

# Αρχιτεκτονική του βακτηριακού κυττάρου

## ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΒΑΚΤΗΡΙΩΝ

Η ταξινόμηση των μικροοργανισμών, συμπεριλαμβανομένων και των βακτηρίων, αναθεωρείται συνεχώς, με βάση διάφορα εναλλακτικά συστήματα. Σύμφωνα με ένα παλαιότερο σύστημα που είχε προταθεί προ 100 ετών, τα βακτήρια συμπεριελήφθησαν στο βασίλειο των Πρωτίστων.

1. Τα Πρωτίστα διαιρούνται σε δύο μεγάλες ομάδες, τα ευκαρυωτικά και τα προκαρυωτικά. Στον πίνακα 1. αναγράφονται οι κύριες διαφορές μεταξύ αυτών.
2. Η ομάδα των προκαρυωτικών, σύμφωνα με το σύστημα του Λινναίου, περιλαμβάνει ταξινομικές βαθμίδες, όπως τάξεις (orders) και οικογένειες (families).
3. Οι πιο συνήθεις ταξινομικές βαθμίδες είναι το γένος (*genus*) και το είδος (*species*). Το αρχικό γράμμα του γένους γράφεται με κεφαλαία γράμματα και όλη η λέξη σε πλάγια γραφή, ενώ το είδος γράφεται με μικρά πλάγια γράμματα (π.χ. *Escherichia coli*).

## ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ

### Κυτταρικό σχήμα

1. Τα κύτταρα με σφαιρικό σχήμα χαρακτηρίζονται ως κόκκοι (στον ενικό κόκκος)
2. Τα κύτταρα με κυλινδρικό σχήμα είναι οι βάκιλλοι ή βακτηρίδια.
3. Τα βακτήρια με σπειροειδές σχήμα απαντώνται με τρεις μορφές:
  - α. Κομματοειδή βακτήρια, που ονομάζονται δονάκια (*vibrios*).
  - β. Ελικοειδή βακτήρια με εξωτερική βλεφαρίδα, που ονομάζονται *spirilla* (στον ενικό *spirillum*).
  - γ. Ελικοειδή με πολλές αναδιπλώσεις βακτήρια, με εσωτερικό νημάτιο που τα προσδίδει κίνηση, που ονομάζονται σπειροχαίτες.

### Κυτταρική διάταξη

1. Τα βακτήρια μπορεί να απαντώνται ως μεμονωμένα κύτταρα.
2. Οι κόκκοι κατά ζεύγη ονομάζονται διπλόκοκκοι, ενώ δεν υπάρχει αντίστοιχος όρος για τα βακτηρίδια.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Ευκαρυωτικά έναντι προκαρυωτικών**

Ιδιότητα	Προκαρυωτικά	Ευκαρυωτικά
Ζωική Μορφή	Μονοκύτταροι	Πολυκύτταροι, πρωτόζωα, μύκητες, φυτά, ζώα
Κυτταρικός μεταβολισμός	Ανεξάρτητα κύτταρα, με ατομική λειτουργία	Αλληλοεξαρτώμενα μεταβολικά κύτταρα
Πυρήνας (πυρηνοειδές)	Ελεύθερο στο κυτταρόπλασμα	Χρωμοσώματα εντός πυρηνικής μεμβράνης
DNA introns	Πολύ σπάνια	Συνήθη
Μίτωση	Όχι	Ναι
Έγκλειστα μεμβρανοδεσμευμένα	Όχι	Ναι, μιτοχόνδρια
Πεπτιδογλυκάνη	Ναι, τα περισσότερα γένη	Όχι
Σύνθεση στερολών	Όχι	Ναι
Μέγεθος ριβοσωμάτων	50 S συν 30 S (ίσον 70 S)	60 S συν 40 S (ίσον 80 S)

\* Τα μυκοπλάσματα μπορούν να απορροφούν στερόλες

3. Τα αθροίσματα κόκκων ονομάζονται σταφυλόκοκκοι, ενώ δεν υπάρχει αντίστοιχος όρος για τα βακτηρίδια.
4. Οι κόκκοι με διάταξη αλυσίδων ονομάζονται στρεπτόκοκκοι. Με τον όρο στρεπτοβάκιλλος (*streptobacillus*) χαρακτηρίζονται βακτήρια που στερούνται παθογόνου δράσεως.

