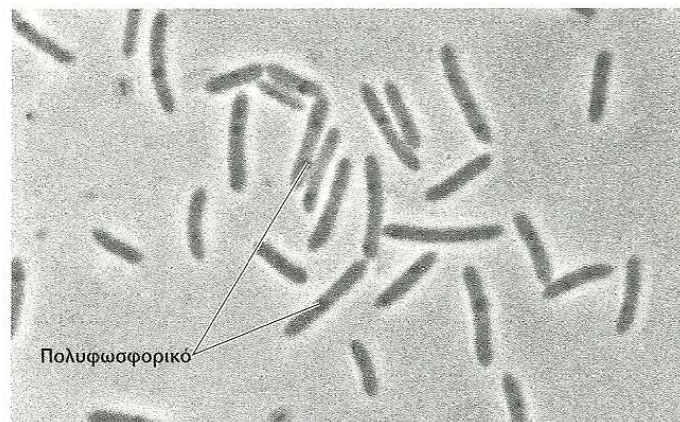
(β)

F. R. Turner and M. T. Madigan

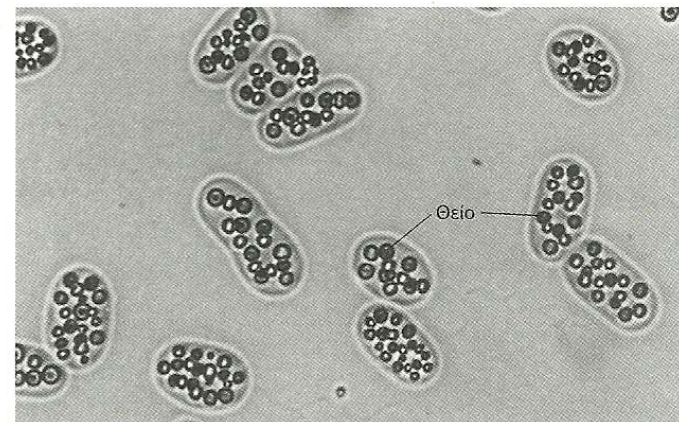
Σχ.45. Πολυ-β-υδροξυβουτυρικό οξύ. (α) Χημική δομή πολυ-β-υδροξυβουτυρικού οξέος. (β) Ηλεκτρονικό μικρογράφημα βακτηρίου με κοκκία PHB. Έγχρωμη φωτογραφία: κύτταρα βακτηρίου που περιέχει PHA ύστερα από χρώση με ερυθρό του Νείλου.

Πολυφωσφορικά, θειούχα και ανθρακικά ανόργανα άλατα

- Πολλοί μικροοργανισμοί συσσωρεύουν μεγάλες ποσότητες ανόργανων φωσφορικών υπό μορφή κοκκίων **πολυφωσφορικού**.
- Τα κοκκία μπορούν να αποικοδομηθούν για τη βιοσύνθεση νουκλεϊκών οξέων, φωσφολιπιδίων ή για τη σύνθεση ATP.
- Πολλοί Gram (-) προκαρυώτες οξειδώνουν ανηγμένες ενώσεις θείου (H_2S), παράγοντας στοιχειακό S, που συσσωρεύεται στο κύτταρο με τη μορφή κοκκίων.



(α)



(β)

Σχ.46. Πολυφωσφορικά και προϊόντα αποθήκευσης θείου. (α) Κύτταρα *Heliobacterium modesticaldum* (μικροσκοπία αντίθεσης φάσεων), όπου είναι εμφανή τα πολυφωσφορικά (σκοτεινά κοκκία). (β) Κύτταρα πορφυρού θειοβακτηρίου *Isochromatium buderi* (μικροσκοπία φωτεινού πεδίου), όπου είναι εμφανή κοκκία θείου από οξείδωση H_2S .

- Τα κοκκία θείου υφίστανται όσο είναι παρούσα η αναγωγική πηγή θείου.
- Όταν αυτή περιορίζεται, τα μόρια θείου οξειδώνονται προς SO_4^- .
- Τα κοκκία θείου βρίσκονται στο περίπλασμα.
- Νηματοιδή κυανοβακτήρια σχηματίζουν και εναποθέτουν ανθρακικά άλατα στην εξωτερική επιφάνεια των κυττάρων τους ή στο εσωτερικό τους (π.χ. το μονοκύτταρο *Gleomargarita*).
- Η διεργασία αυτή είναι γνωστή ως **βιοορυκτοποίηση**.

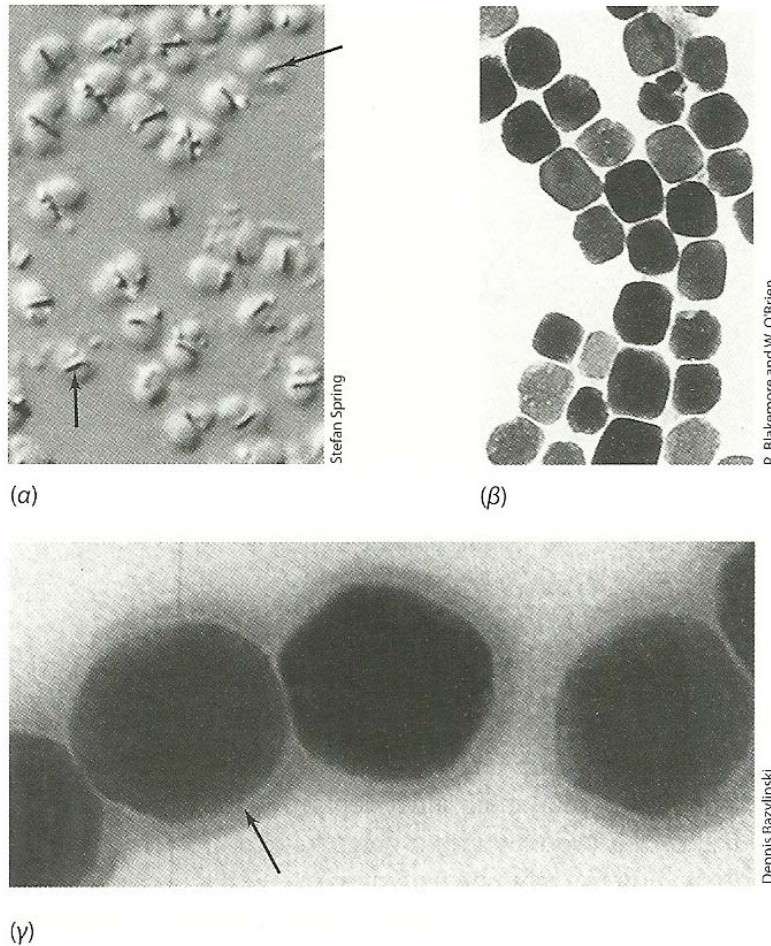


Σχ.47. Βιοορυκτοποίηση. Ηλεκτρονικό μικρογράφημα κυττάρου κυανοβακτηρίου *Gleomargarita*, που περιέχει κοκκία του ορυκτού βενστονίτη $[(\text{Ba}, \text{Sr}, \text{Ca})_6\text{Mg}(\text{CO}_3)_{13}]$.

Μαγνητικά αποθηκευτικά έγκλειστα: μαγνητοσώματα

- Πρόκειται για ενδοκυτταρικά κρυσταλλικά σωματίδια που περιέχουν Fe_3O_4 .
- Σε κάποιες περιπτώσεις σχηματίζεται Fe_3S_4 .
- Δημιουργούν στο κύτταρο ένα μόνιμο μαγνητικό δίπολο, που του επιτρέπει να ανταποκρίνεται σε μαγνητικό πεδίο.
- Τα βακτήρια που παράγουν μαγνητοσώματα προσανατολίζουν την κίνησή τους προς την κατεύθυνση των γραμμών του γεωμαγνητικού πεδίου (μαγνητοτακτισμός).
- Μαγνητοσώματα έχουν παρατηρηθεί σε πολλά, υδρόβια κυρίως, βακτήρια, συχνά μικροαερόφιλα και φαίνεται ότι ρόλος τους είναι να κατευθύνουν τα υδρόβια κύτταρα προς περιβάλλοντα με χαμηλότερα επίπεδα O_2 .
- Τα μαγνητοσώματα περιβάλλει μεμβράνη (μονοστοιβάδα) από φωσφολιπίδια, πρωτεΐνες και γλυκοπρωτεΐνες.

- Οι πρωτεΐνες καταλύουν την καθήλωση ιόντων Fe^{3+} .
- Δεν έχουν βρεθεί σε αρχαία.



Σχ.48. Μαγνητοτακτικά βακτήρια και μαγνητοσώματα. (α) Κοκκοειδή μαγνητοτακτικά βακτήρια. (β) Μαγνητοσώματα που έχουν απομονωθεί από το βακτήριο *Magnetospirillum magnetotacticum*. (γ) Μαγνητοσώματα κοκκοειδούς μαγνητικού βακτηρίου.

Αεροκυστίδια

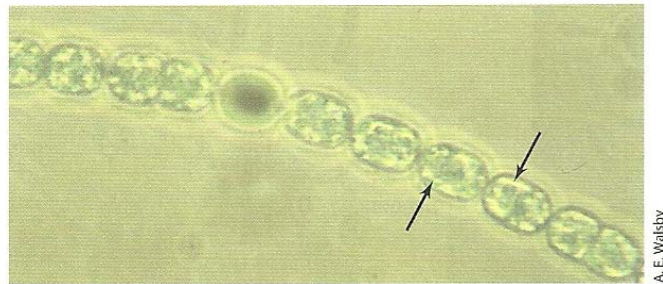
- Αρκετοί προκαρυώτες που ζουν ως επιπλέοντες σε λίμνες και στη θάλασσα παράγουν **αεροκυστίδια**, τα οποία προσφέρουν στα κύτταρα άνωση.
- Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι τα κυανοβακτήρια που σχηματίζουν μαζικές συναθροίσεις (ανθίσεις).
- Έχουν βρεθεί σε βακτήρια και σε αρχαία, αλλά όχι σε ευκαρυώτες.



T. D. Brock

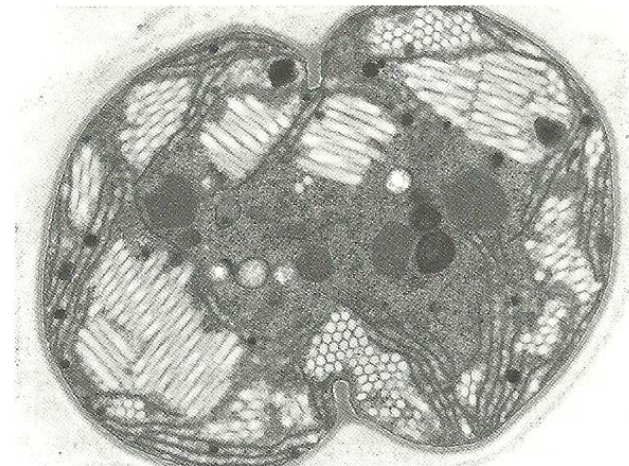
Σχ.49. Ανθίσεις κυανοβακτηρίων που επιπλέουν στη λίμνη Mendota (Madison, Wisconsin, ΗΠΑ).

- Τα αεροκυστίδια είναι ατρακτοειδείς πρωτεϊνικές δομές, κοίλες και δύσκαμπτες, που ποικίλουν σε μήκος και διάμετρο.
- Κυμαίνονται σε μήκος 300-1000nm και πλάτος 45-120nm.
- Για συγκεκριμένο είδος, όμως, έχουν σταθερό μέγεθος.
- Απαντούν στο κυτταρόπλασμα, η μεμβράνη τους αποτελείται αποκλειστικά από πρωτεΐνες και είναι στεγανή στο νερό και σε διαλυμένες ουσίες, αλλά διαπερατή σε αέρια.



(α)

A. E. Walsby

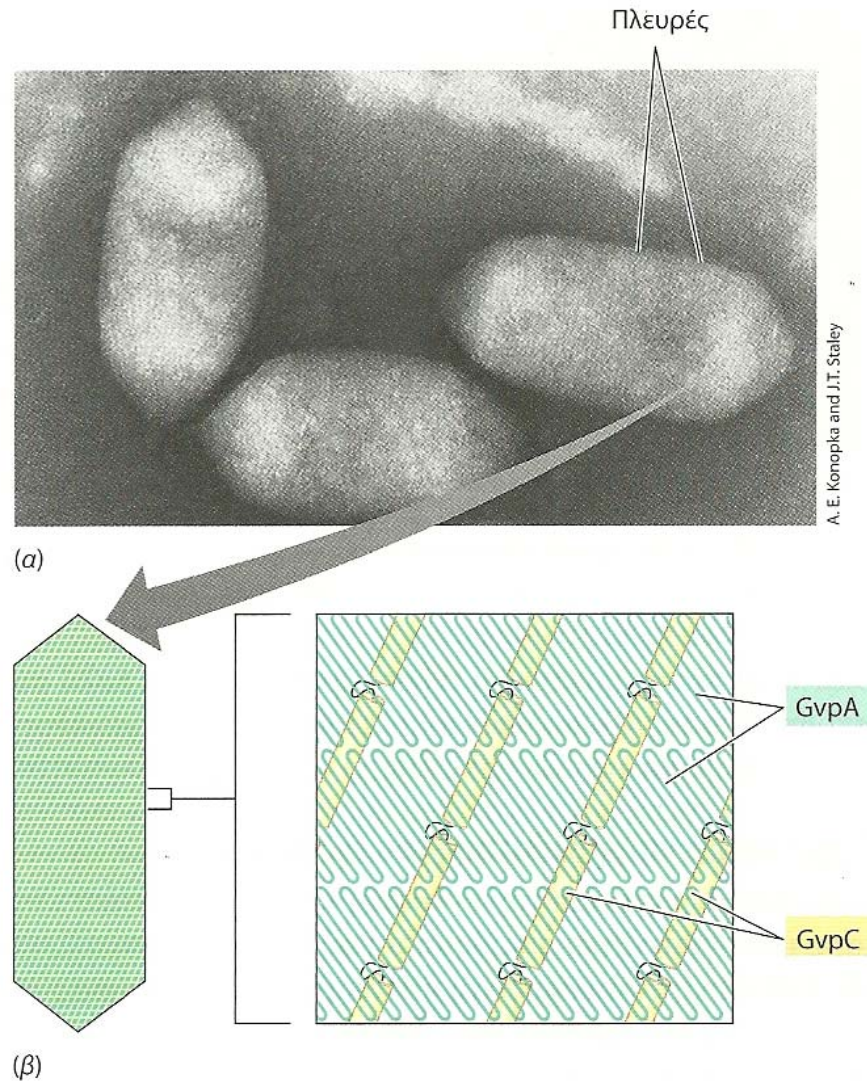


(β)

S. Pellegrini and M. Grilli-Caiola

Σχ.50. Αεροκυστίδια των κυανοβακτηρίων (α) *Anabaena* και (β) *Microcystis*.