### Gram χρώση

1. Τα βακτήρια λόγω του μικρού των μεγέθους, δεν απορροφούν αρκετό φως ώστε να γίνονται ορατά στο μικροσκόπιο, χωρίς να χρωματισθούν. Η σπουδαιότερη μέθοδος χρώσεως στη μικροβιολογία είναι η Gram χρώση.
2. Στη Gram χρώση χρησιμοποιούνται τέσσερα αντιδραστήρια :
  - α. Ιώδες της γεντιανής (Crystal violet), το οποίο χρωματίζει όλα κύτταρα πορφυρά (ερυθροκύανα).
  - β. Διάλυμα ιωδίου, το οποίο μονιμοποιεί το ιώδες της γεντιανής στα κύτταρα που προορίζονται να είναι Gram-θετικά.
  - γ. Ένα αλκοολούχο διάλυμα αποχρωματισμού, το οποίο αφαιρεί το ιώδες της γεντιανής από τα κύτταρα που προορίζονται να είναι Gram-αρνητικά.
  - δ. Η σαφρανίνη, μία κόκκινη χρωστική, η οποία χρωματίζει κόκκινα, τα Gram-αρνητικά βακτήρια.
3. Η Gram-χρώση διαχωρίζει τα βακτήρια σε δύο ομάδες με διαφορετικές ιδιότητες (Πίνακας 2)
4. Οι άλλες χρώσεις που χρησιμοποιούνται στη μικροβιολογία περιγράφονται στα επί μέρους βακτήρια για τα οποία είναι κατάλληλες.

### Δομή βακτηρίων

1. Βλεφαρίδες.
  - α. Οι βλεφαρίδες είναι μακρά, εύκαμπτα, μη-ζωτικά εξαρτήματα, που

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Διαφορές μεταξύ Gram-θετικών και Gram-αρνητικών βακτηρίων**

Χαρακτηριστικά	Gram-θετικά	Gram-αρνητικά
Ευαισθησία στα β-λακταμικά αντιβιοτικά (πενικιλίνη)	Υψηλότερη	Χαμηλότερη, εκτός των νεώτερων φαρμάκων
Σύνθεση κυτταρικού τοιχώματος	Απλούστερη	Περισσότερο πολύπλοκη
Παρουσία ινιδίων ( <i>fimbriae</i> )	Πολύ σπάνια, ή καθόλου	Πολύ συχνά, ταυτόχρονη παρουσία συνήθων και ινιδίων σύζευξης
Περιεκτικότητα σε λιπίδια	Χαμηλή	Υψηλότερη (επιβραδύνουν την είσοδο μερικών αντιβιοτικών)
Τειχοϊκό οξύ	Παρόν σε μερικά	Απόν
Λιποπολυσακχαρίδιο στην κυτταρική μεμβράνη	Απόν	Παρόν ως ενδοτοξίνη και σωματικό αντιγόνο
Δυνατότητα παραγωγής σπόρων (ενδοσπόρια)	Υφίσταται σε μερικά Gram-θετικά βακτηρίδια	Μόνο εξωτοξίνες *
Δυνατότητα παραγωγής τοξινών	Απούσα	Ενδοτοξίνη ή/και εξωτοξίνη *

\* Οι ενδοτοξίνες είναι δομικά στοιχεία του κυτταρικού τοιχώματος. Οι εξωτοξίνες εκκρίνονται από το βακτηριακό κύτταρο.

στην πλειονότητα των βακτηρίων που έχουν μελετηθεί στην ιατρική μικροβιολογία, χρησιμεύουν μόνο για την κίνηση αυτών.

β. Οι βλεφαρίδες είναι πρωτεϊνικής υφής και περιέχουν αντιγόνα που χρησιμεύουν για την ταυτοποίηση και την ταξινόμηση των βακτηρίων. Φέρονται με την ονομασία H αντιγόνα.

γ. Οι κόκκοι που ενδιαφέρουν την ιατρική μικροβιολογία στερούνται βλεφαρίδων.

## 2. Ινίδια

α. Στην ιατρική βιβλιογραφία οι όροι *pilus* (*pili*) και *fimbria* (*fimbriae*) χρησιμοποιούνται συχνά με την ίδια έννοια, αν και μερικοί συγγραφείς με τον όρο *pilus* αναφέρονται στα συζευτικά ινίδια.

β. Τα ινίδια είναι βραχέα, άκαμπτα, μη-ζωτικά εξαρτήματα του κυττάρου, τα οποία λειτουργούν ως προσκολλητίνες, καθιστώντας τα βακτήρια ικανά να προσκολλώνται στην επιφάνεια των κυττάρων του ξενιστή.

γ. Εκτός των συνήθων ινιδίων υπάρχουν και ορισμένα εξειδικευμένα ινίδια, τα συζευτικά ινίδια (*Sex pili* ή *F<sup>+</sup> pili*). Τα συζευτικά ινίδια χρησιμεύουν για την προσκόλληση και τον σεξουαλικό ανασυνδυασμό με άλλα βακτήρια του ιδίου τύπου.

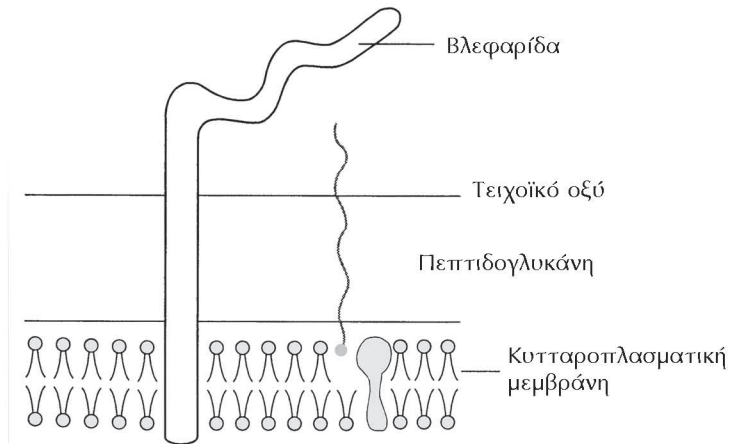
## 3. Έλυτρο

α. Μερικά βακτήρια παράγουν ένα πολυσακχαρίδιο που προσκολλάται στην εξωτερική επιφάνεια του κυττάρου και του προσδίδει αντιφαγοκυτταρικές ιδιότητες.

β. Το έλυτρο περιλαμβάνει αντιγόνα χρήσιμα για την ταυτοποίηση και ταξινόμηση των βακτηρίων.

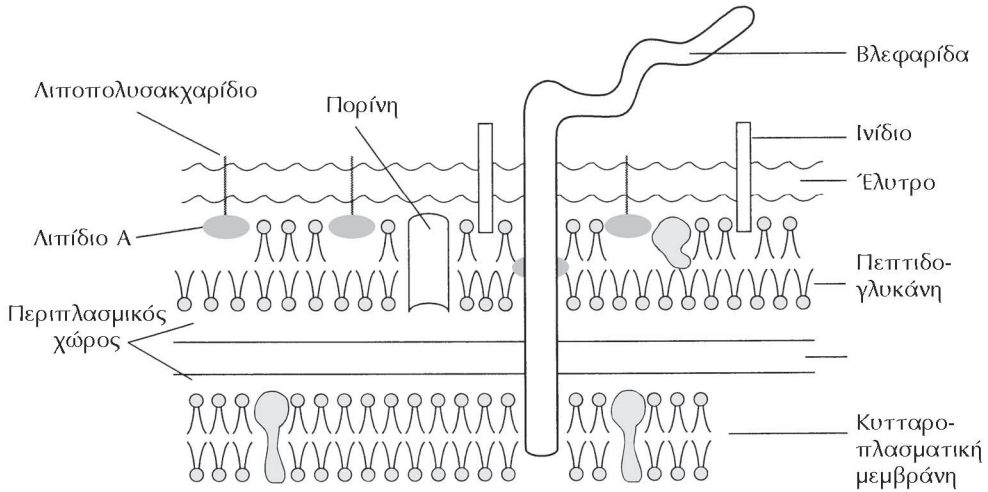
γ. Τα αντιγόνα του ελύτρου χρησιμοποιούνται επίσης και για την παραγωγή εμβολίων.

4. Γλυκοκάλυκας. Πρόκειται για μια δυσδιάκριτη κατασκευή που προσομοιάζει με έλυτρο, είναι όμως λεπτότερη και έχει ινιδώδη υφή. Πιστεύεται ότι δρα ως προσκολλητίνη.