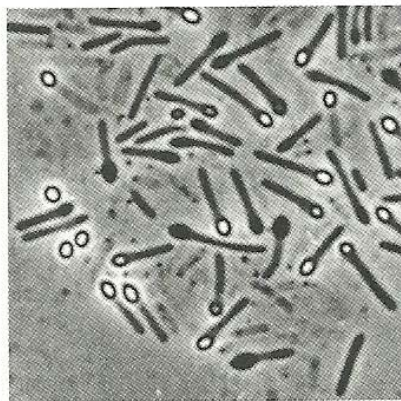
- Περιέχουν 2 μόνο τύπους πρωτεϊνών:
 1. Την GnrA, που είναι μια μικρή, εξαιρετικά υδρόφοβη και πολύ δύσκαμπτη πρωτεΐνη (κύρια πρωτεΐνη, αποτελεί το 97% της ολικής ποσότητας πρωτεϊνών του αεροκυστιδίου), και
 2. Την GnrC, που απαντά σε μικρότερες ποσότητες και λειτουργία της είναι να ενισχύει τη μεμβρανική δομή του αεροκυστιδίου.
- Τα αεροκυστίδια είναι δομημένα από πολλαπλά αντίτυπα της GnrA υπό μορφή παράλληλων «πλευρών», οι οποίες σχηματίζουν μια στεγανή επιφάνεια.
- Οι πλευρές της GnrA ενισχύονται με την GnrC (δρα ως διασυνδέτης).
- Καθώς η μεμβράνη του αεροκυστιδίου είναι πλήρως διαπερατή στα αέρια, η σύνθεση και πίεση των αερίων στο εσωτερικού του αεροκυστιδίου θα είναι ίδια με τη σύνθεση και πίεση των αερίων του περιβάλλοντος.
- Η πυκνότητα του αεροκυστιδίου ισοδυναμεί με το 10% της πυκνότητας του κυττάρου, αυξάνοντας την άνωση.



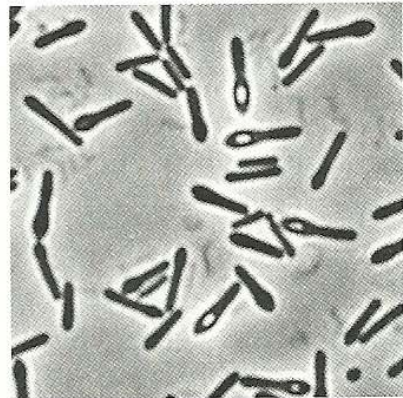
Σχ.51. Αρχιτεκτονική αεροκυστιδίου. (α) Αεροκυστίδια βακτηρίου *Ancylobacter aquaticus*. (β) Μοντέλο αλληλεπίδρασης των πρωτεϊνών GvpA και GvpC κατά τον σχηματισμό του αεροκυστιδίου.

Ενδοσπόρια

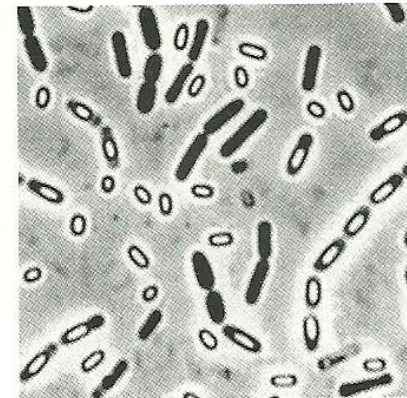
- Ορισμένα Gram (+) βακτήρια παράγουν ειδικές ενδοκυτταρικές δομές, τα **ενδοσπόρια**.
- Τα ενδοσπόρια είναι διαφοροποιημένα κύτταρα, με ιδιαίτερη αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες και ανθεκτικότητα έναντι πολλών ισχυρών χημικών αντιδραστηρίων που καταστρέφουν τα συνήθη κύτταρα.
- Είναι, επίσης, ανθεκτικά σε σειρά επιβλαβών παραγόντων, όπως ξήρανση, ακτινοβοληση, οξέα, χημικά απολυμαντικά, ενώ μπορούν να επιβιώσουν σε λανθάνουσα φάση για εξαιρετικά μεγάλα χρονικά διαστήματα.



(α) Τερματικά ενδοσπόρια



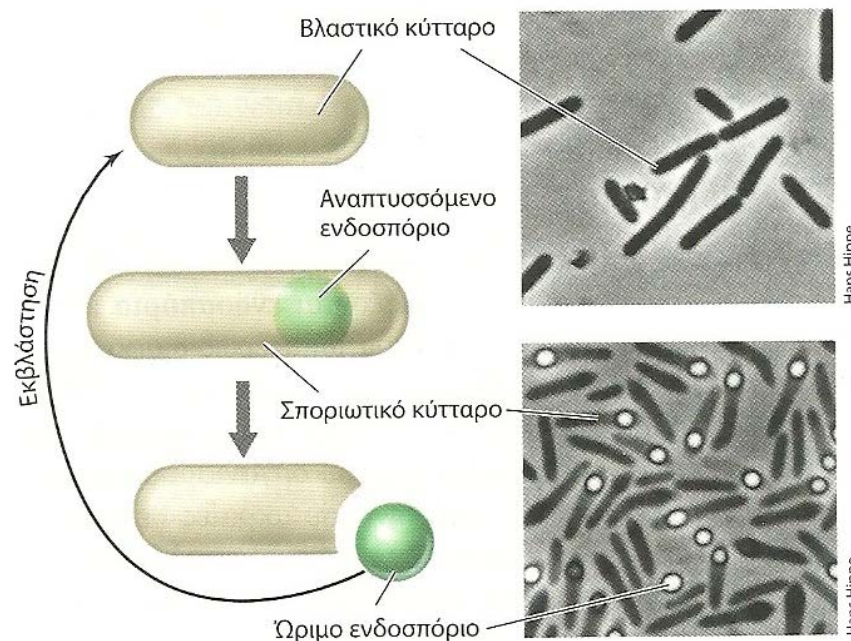
(β) Υποτερματικά ενδοσπόρια



(γ) Κεντρικά ενδοσπόρια

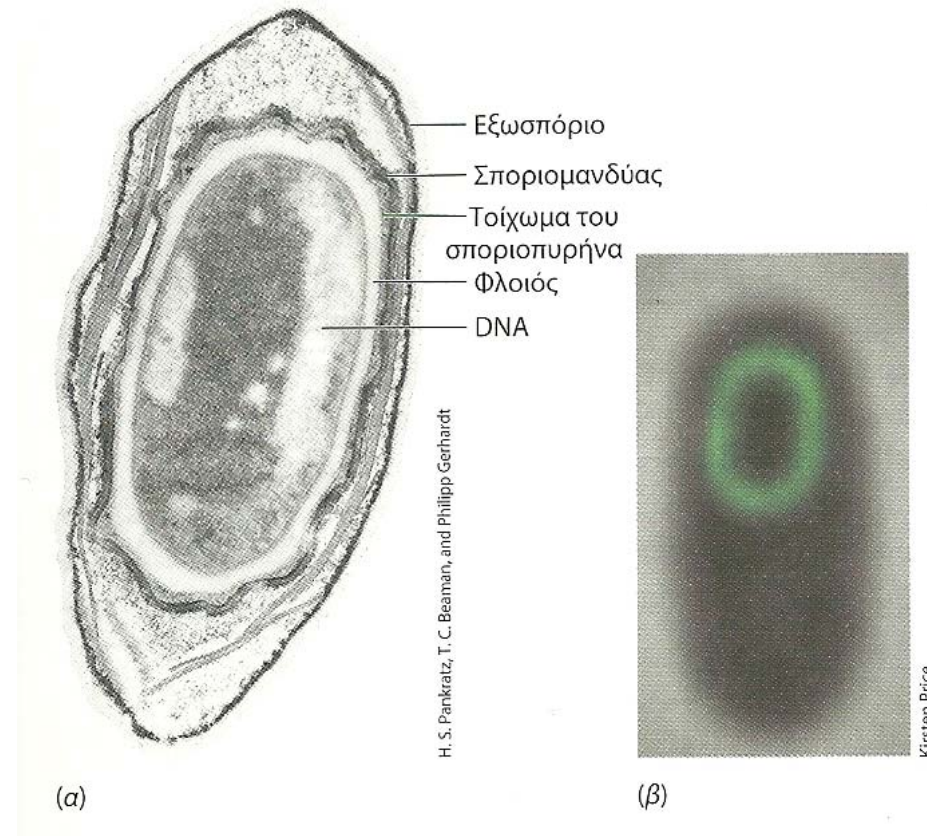
Σχ.52. Το βακτηριακό ενδοσπόριο. Στη μικροσκοπία αντίθεσης φάσεων εμφανίζονται φωτεινά.

- Βακτήρια που σχηματίζουν ενδοσπόρια απαντούν πολύ συχνά στο έδαφος.
- Σπόρια σχηματίζουν και άλλοι μικροοργανισμοί, το βακτηριακό ενδοσπόριο όμως, παρουσιάζει μοναδική θερμοαντοχή.
- Το σπόριο είναι δομικά πολυπλοκότερο, καθώς διαθέτει πολλές στοιβάδες που απουσιάζουν από το βλαστικό κύτταρο.



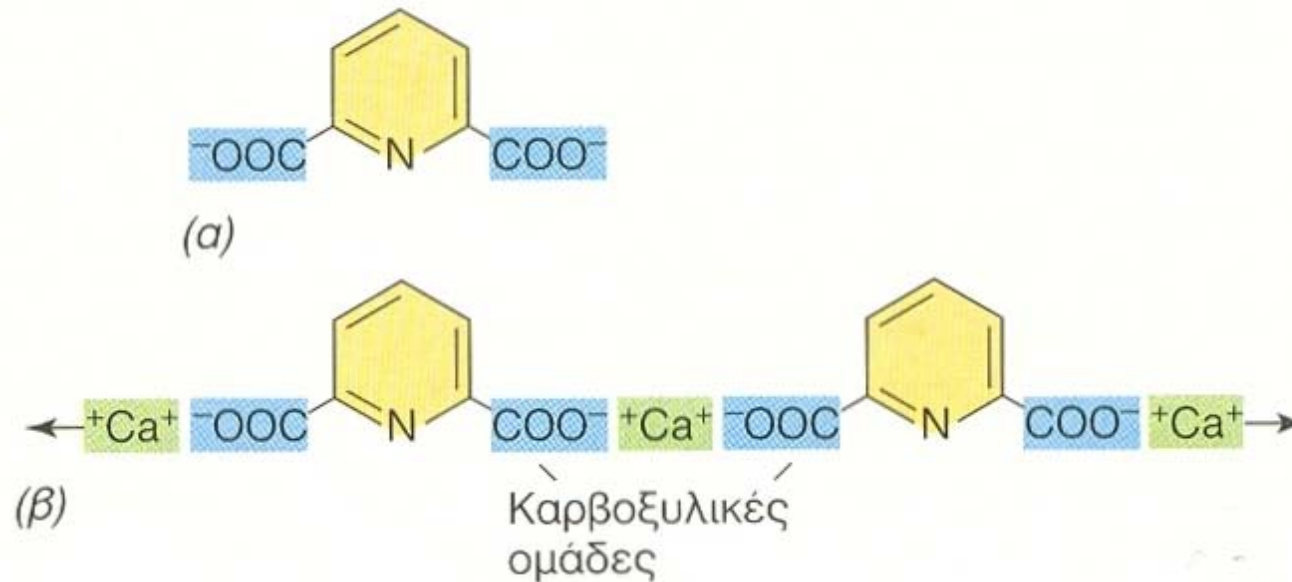
Σχ.53. Ο κύκλος ζωής βακτηρίου (*Clostridium pascui*) που σχηματίζει ενδοσπόρια.
Μικροφωτογραφίες κυττάρων *Clostridium pascui*.

- Η εξωτερική στοιβάδα αποτελείται από το **εξωσπόριο**, που είναι ένα λεπτό, εύθραυστο, πρωτεϊνικό κάλυμα.
- Το εξωσπόριο περικλείει τους **σποριομανδύες**, που αποτελούνται από στοιβάδες ειδικών πρωτεϊνών.



Σχ.54. Δομή βακτηριακού ενδοσπορίου. (α) Ηλεκτρονικό μικρογράφημα ενδοσπορίου *Bacillus megaterium*. (β) Μικροφωτογραφία κυττάρου *Bacillus subtilis* που βρίσκεται σε διαδικασία σπορίωσης. 72

- Κάτω από τον σποριομανδύα είναι ο **φλοιός**, που αποτελείται από χαλαρά διασυνδεδεμένη πεπτιδογλυκάνη.
- Εσωτερικότερα βρίσκεται ο **σποριοπυρήνας** ή **πρωτοπλάστης σπορίου**, που περιέχει το σύνηθες κυτταρικό τοίχωμα, κυτταροπλασματική μεμβράνη, κυτταρόπλασμα, κλπ.
- Μια χημική ουσία χαρακτηριστική των ενδοσπορίων, η οποία απουσιάζει από τα βλαστικά κύτταρα, είναι το **διπικολινικό οξύ**.

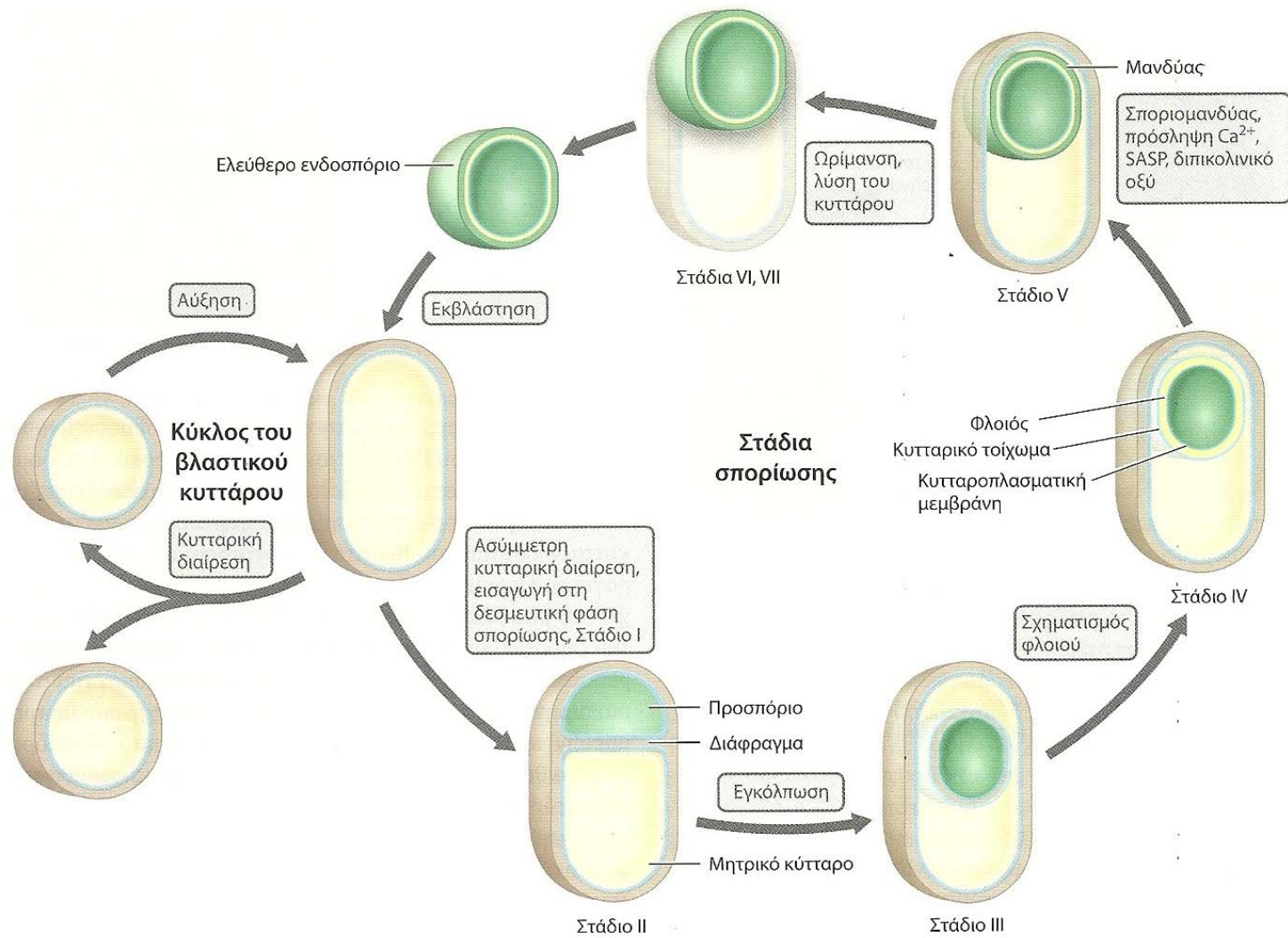


Σχ.55. Διπικολινικό οξύ (DPA): (α) Δομή, (β) Τρόπος διασύνδεσης Ca^{2+} και μορίων DPA για τον σχηματισμό του συμπλόκου.

- Βρίσκεται σε όλα τα ενδοσπόρια και εντοπίζεται στον σποριοπυρήνα.
- Τα σπόρια περιέχουν επίσης υψηλές συγκεντρώσεις ασβεστίου, το οποίο είναι συνδεδεμένο, κατά το μεγαλύτερο μέρος του, με το διπικολινικό οξύ.
- Περίπου το 10% του ξηρού βάρους του ενδοσπορίου αντιστοιχεί στο σύμπλοκο ασβεστίου-διπικολινικού οξέος.
- Ο λειτουργικός ρόλος του συμπλόκου διπικολινικού οξέος – Ca^{2+} είναι η δέσμευση νερού, συμβάλλοντας στην αφυδάτωση.
- Επιπλέον, τα σύμπλοκα διεισδύουν στις βάσεις DNA, σταθεροποιώντας τη δομή του.
- Ο σποριοπυρήνας του ώριμου σπορίου διαφέρει σημαντικά από το βλαστικό κύτταρο.
- Εκτός από το άφθονο διπικολινικό οξύ, βρίσκεται σε μερικώς αφυδατωμένη κατάσταση (περιέχει μόλις το 10-30% του νερού του βλαστικού κυττάρου).

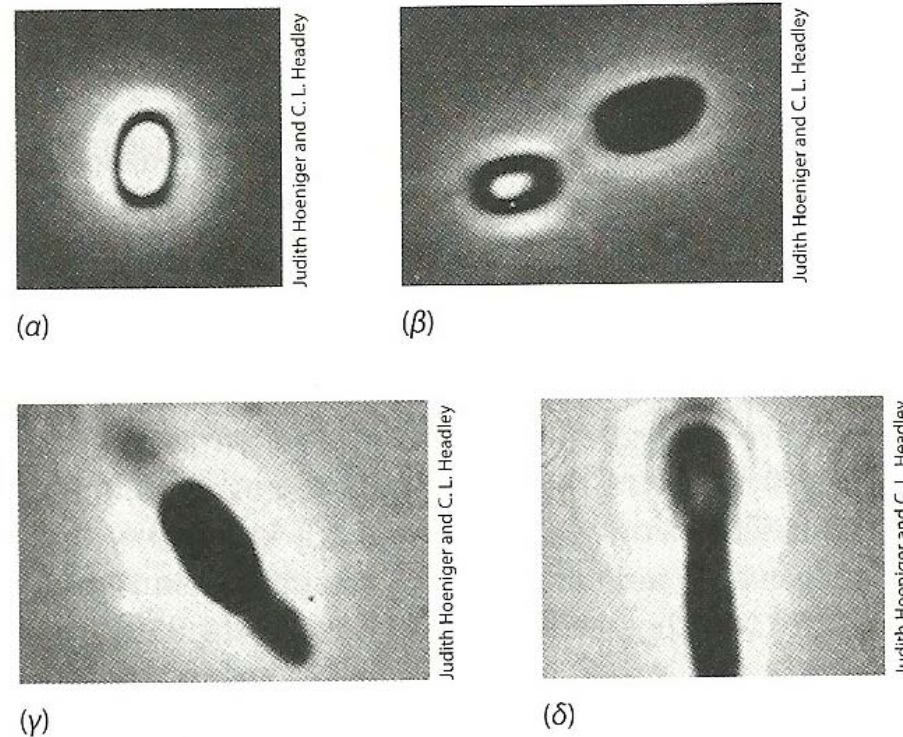
- Η αφυδάτωση του σποριοπυρήνα αυξάνει σημαντικά τη θερμοανθεκτικότητα του ενδοσπορίου και του προσδίδει αντοχή έναντι χημικών παραγόντων, όπως το H_2O_2 , ενώ απενεργοποιεί τα ένζυμα.
- Επιπλέον, το pH του κυτταροπλάσματος του σποριοπυρήνα είναι 1 μονάδα περίπου χαμηλότερο από το pH του βλαστικού κυττάρου και περιέχει υψηλά επίπεδα ειδικών πρωτεϊνών, γνωστών ως **μικρές οξεοδιαλυτές σποριοπρωτεΐνες (SASP)**.
- Οι SASP συντίθενται κατά τη διάρκεια της σπορίωσης και έχουν 2 λειτουργίες:
 1. Προσδένονται ισχυρά στο DNA του σποριοπυρήνα και το προφυλάσσουν από πιθανές βλάβες οφειλόμενες σε υπεριώδη ακτινοβολία (μεταβάλλεται η δομή του DNA από την B στην πιο συμπαγή A μορφή), αφυδάτωση, και ξηρή θέρμανση, και
 2. Λειτουργούν ως πηγή άνθρακα και ενέργειας κατά την εκβλάστηση.

- Η σπορίωση περιλαμβάνει μια πολύπλοκη σειρά συμβάντων **κυτταρικής διαφοροποίησης**.
- Βακτηριακή σπορίωση δεν μπορεί να συμβεί κατά την εκθετική φάση των κυτταρικών διαιρέσεων, αλλά μόνο όταν η αύξηση ανασταλεί, λόγω της εξάντλησης μιας σημαντικής θρεπτικής ουσίας.
- Η διαδικασία μετατροπής του ενδοσπορίου σε βλαστικό κύτταρο περιλαμβάνει 3 διακριτά στάδια:
 1. **Ενεργοποίηση,**
 2. **Εκβλάστηση,** και
 3. **Αυξητική έκρηξη.**



Σχ.56. Στάδια σχηματισμού ενδοσπορίου.

- Η ενεργοποίηση μπορεί να επιτευχθεί με θέρμανση των ενδοσπορίων για μερικά min σε υψηλή, αλλά μη θανατογόνο θερμοκρασία.
- Κατά το στάδιο της εκβλάστησης, εξαντλούνται το διπικολινικό ασβέστιο και τα συστατικά του φλοιού, αποικοδομούνται οι SASP και παρατηρείται απώλεια αντοχής έναντι θέρμανσης και χημικών αντιδραστηρίων.

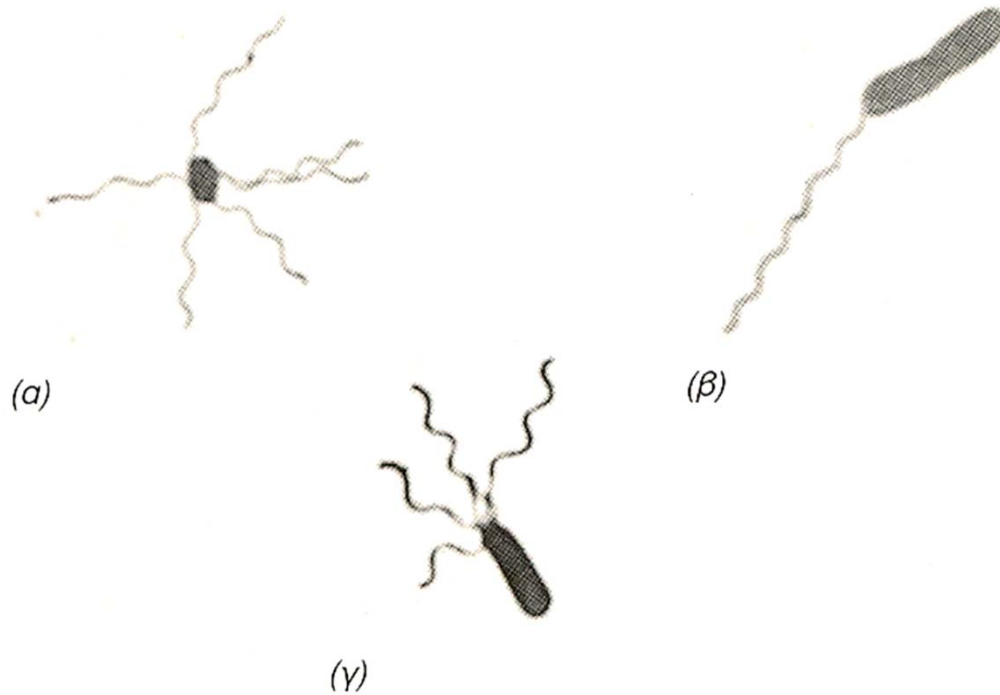


Σχ.57. Εκβλάστηση ενδοσπορίου (*Bacillus*).

- Το στάδιο της αυξητικής έκρηξης περιλαμβάνει τη διόγκωση λόγω πρόσληψης νερού και τη σύνθεση RNA, πρωτεϊνών και DNA.
- Η φυσιολογία των βακτηρίων που σχηματίζουν ενδοσπόρια ποικίλλει: υπάρχουν αναερόβια, αερόβια, φωτοτροφικά και χημειολιθοτροφικά.
- Η ενδοσπορίωση δεν εμφανίζεται καθόλου στα αρχαία, γεγονός που υποδηλώνει ότι αναπτύχθηκε μετά τον διαχωρισμό των δύο κύριων εξελικτικών γραμμών των προκαρυωτών.

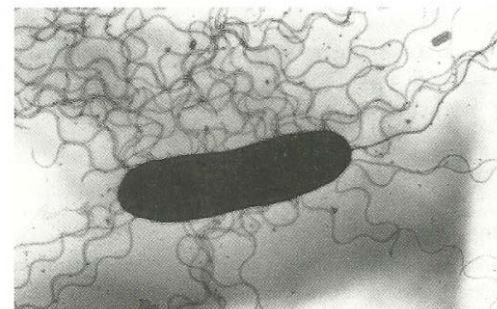
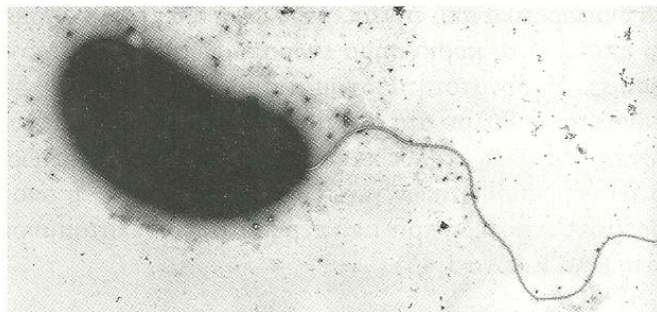
Μαστίγια και κίνηση

- Πολλοί προκαρυωτικοί μικροοργανισμοί έχουν την ικανότητα να μετακινούνται λόγω ειδικών δομών, των **μαστιγίων**.
- Τα μαστίγια είναι επιμήκεις, λεπτές προεκβολές, ελεύθερες στο ένα άκρο και ενωμένες με το κύτταρο στο άλλο.



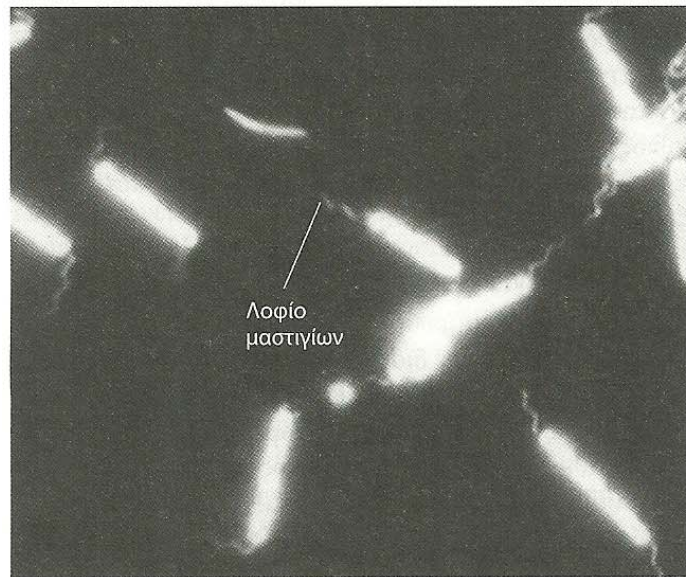
Σχ.58. Μικροφωτογραφίες βακτηρίων με διάφορες διατάξεις: (α) Περίτριχος τύπος, (β) Πολικός τύπος, και (γ) Λοφιότριχος τύπος.

- Στην περίπτωση της **περίτριχης μαστιγιοφορίας**, το κύτταρο φέρει μαστίγιο σε πολλές θέσεις.
- Στην περίπτωση της **πολικής μαστιγιοφορίας**, το κύτταρο φέρει μαστίγιο σε έναν ή και στους δύο πόλους του.
- Αν αντί ενός μαστιγίου στον έναν πόλο του κυττάρου αναπτυχθεί μια ομάδα μαστιγίων (λοφίο), τότε έχουμε τον **λοφιότριχο** τύπο.
- Όταν λοφία μαστιγίων εμφανίζονται και στους δυο πόλους ενός κυττάρου, τότε έχουμε την **αμφίτριχη** μαστιγιοφορία.

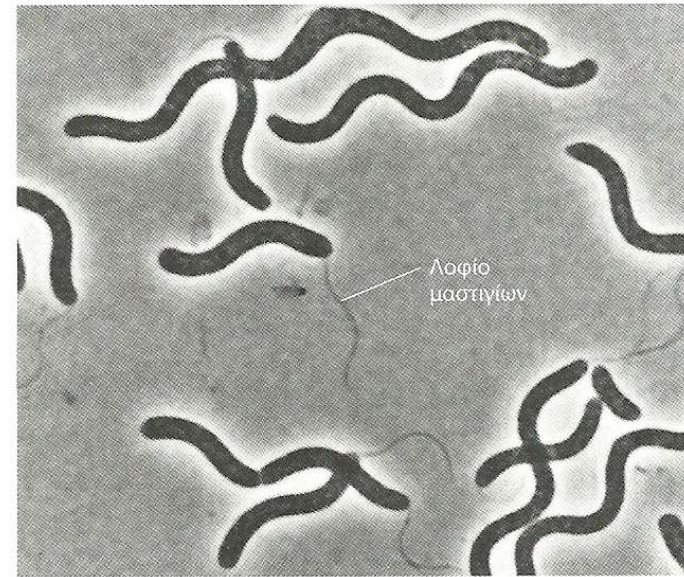


Σχ.59.Βακτηριακά μαστίγια (*Rhodospirillum rubrum*).

- Τα μαστίγια δεν είναι ευθύγραμμα, αλλά ελικοειδή και η απόσταση μεταξύ των ελίξεων είναι σταθερή και χαρακτηριστική για δεδομένο είδος.
- Το **νημάτιο** των βακτηριακών μαστιγίων αποτελείται από υπομονάδες μιας πρωτεΐνης (**μαστιγίνη**).



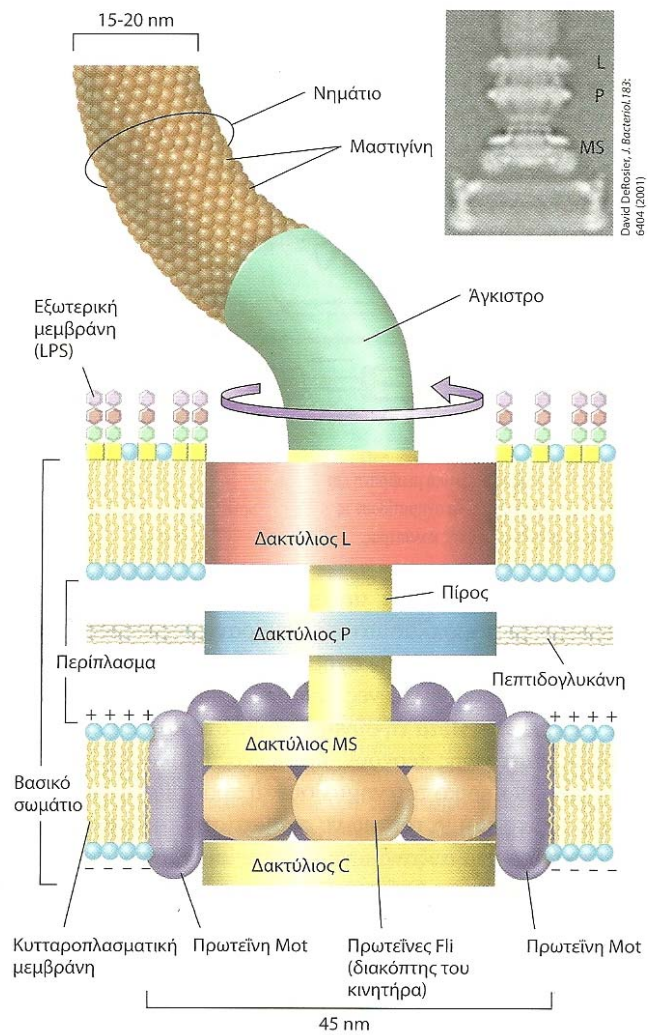
(α)



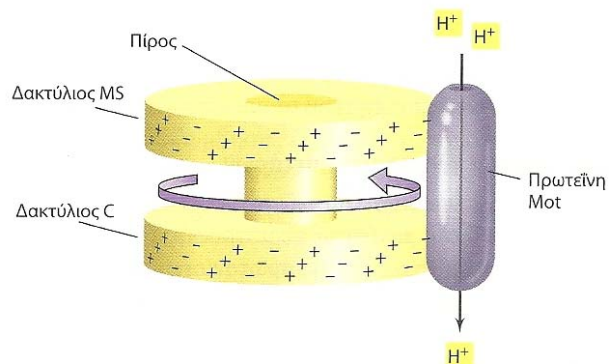
(β)

Σχ.60.Βακτηριακά μαστίγια σε ζωντανά κύτταρα. (α) Αμφίτριχη μαστιγιοφορία.
(β) *Rhodospirillum photometricum*.

- Στη βάση του μαστιγίου υπάρχει το **άγκιστρο** (αποτελείται από έναν τύπο πρωτεΐνης) που συνδέει το νημάτιο με τον **κινητήρα** του μαστιγίου.
- Ο κινητήρας είναι προσδεδμένος στην κυτταροπλασματική μεμβράνη και στο κυτταρικό τοίχωμα και αποτελείται από ένα κεντρικό ραβδίο («πύρρο») που διαπερνά ένα σύστημα δακτυλίων.
- Τα Gram (-) βακτήρια έχουν 2 εξωτερικούς δακτυλίους (L και P) προσδεδμένους στις στοιβάδες LPS και πεπτιδογλυκάνης και 2 εσωτερικούς (δακτύλιοι MS και C) που εντοπίζονται στην κυτταροπλασματική μεμβράνη και στο κυτταρόπλασμα.
- Στα Gram (+) βακτήρια, που δεν έχουν εξωτερική στοιβάδα, υπάρχουν μόνο 2 δακτύλιοι (στην πεπτιδογλυκάνη και στην κυτταροπλασματική μεμβράνη).
- Στην κυτταροπλασματική μεμβράνη υπάρχει επίσης ένα ζεύγος πρωτεϊνών (πρωτεΐνες Mot) που θέτουν σε κίνηση τον κινητήρα δημιουργώντας ροπή.
- Μια τελευταία σειρά πρωτεϊνών (πρωτεΐνες Fli) λειτουργούν ως διακόπτες του κινητήρα, αντιστρέφοντας την περιστροφή των μαστιγίων ως απόκριση σε συγκεκριμένα ενδοκυτταρικά σήματα.



(α)

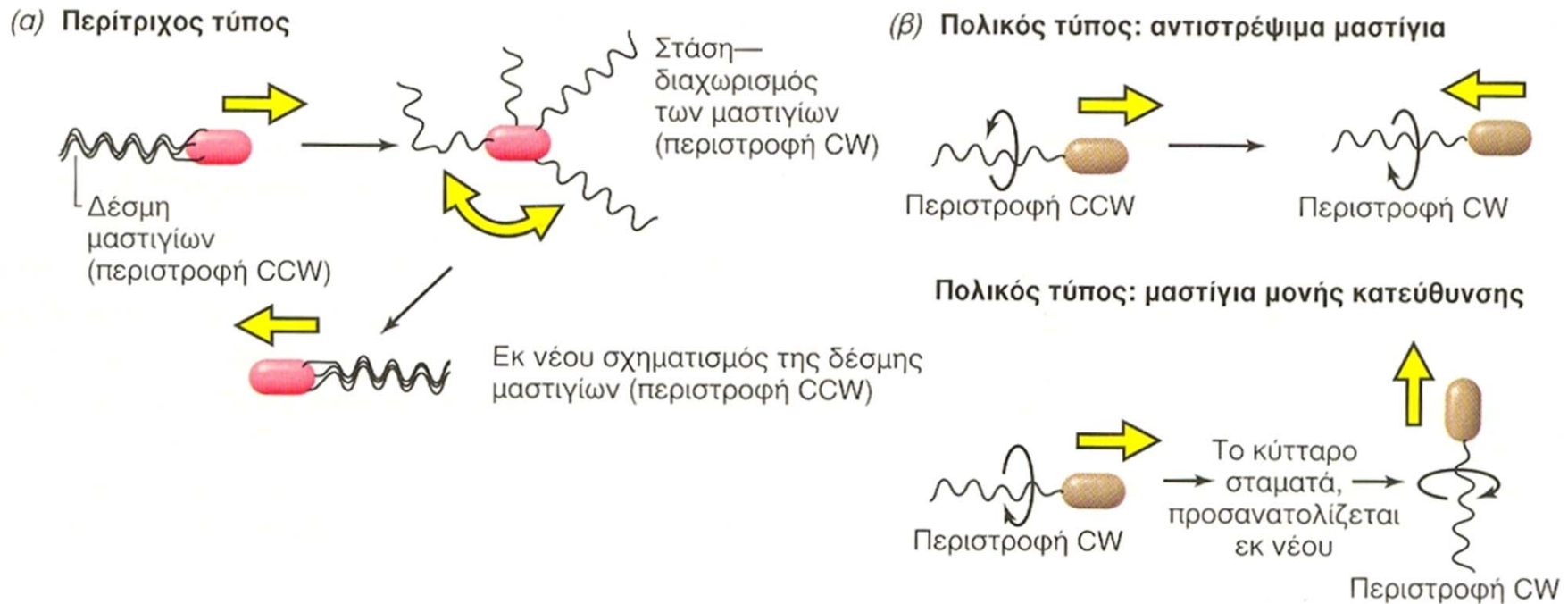


(β)

Σχ.61. Δομή προκαρυωτικού μαστιγίου και σύνδεσή του με το κυτταρικό τοίχωμα και τη μεμβράνη των Gram (-) βακτηρίων.

Κίνηση μαστιγίων

- Τα μαστίγια είναι άκαμπτες δομές που δεν ελίσσονται, αλλά περιστρέφονται, όπως μια προπέλα.



Σχ.62. Τρόπος μετακίνησης σε προκαρυώτες: (α) Με περίτριχη, και (β) πολική μαστιγιοφορία CW:clockwise, CCW: counterclockwise.

- Ο ρότορας αποτελείται από τους δακτυλίους L, P, C και MS (**βασικό σωματίο**), ενώ ο στάτορας από τις πρωτεΐνες Mot.
- Η περιστροφική κίνηση μεταδίδεται από τον κινητήρα και η απαιτούμενη ενέργεια προέρχεται από την πρωτονιοκίνητη δύναμη, λόγω κίνησης πρωτονίων διαμέσου του πρωτεϊνικού συμπλέγματος Mot (κάθε περιστροφή του μαστιγίου απαιτεί τη μετακίνηση 1000 περίπου πρωτονίων).
- Τα πρωτόνια ασκούν ηλεκτροστατικές έλξεις που προκαλούν την περιστροφή του βασικού σωματίου.

Μαστίγια αρχαίων

- Τα μαστίγια των αρχαίων έχουν σχετικά μικρή διάμετρο (10-13nm), περίπου υποδιπλάσια των βακτηρίων.
- Σε αντίθεση με τα βακτήρια, το νημάτιο των αρχαίων περιέχει αρκετές διαφορετικές πρωτεΐνες (μαστιγίνες) (ελάχιστη εξελικτική συγγένεια με την βακτηριακή μαστιγίνη).

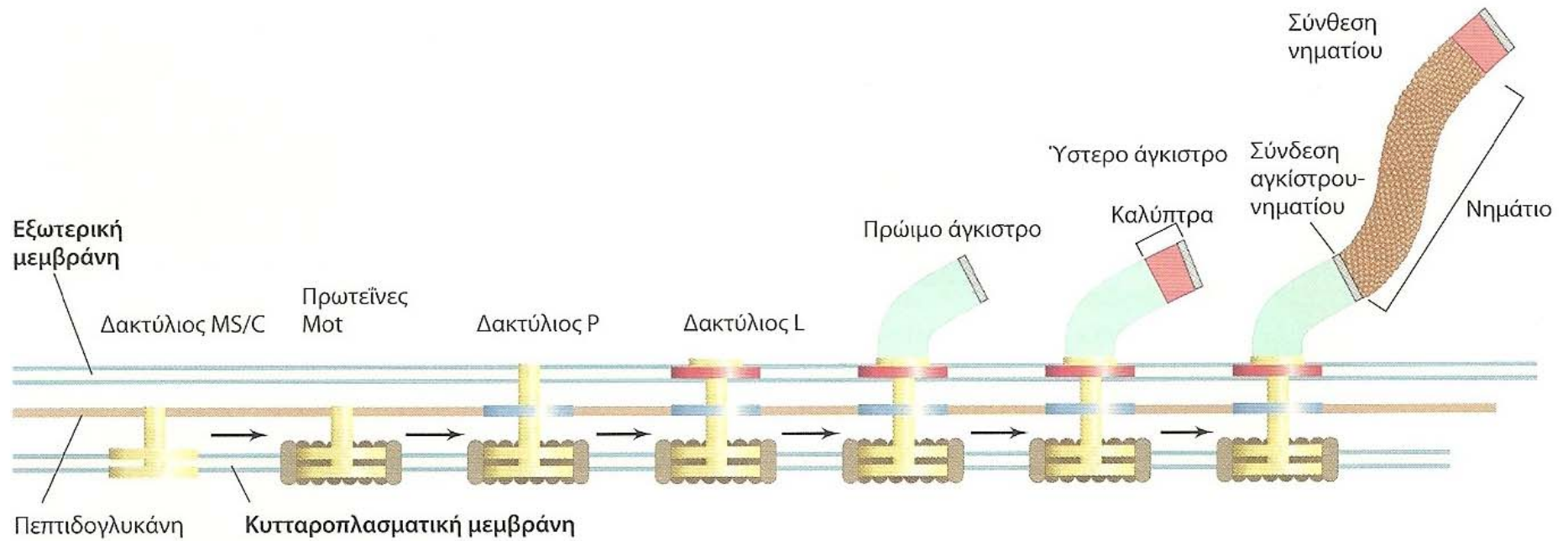


Σχ.63. Μαστίγια αρχαίων (*Methanococcus maripaludis*).

- Η ταχύτητα του *Halobacterium* είναι το 1/10 της *E. coli*.
- Η σημαντικά μικρότερη διάμετρος του μαστιγίου των αρχαίων, πιθανόν οδηγεί σε μειωμένη ροπή στρέψης και ισχύς του κινητήρα σε σχέση με τα βακτήρια.
- Τα μαστίγια των αρχαίων χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας για την κίνηση το ATP.

Σύνθεση των μαστιγίων

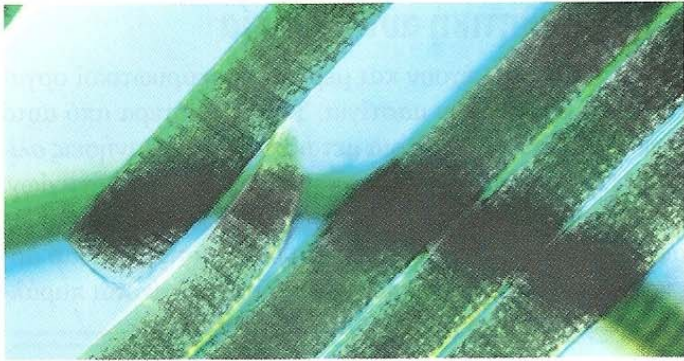
- Για τη σύνθεση των μαστιγίων και την εκδήλωση της κίνησης απαιτείται μεγάλος αριθμός γονιδίων (τουλάχιστον 50).
- Τα μαστίγια δεν αναπτύσσονται από τη βάση (όπως μια ζωική τρίχα), αλλά από την κορυφή τους.
- Αρχικά συντίθενται ο δακτύλιος MS και στη συνέχεια συνεχίζονται οι προσδεδεμένες πρωτεΐνες και το άγκιστρο.
- Μετά τη σύνθεσή τους στο κυτταρόπλασμα, τα μόρια μαστιγίνης περνούν μέσω ενός καναλιού (διαμέτρου 3nm) στο εσωτερικό του νηματίου και προστίθενται συνεχώς στο τερματικό τμήμα του.
- Στο άκρο του αναπτυσσόμενου μαστιγίου υπάρχει μια πρωτεϊνική «καλύπτρα», που βοηθά τα μόρια μαστιγίνης, που έχουν διέλθει μέσω του καναλιού, να οργανωθούν στα τερματικά τμήματα του μαστιγίου.
- Μαστίγια που έχουν σπάσει, εξακολουθούν να περιστρέφονται και μπορούν να επιδιορθωθούν με νέα μόρια μαστιγίνης.



Σχ.64. Σύνοψη των σταδίων βιοσύνθεσης των μαστιγίων.

Κινήσεις ολίσθησης

- Ικανότητα κίνησης έχουν και πολλοί προκαρυωτικοί μικροοργανισμοί που δεν φέρουν μαστίγια (**κίνηση με ολίσθηση**).
- Υπάρχουν περισσότεροι του ενός μηχανισμοί βακτηριακής ολίσθησης.
- Τα κυανοβακτήρια εκκρίνουν στην εξωτερική επιφάνεια μια πολυσακχαριτική βλέννα κατά την ολίσθηση, η οποία εφάπτεται τόσο στην κυτταρική επιφάνεια, όσο και στη στερεά επιφάνεια.
- Καθώς η απεκκρινόμενη βλέννα προσκολλάται στην επιφάνεια, συμπαρασύρει μαζί της και το κύτταρο.



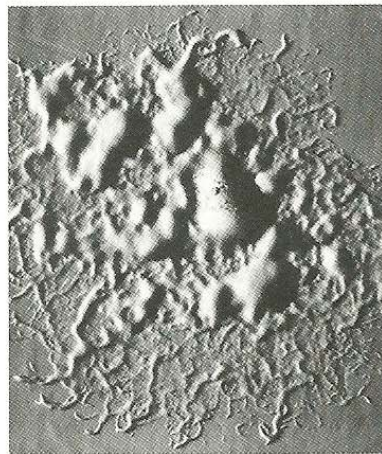
Richard W. Castenholz

(α)



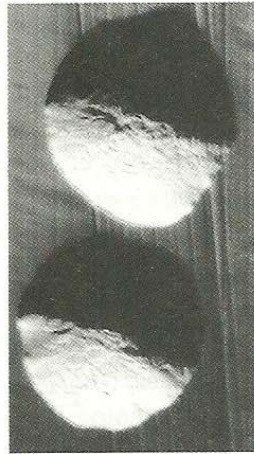
Richard W. Castenholz

(β)



Mark J. McBride

(γ)

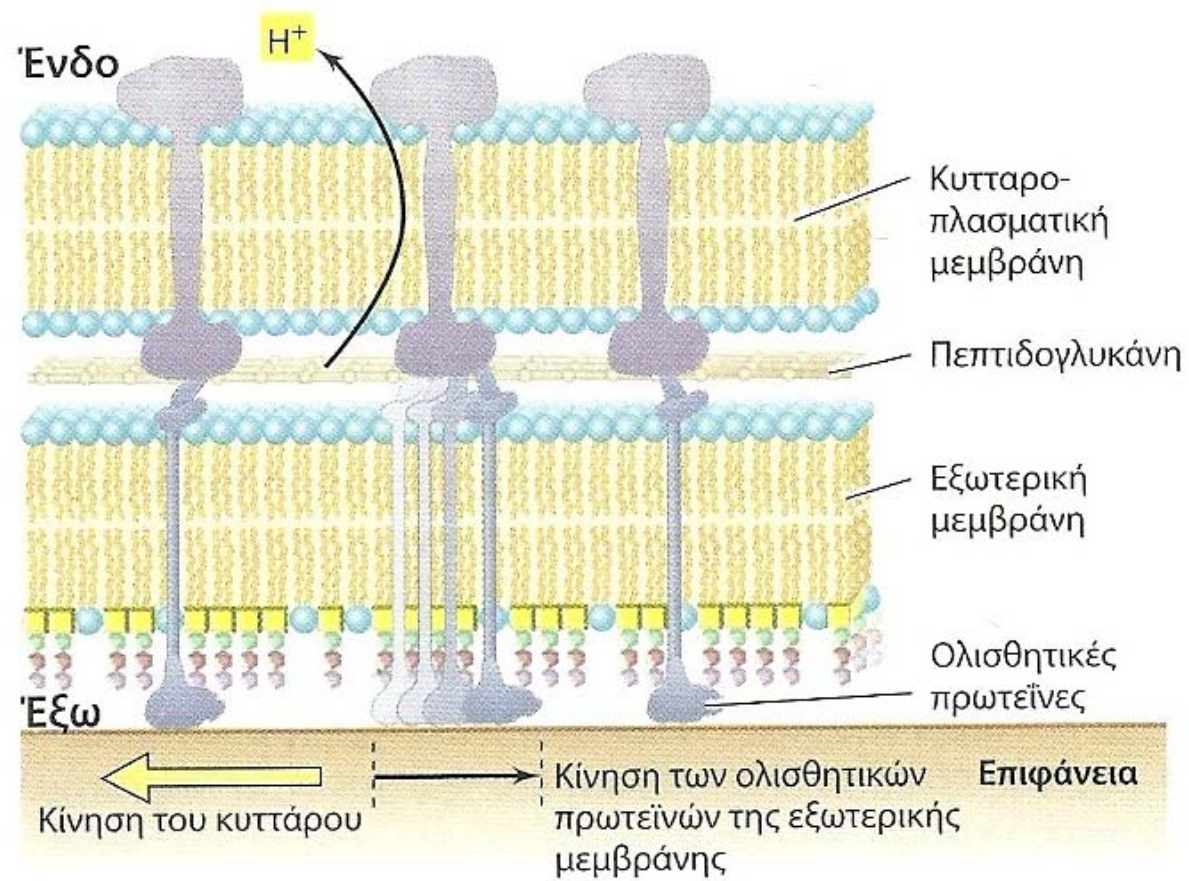


Mark J. McBride

(δ)

Σχ.65. Ολισθητικά βακτήρια. (α) *Oscillatoria*.
(β) *Oscillatoria* σε επιφάνεια agar.
(γ) Βακτήρια *Flavobacterium johnsoniae*
απομακρυνόμενα από κυτταρική αποικία.
(δ) Μεταλλαγμένο μη ολισθητικό στέλεχος *F.*
johnsoniae (εμφανίζει τυπική μορφολογία
αποικιών μη ολισθητικών βακτηρίων).

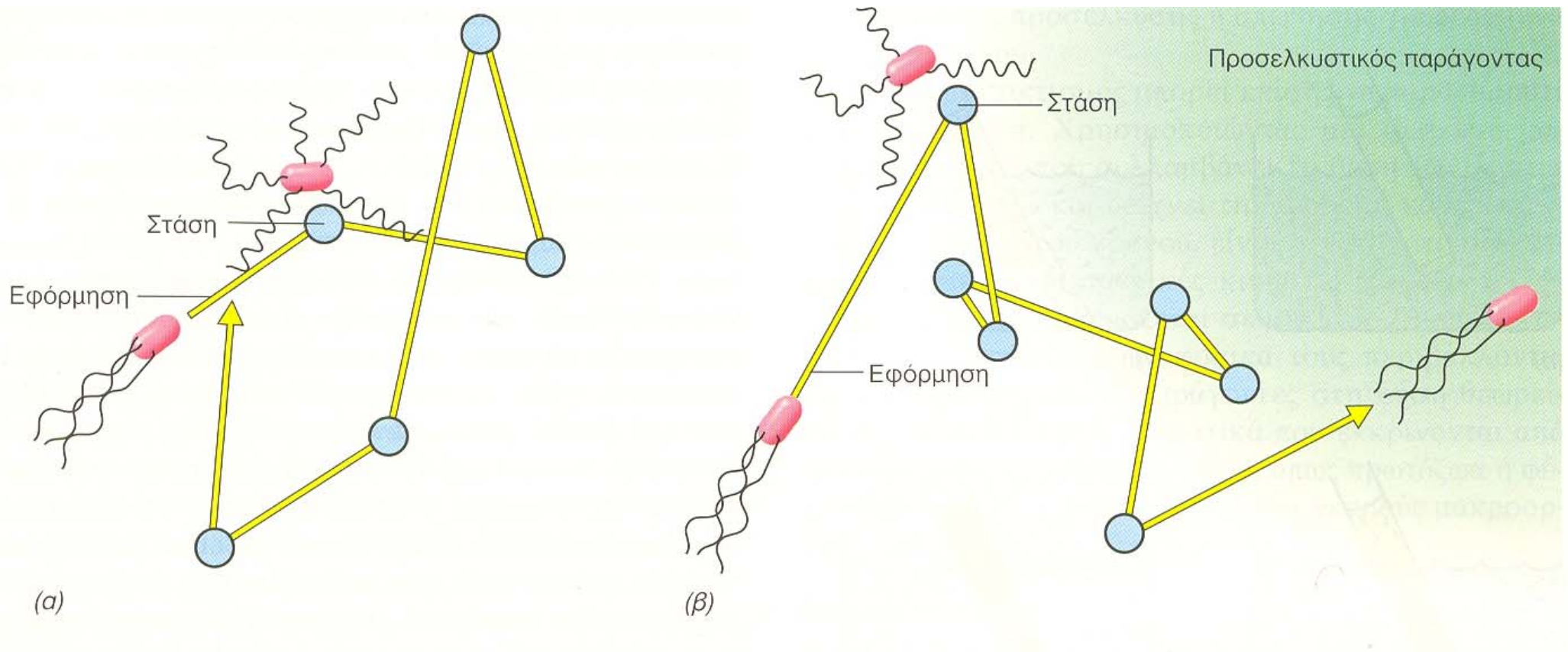
- Στην **σπασμωδική αυτοκινησία** τα κύτταρα προωθούνται κατά μήκος στερεής επιφάνειας με διαδοχικές κινήσεις τριχιδίων (τριχίδια τύπου IV).
- Το ολισθητικό βακτήριο *Myxococcus xanthus*, εκτός από την σπασμωδική αυτοκινησία, εμφανίζει και άλλη μορφή αυτοκινησίας:
 - Στον έναν πόλο σχηματίζεται πρωτεϊνικό σύμπλοκο προσκόλλησης, το οποίο προσδένεται και παραμένει σε μια συγκεκριμένη θέση της επιφάνειας, καθώς το κύτταρο ολισθαίνει προς τα εμπρός.
- Στα μη φωτοτροφικά ολισθητικά βακτήρια (π.χ. *Flavobacterium johnsoniae*), ο μηχανισμός ολίσθησης στηρίζεται στη μετατόπιση πρωτεϊνών στην κυτταρική επιφάνεια.
- Ειδικές κινητήριες πρωτεΐνες προσδεδωμένες στην κυτταροπλασματική και στην εξωτερική μεμβράνη θεωρείται ότι προωθούν το κύτταρο, ενώ η ενέργεια προέρχεται μάλλον από πρωτονιοκίνητη δύναμη.



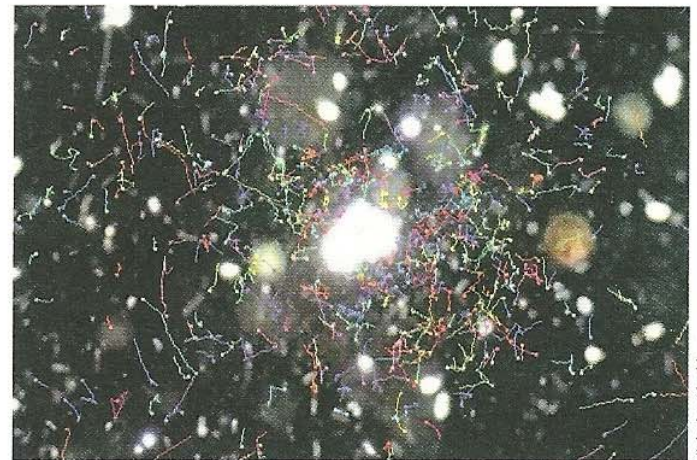
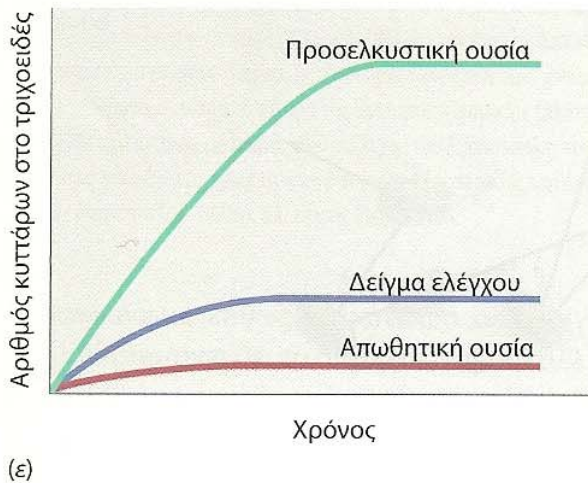
Σχ.66. Ολισθητική αυτοκίνηση στο *Flavobacterium johnsoniae*.

Περιβαλλοντικές αποκρίσεις: χημειοτακτισμός, φωτοτακτισμός, και άλλοι τακτισμοί

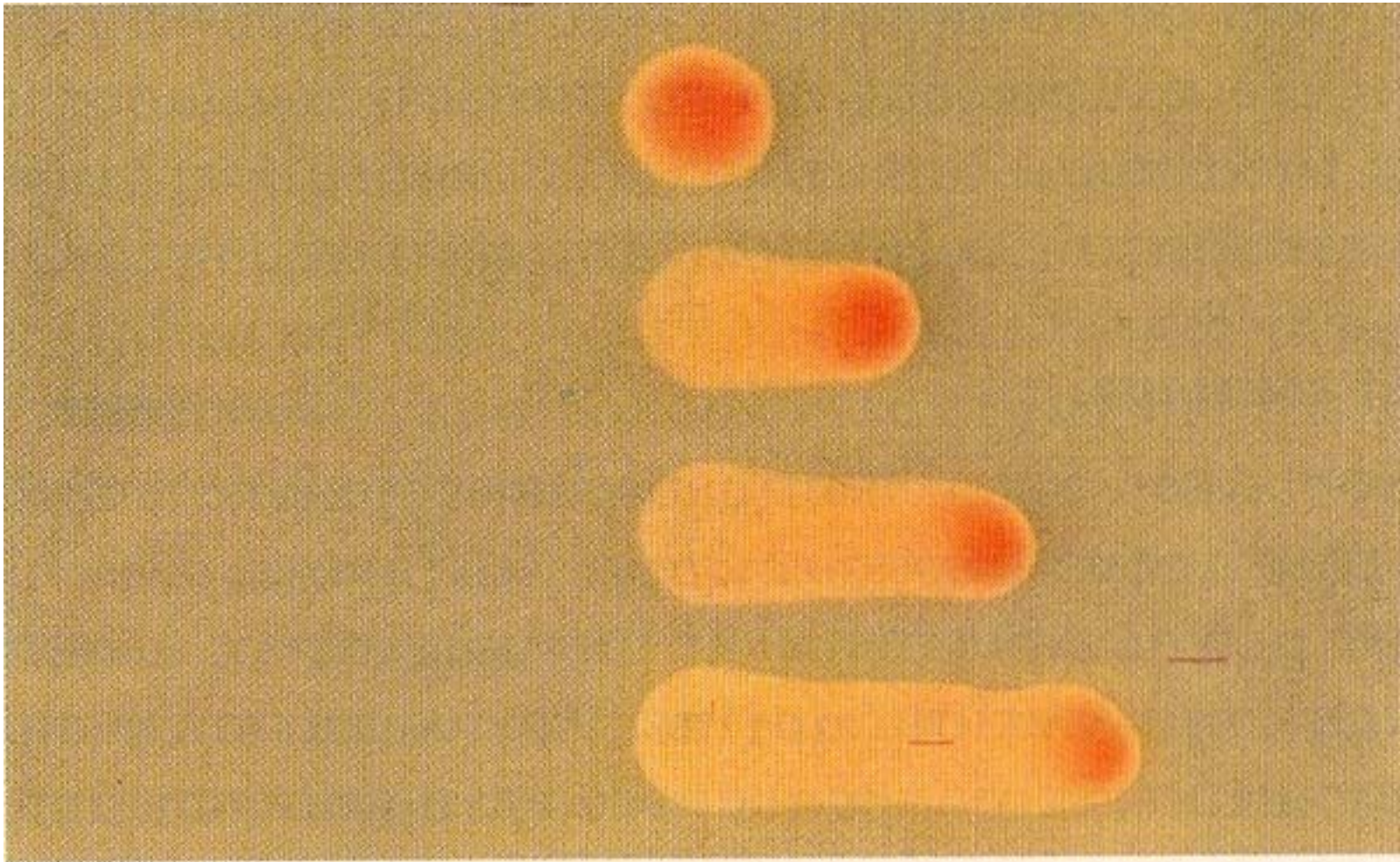
- Ως **χημειοτακτισμός** ή **χημειόταξη**, ορίζεται η μετακίνηση ενός οργανισμού ως αποτέλεσμα κάποιου χημικού ερεθίσματος.
- Μικροοργανισμοί που πλησιάζουν προς ή απομακρύνονται από το χημικό ερέθισμα, παρουσιάζουν το φαινόμενο του θετικού ή αρνητικού χημειοτακτισμού αντίστοιχα.
- Ως **χημειοτροπισμός** ορίζεται η μεταβολή στη διεύθυνση αύξησης νηματοειδών μυκήτων και φυκών που δεν έχουν τη δυνατότητα μετακίνησης.
- Η κίνηση μικροοργανισμών προς το φως ονομάζεται **φωτοτακτισμός**.
- Το φαινόμενο κατά το οποίο ένα φωτοτροφικό βακτήριο κινηθεί, κατά τύχη, εκτός φωτεινού πεδίου (προς το σκοτάδι) και στη συνέχεια αντιστρέψει την διεύθυνση της κίνησής του, ονομάζεται **σκοτοφοβοτακτισμός**.
- Η κίνηση προς το οξυγόνο ονομάζεται **αεροτακτισμός** και η κίνηση προς ή από συνθήκες υψηλής ιοντικής ισχύος **ωσμοτακτισμός**.



Σχ.67. Χημειοτακτισμός (α) απουσία χημειοτακτικού παράγοντα, (β) παρουσία προσελκυστικής χημικής ουσίας.



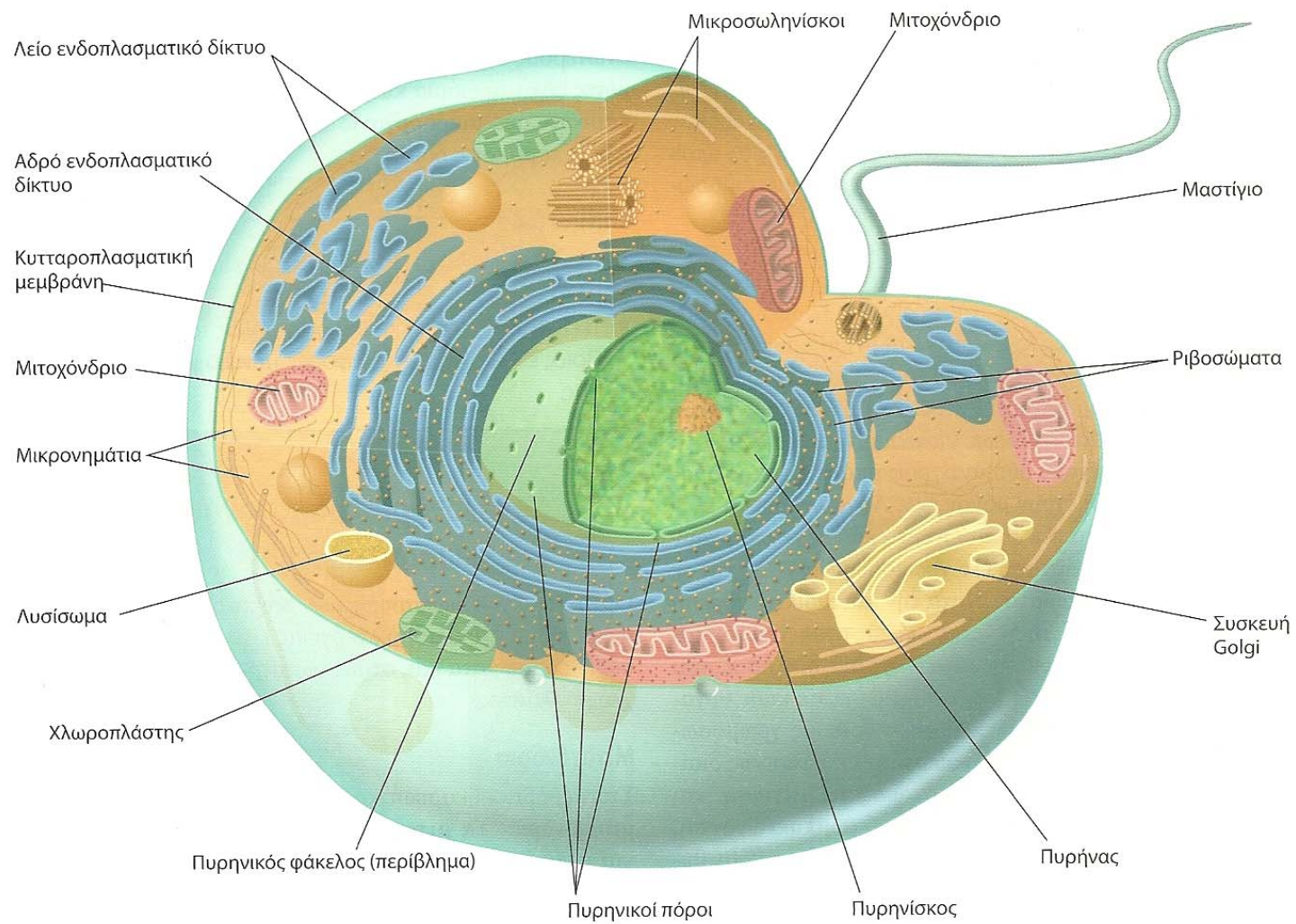
Σχ.68. Τεχνικές μέτρησης του χημειοτακτισμού. (α) Εισαγωγή τριχοειδούς σε εναιώρημα κυττάρων. (β) Το τριχοειδές περιέχει άλας που δεν αποτελεί χημειοτακτικό παράγοντα. (γ) Το τριχοειδές περιέχει προσελκυστική ουσία. (δ) Το τριχοειδές περιέχει απωθητικό παράγοντα. (ε) Καμπύλη αριθμού κυττάρων στο τριχοειδές σε σχέση με τον χρόνο. (στ) Θαλάσσια αυτοκινούμενα βακτήρια που συναθροίζονται γύρω από κύτταρο φύκους.



Σχ.69. Φωτοτακτισμός ολόκληρης αποικίας του πορφυρού φωτοτροφικού βακτηρίου *Rhodospirillum rubrum*.

Ευκαρυωτικά μικροβιακά κύτταρα

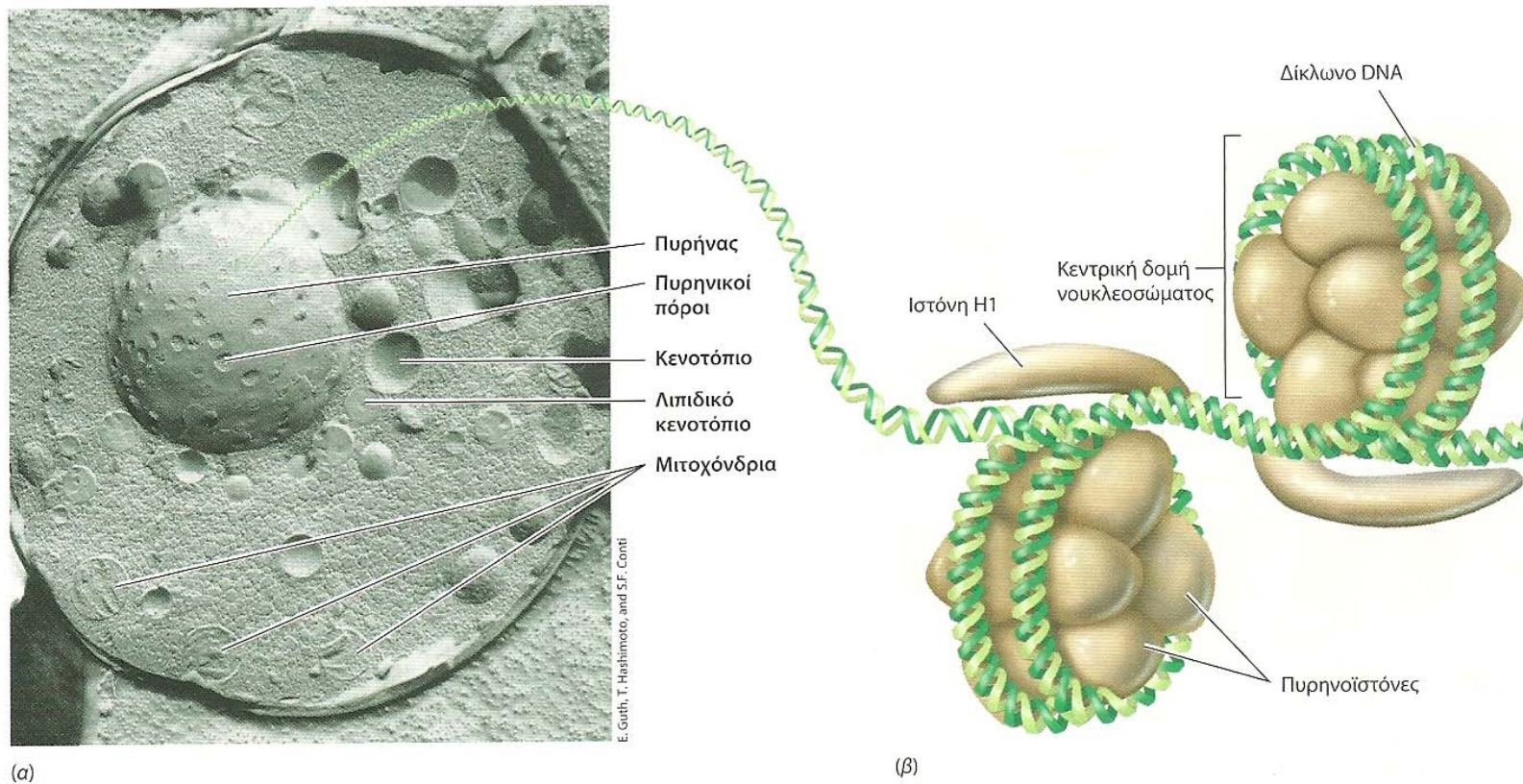
- Τα ευκαρυωτικά μικροβιακά κύτταρα είναι κατά κανόνα δομικά πολυπλοκότερα και μεγαλύτερου μεγέθους σε σχέση με τα προκαρυωτικά.
- Όλα περιέχουν πυρήνα (βασικό γνώρισμα ευκαρυωτικού κυττάρου).
- Όλα σχεδόν έχουν μιτοχόνδρια.
- Χλωροπλάστες απαντούν μόνο σε φωτοτροφικά κύτταρα.
- Περιέχουν και άλλες δομές: συσκευή Golgi, λυσισώματα, ενδοπλασματικό δίκτυο, μικροσωληνίσκους και μικρονημάτια.
- Μερικοί ευκαρυώτες έχουν μαστίγια ή βλεφαρίδες (οργανίδια κίνησης).
- Επίσης, ενδέχεται να έχουν εξωκυτταρικά συστατικά, όπως κυτταρικό τοίχωμα.



Σχ.70. Μικροβιακός ευκαρυώτης.

Πυρήνας

- Περιέχει τα χρωμοσώματα.
- Το DNA είναι τυλιγμένο γύρω από βασικές (θετικά φορτισμένες) πρωτεΐνες (**ιστόνες**).
- Περιβάλλεται από ζεύγος μεμβρανών που διαχωρίζονται με μεσοδιάστημα.
- Η εσωτερική μεμβράνη είναι απλός σάκος, ενώ η εξωτερική είναι σε πολλά σημεία συνεχής με το ενδοπλασματικό δίκτυο (ΕΔ).
- Στις πυρηνικές μεμβράνες υπάρχουν πόροι που σχηματίζονται από οπές σε θέσεις που η εσωτερική και η εξωτερική μεμβράνη συνενώνονται.
- Οι πόροι επιτρέπουν στις πρωτεΐνες μεταφοράς να εξάγουν και να εισάγουν άλλες πρωτεΐνες ή νουκλεϊκά οξέα (**πυρηνική μεταφορά**).
- Ο πυρηνίσκος είναι διακριτή δομή μέσα στον πυρήνα όπου συντίθεται rRNA.



Σχ.71. Ο πυρήνας και ο τρόπος συσκευασίας του DNA στα ευκαρυωτικά κύτταρα. (α) Ηλεκτρονικό μικρογράφημα ζυμομύκητα. (β) Συσκευασία DNA.

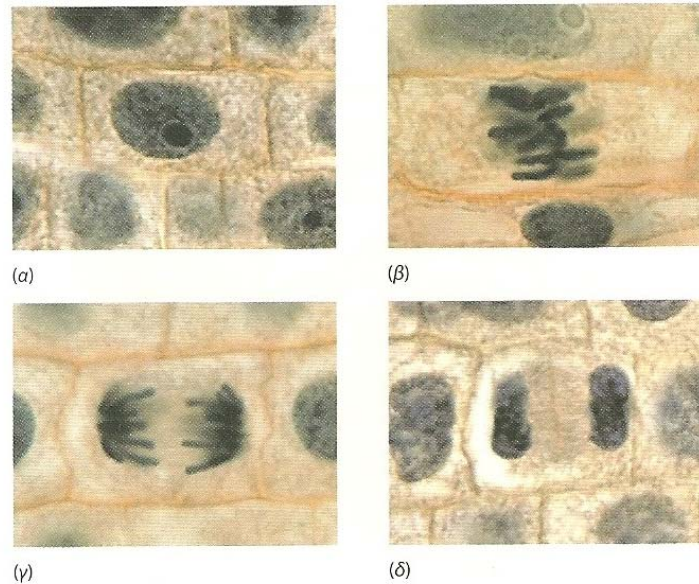
• Κατά την διαίρεση διακρίνονται οι παρακάτω φάσεις:

1) Αντιγραφή χρωμοσωμάτων (μεσόφαση),

2) Αποδιάταξη του πυρήνα (μετάφαση),

3) Διαχωρισμός χρωμοσωμάτων σε δυο ομάδες (ανάφαση), και

4) Ανασυγκρότηση πυρήνα σε κάθε θυγατρικό κύτταρο (τελόφαση).



Σχ.72. Μικροφωτογραφίες φυτικών κυττάρων κατά τη μίτωση.
(α) Μεσόφαση. (β) Μετάφαση. (γ) Ανάφαση. (δ) Τελόφαση.

- Πολλοί ευκαρυώτες μπορούν να υφίστανται σε μια από τις δυο πιθανές γενετικές καταστάσεις:

- Απλοειδία ή

- Διπλοειδία.

- Κατά την κυτταρική διαίρεση, ο αριθμός των χρωμοσωμάτων αρχικά διπλασιάζεται και κατόπιν μειώνεται στο μισό, ανεξάρτητα από την γενετική κατάσταση (**μίτωση**).

- Η διεργασία μετάβασης από την διπλοειδή κατάσταση στην απλοειδή ονομάζεται **μείωση**.

- Η μείωση περιλαμβάνει 2 κυτταρικές διαιρέσεις:

- 1) Μια μειωτική (μετάβαση από την διπλοειδή στην απλοειδή κατάσταση), και

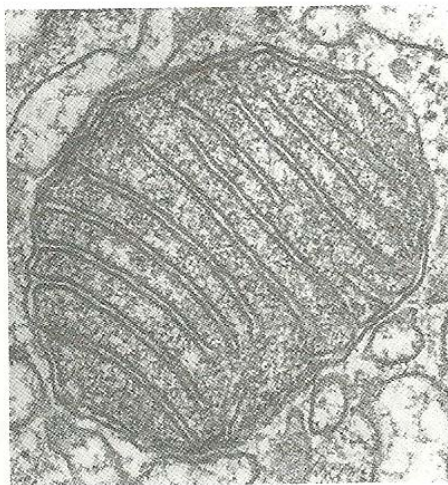
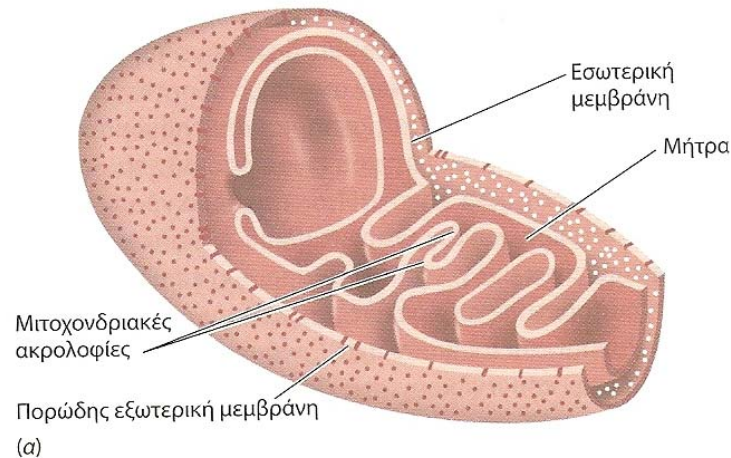
- 2) Μια δεύτερη μιτωτική.

Μιτοχόνδρια, υδρογονοσώματα και χλωροπλάστες

Μιτοχόνδρια

- Τα μιτοχόνδρια έχουν διαστάσεις βακτηρίου και διαφόρων σχημάτων.
- Ο αριθμός τους στα ευκαρυωτικά κύτταρα ποικίλει (από λίγα έως χιλιάδες).
- Περιβάλλονται από σύστημα διπλής μεμβράνης:
 - Η εξωτερική μεμβράνη είναι σχετικά διαπερατή και περιέχει πόρους που επιτρέπουν τη δίοδο μικρών μορίων, όπως και η πυρηνική μεμβράνη.
 - Η εσωτερική, αντίθετα, είναι λιγότερο διαπερατή και μοιάζει με την κυτταροπλασματική μεμβράνη.
- Περιέχουν, επίσης, σύστημα πτυχωμένων εσωτερικών μεμβρανών, που σχηματίζονται από εγκολπώσεις της εσωτερικής μεμβράνης (**μιτοχονδριακές ακρολοφίες**).

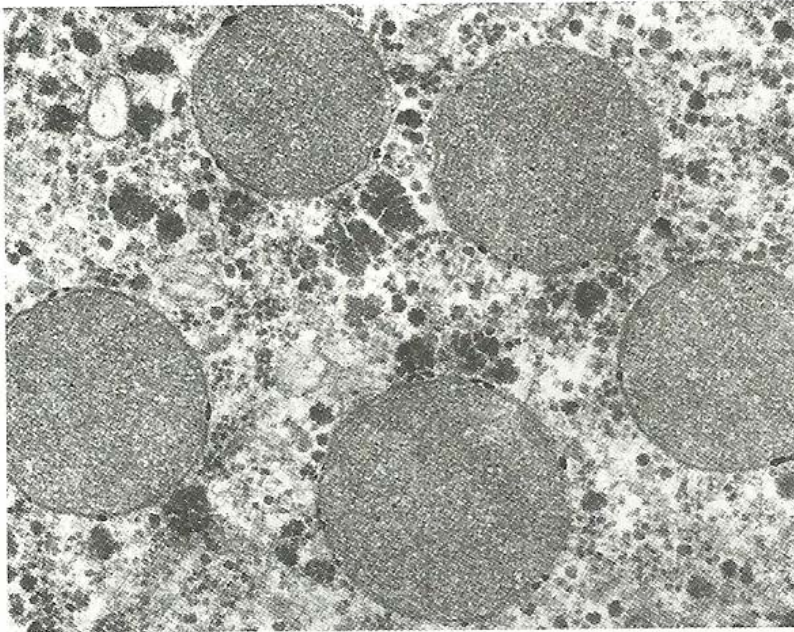
- Οι μιτοχονδριακές ακρολοφίες περιέχουν ένζυμα για την αναπνοή, παραγωγή ATP και πρωτεΐνες μεταφοράς που ρυθμίζουν τη διέλευση σημαντικών μορίων (π.χ. ATP προς και από την μήτρα, το εσωτερικό διαμέρισμα μιτοχονδρίου).
- Στην μήτρα βρίσκονται ένζυμα που καταλύουν την οξείδωση οργανικών ενώσεων (ένζυμα κύκλου Krebs).



Σχ.73. Δομή μιτοχονδρίου.
 (α) Διάγραμμα δομής μιτοχονδρίου.
 (β, γ) Ηλεκτρονικά μικρογραφήματα μιτοχονδρίων διαφόρων μορφολογιών από ιστούς επίμυος.

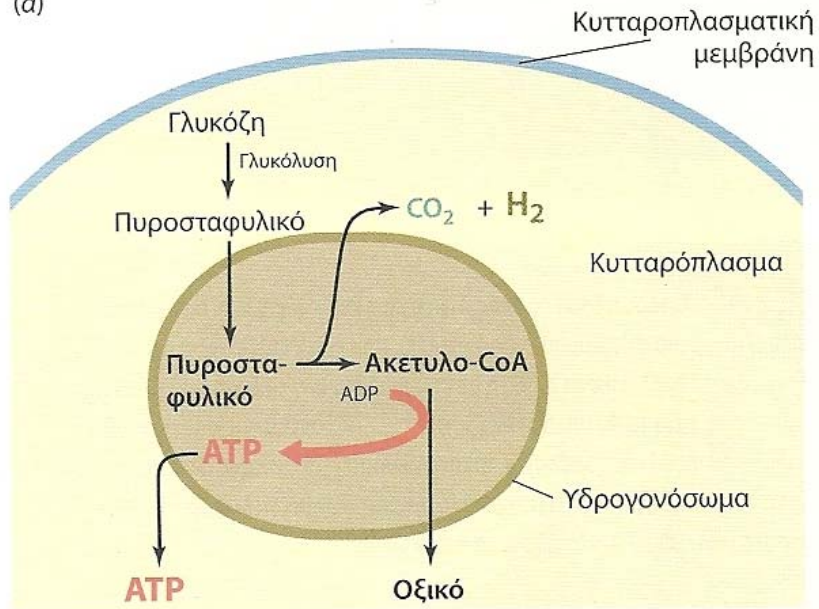
Υδρογονόσωμα

- Για μερικούς ευκαρυωτικούς μικροοργανισμούς το O_2 είναι θανατηφόρο και συνεπώς διαβιούν σε αναερόβια ενδαιιτήματα.
- Τα κύτταρα αυτών των οργανισμών δεν έχουν μιτοχόνδρια, αλλά ορισμένα περιέχουν **υδρογονοσώματα** (π.χ. το παράσιτο *Trichomonas*).
- Αν και παρόμοια σε μέγεθος με τα μιτοχόνδρια, δεν έχουν πτυχώσεις, ούτε διαθέτουν ένζυμα του κύκλου του Krebs.
- Η κυριότερη βιοχημική αντίδραση που λαμβάνει χώρα στο υδρονόσωμα είναι η οξειδωση πυροσταφιλικού οξέος προς οξικό, H_2 και CO_2 .
- Μερικοί αναερόβιοι ευκαυρώτες έχουν στο κυτταρόπλασμα τους συμβιωτικά μεθανογιόνα Αρχαία, τα οποία καταναλώνουν το παραγόμενο H_2 .



Helen Shio and Miklós Müller

(α)

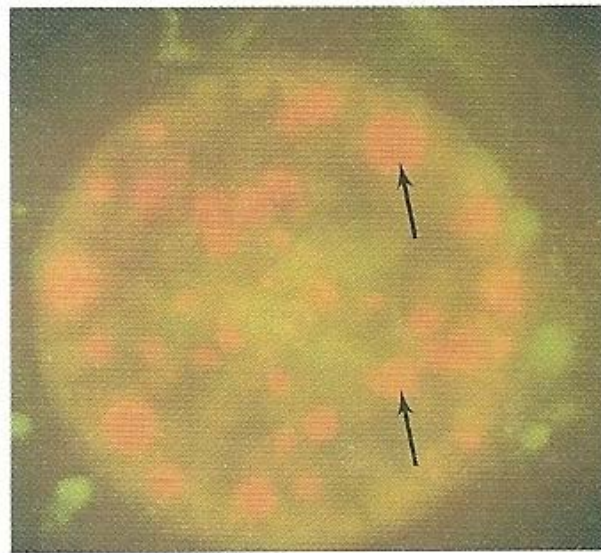


(β)

Σχ.74. Το υδρογονόσωμα.
 (α) Ηλεκτρονικό μικρογράφημα κυττάρου του αναερόβιου πρῶτιστου *Trichomonas vaginalis*, όπου διακρίνονται 5 υδρογονοσώματα.
 (β) Βιοχημεία υδρογονοσώματος.

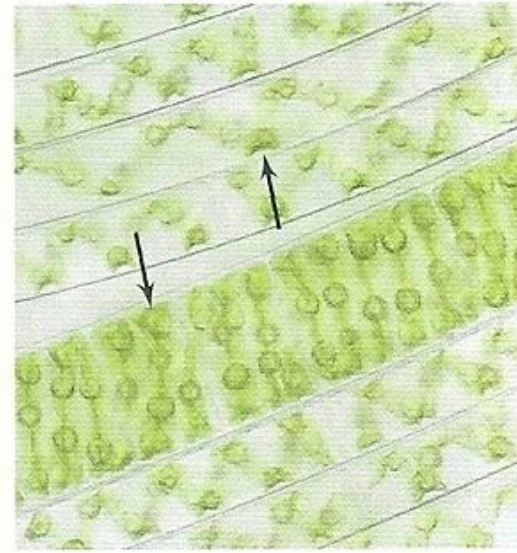
Χλωροπλάστες

- Είναι οργανίδια φωτοτροφικών ευκαρυωτικών κυττάρων που διεκπεραιώνουν φωτοσύνθεση.
- Όπως και τα μιτοχόνδρια, έχουν μια διαπερατή εξωτερική μεμβράνη και μια λιγότερο διαπερατή εσωτερική.
- Η εσωτερική μεμβράνη περιβάλλει το **στρώμα** (ανάλογο της μήτρας), όπου βρίσκεται η **καρβοξυλάση της διφωσφορικής ριβουλόζης (RubisCO)**, βασικό ένζυμο του κύκλου του Calvin.
- Η χλωροφύλλη και τα υπόλοιπα απαραίτητα για τις φωτεινές αντιδράσεις μόρια βρίσκονται σε μια σειρά πεπλατυσμένων μεμβρανοειδών δίσκων (**θυλακοειδή**).
- Η θυλακοειδής μεμβράνη είναι αδιαπέραστη.

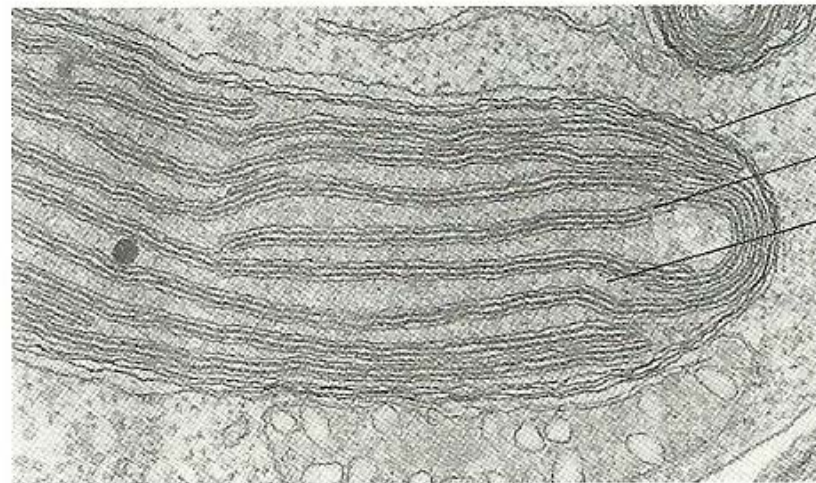


T. D. Brock

(α)



(β)



T. Slankis and S. Gibbs

(γ)

Χλωροπλάστης

Θυλακοειδές

Στρώμα

Σχ.75. Χλωροπλάστες. (α) Μικροφωτογραφία διατόμου. (β) Μικροφωτογραφία νηματοειδούς χλωροφύκου *Spirogyra*. (γ) Χλωροπλάστης διατόμου.

Οργανίδια και ενδοσυμβίωση

- Τα μιτοχόνδρια, τα υδρογονοσώματα και οι χλωροπλάστες κατά πάσα πιθανότητα έχουν προέλθει από συμβιωτικά βακτήρια (**ενδοσυμβιωτική θεωρία**).
- Αδιάσειστα πειραματικά στοιχεία υποστηρίζουν αυτήν την άποψη:
 - 1) Τα μιτοχόνδρια, τα υδρογονοσώματα και οι χλωροπλάστες έχουν δικά τους γονιδιώματα και ριβοσώματα.
 - 2) Τα γονιδιώματα αυτών των οργανιδίων είναι κυκλικά, όπως και τα βακτηριακά.
 - 3) Οι αλληλουχίες γονιδίων rRNA είναι βακτηριακής προέλευσης.

Άλλες σημαντικές δομές του ευκαρυωτικού κυττάρου

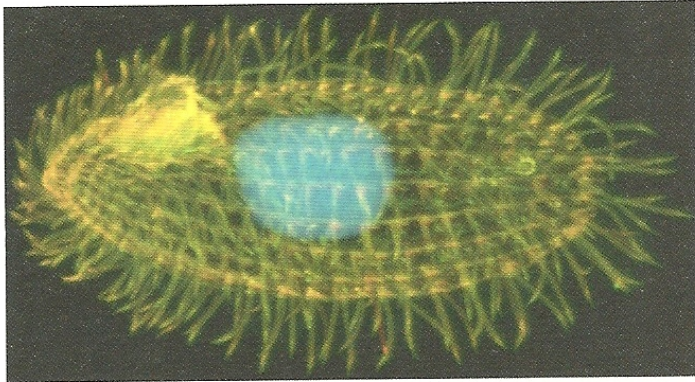
- Το **ενδοπλασματικό δίκτυο (ΕΔ)** είναι ένα δίκτυο μεμβρανών συνδεδεμένο με την πυρηνική μεμβράνη.
- Διακρίνεται σε **αδρό**, που περιέχει προσδεδεμένα ριβοσώματα, και σε **λείο**, που δεν περιέχει ριβοσώματα.
- Το αδρό ΕΔ αποτελεί έναν από τους κυριότερους παραγωγούς γλυκοπρωτεϊνών και παράγει νέο μεμβρανικό υλικό.
- Το λείο ΕΔ συμμετέχει στη σύνθεση των λιπιδίων και σε ορισμένα στάδια του μεταβολισμού των υδατανθρακών.
- Το **σύμπλεγμα Golgi** είναι μια συστοιχία μεμβρανών που λειτουργούν σε συντονισμό με το ΕΔ.
- Τα προϊόντα του ΕΔ τροποποιούνται (συνήθως γλυκοζυλιώνονται) και διαχωρίζονται σε αυτά που προορίζονται για έκκριση και σε όσα προορίζονται να ενσωματωθούν σε άλλες μεμβρανοειδείς δομές.



Σχ.76. Το σύμπλεγμα Golgi.

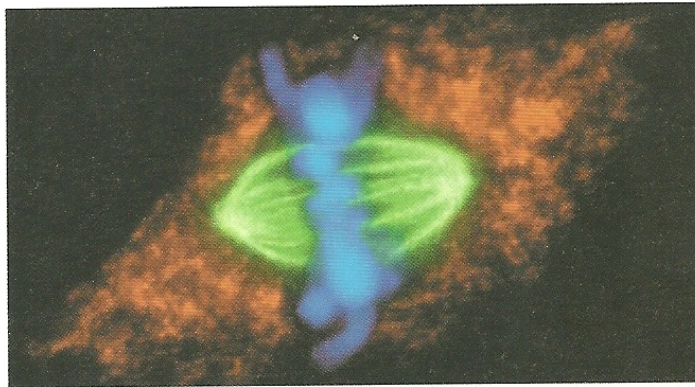
- Τα **λυσισώματα** είναι διαμερίσματα περικλειστα από μεμβράνη, τα οποία περιέχουν πεπτικά ένζυμα που υδρολύουν πρωτεΐνες, λίπη και πολυσακχαρίτες.
- Τα λυσισώματα συντήκονται με τροφές που εισέρχονται στο κύτταρο μέσα σε κενοτόπια και στη συνέχεια απελευθερώνονται τα πεπτικά ένζυμα, τα οποία διασπούν τα θρεπτικά συστατικά.
- Επιπλέον, υδρολύουν κυτταρικά συστατικά που έχουν υποστεί βλάβη και ανακυκλώνουν τα μόρια που προκύπτουν για νέες βιοσυνθέσεις.

- Τα ευκαρυωτικά κύτταρα ενισχύονται από τους **μικροσωληνίσκους**, τα **μικρονημάτια** και τα **ενδιάμεσα νημάτια**.
- Οι **μικροσωληνίσκοι** είναι σωλήνες διαμέτρου 25nm που αποτελούνται από α - και β -τουμπουλίνη.
- Οι λειτουργίες τους περιλαμβάνουν:
 - τη διατήρηση του κυτταρικού σχήματος,
 - τη διατήρηση της αυτοκινησίας μέσω των βλεφαρίδων και των μαστιγίων,
 - τη μετακίνηση των χρωμοσωμάτων κατά τη μίτωση, και
 - τις κινήσεις μετατόπισης των οργανιδίων μέσα στο κύτταρο.



Rupal Thazhath and Jacek Gaertig

(α)



(β)



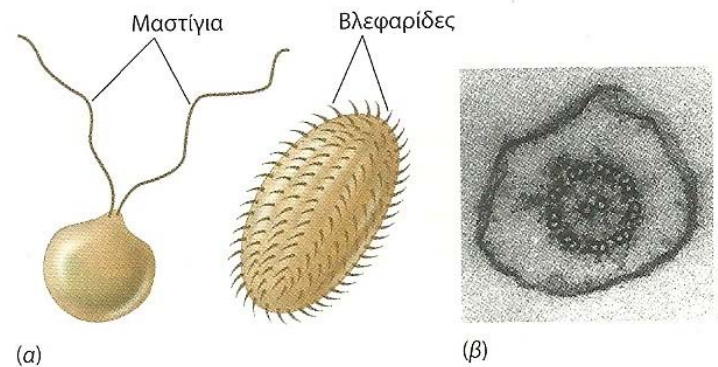
Chad Medalla and Wolfgang Baumeister

(γ)

Σχ.77. Τουμπουλίνη και μικρονημάτια.
 (α) Μικροφωτογραφία φθορισμού κυτάρου *Tetrahymena*. Με κόκκινο/πράσινο φαίνεται η τουμπουλίνη και με μπλε ο πυρήνας (DNA). (β) Εικόνα ζωικού κυτάρου όπου διακρίνεται ο ρόλος της τουμπουλίνης (πράσινο) στον διαχωρισμό των χρωμοσωμάτων κατά τη μιτωτική μετάφαση. (γ) Εικόνα ηλεκτρονικού μικροσκοπίου του μυξομύκητα *Dictyostelium discoideum*, όπου διακρίνεται το δίκτυο των μικρονηματίων ακτίνης μαζί με τους μικροσωληνίσκους.

- Τα **μικρονημάτια** (διάμετρο 7nm) αποτελούνται από ακτίνη και είναι σημαντικά για:
 - τη διατήρηση ή αλλαγή του κυτταρικού σχήματος,
 - την αυτοκινησία σε κύτταρα που κινούνται με αμοιβαδοειδείς κινήσεις, και
 - την κυτταρική διαίρεση.
- Τα **ενδιάμεσα νημάτια** είναι ινώδεις πρωτεΐνες κερατίνης (διαμέτρου 8-12nm) που συμμετέχουν στη διατήρηση του κυτταρικού σχήματος και στη διευθέτηση των οργανιδίων μέσα στο κύτταρο.
- Οι **βλεφαρίδες** είναι μικρού μήκους μαστίγια που προωθούν το κύτταρο, συνήθως πολύ γρήγορα.
- Τα **μαστίγια** είναι επιμήκεις αποφύσεις που υπάρχουν είτε μια-μια ή σε ομάδες και ωθούν το κύτταρο κατά κανόνα βραδύτερα από τις βλεφαρίδες.

- Τα μαστίγια των ευκαρυωτικών κυττάρων δεν περιστρέφονται όπως τα βακτηριακά κύτταρα.
- Οι βλεφαρίδες και τα μαστίγια εμφανίζουν παραπλήσια δομική οργάνωση και αποτελούνται από μια δέσμη 9 ζευγών μικροσωληνίσκων, η οποία περιβάλλει ένα κεντρικό ζεύγος μικροσωληνίσκων.
- Στους μικροσωληνίσκους προσδένεται μια πρωτεΐνη (δουνεΐνη), η οποία υδρολύει ATP.
- Η κίνηση προκύπτει από συντονισμένη ολίσθηση μεταξύ των μικροσωληνίσκων από ή προς τη βάση του κυττάρου.



Σχ.78. (α) Μαστίγια και βλεφαρίδες. (β) Εγκάρσια τομή μαστιγίου του μύκητα *Blastocladiella*. 117