**Σχήμα 1.** Δομή ενός υποθετικού Gram-θετικού βακτηρίου

5. Κυτταρικό τοίχωμα Gram-θετικών βακτηρίων (Σχήμα 1)
  - α. Τα Gram-θετικά βακτήρια φέρουν μία εξωτερική στοιβάδα από ένα πολύπλοκο μόριο που αναφέρεται ως μουρεΐνη, μουκοπεπτίδιο ή συχνότερα ως πεπτιδογλυκάνη.
  - β. Εντός του κυτταροπλάσματος, σε ένα πρώτο στάδιο σύνθεσης της πεπτιδογλυκάνης, συνδέονται μόρια ακετυλογλυκοζαμίνης και ακετυλομουραμικού οξέος. Στη συνέχεια, προστίθεται στο μουραμικό οξύ ένα πεπτίδιο, που αποτελείται από L-αλανίνη, D-αλανίνη, ένα διαμινοξύ, και άλλα αμινοξέα (σύνολο πέντε αμινοξέα).
  - γ. Η μεταφορά του συμπλέγματος από το πρωτόπλασμα στην επιφάνεια της εξωτερικής μεμβράνης, γίνεται από ένα μεγάλο λιπίδιο, τη βακτοπρενόλη, όπου και εναποτίθεται.
  - δ. Τα αιωρούμενα πενταπεπτίδια συνδέονται μεταξύ τους με τη δράση ενζύμων, των τρανσπεπτιδάσων. Οι τρανσπεπτιδάσες αφαιρούν μια τελική D-αλανίνη και εισάγουν ένα πεπτίδιο ως εγκάρσια γέφυρα.
  - ε. Η εγκάρσια μονάδα στους σταφυλόκοκκους είναι μία γέφυρα πενταγλυκίνης. Άλλα Gram-θετικά βακτήρια φέρουν διαφορετική εγκάρσια μονάδα.
6. Τειχοϊκά οξέα. Τα τειχοϊκά οξέα είναι ενσωματωμένα στα κυτταροπλασματικά λιπίδια μερικών Gram-θετικών βακτηρίων και εκτείνονται προς τα έξω διαμέσου της πεπτιδογλυκάνης .
  - α. Τα λιποτειχοϊκά οξέα περιέχουν μονάδες γλυκερόλης οι οποίες συνδέονται με φωσφορικές ομάδες.
  - β. Τα τειχοϊκά οξέα διεγείρουν τα μακροφάγα να εκκρίνουν ιντερλευκίνη-1 και τον α-παράγοντα της νέκρωσης των όγκων.
7. Κυτταροπλασματική μεμβράνη. Είναι μία τυπική μεμβράνη των Gram-θετικών βακτηρίων, αποτελούμενη από δύο στοιβάδες λιπιδίων. Σ' αυτήν εδράζονται οι βακτηριακές τρανσπεπτιδάσες.



**Σχήμα 2.** Το κυτταρικό τοίχωμα ενός υποθετικού Gram-αρνητικού βακτηρίου. Όλα τα κύτταρα δεν φέρουν υποχρεωτικά, βλεφαρίδα, έλυτρο ή ινίδιο.

### 8. Κυτταρικό τοίχωμα των Gram-αρνητικών βακτηρίων

- α. Η εξωτερική μεμβράνη των Gram-αρνητικών βακτηρίων αποτελείται από δύο στοιβάδες λιπιδίων (Σχήμα 2).
- β. Εντός της εξωτερικής εκ λιπιδίων μεμβράνης, βρίσκεται ο περιπλασμικός χώρος ο οποίος περιέχει ένζυμα και μία λεπτή στοιβάδα πεπτιδογλυκάνης.
- γ. Η κυτταροπλασματική μεμβράνη αποτελεί το εσώτερο δομικό στοιχείο.
- δ. Ένα λιποπολυσακχαρίδιο, το λιπίδιο Α, είναι ενσωματωμένο με το λιπιδικό του τμήμα στο εξωτερικό στρώμα των λιπιδίων.
  - Το λιπίδιο Α είναι ο τοξικό συστατικό του LPS. Περιγράφεται ως ενδοτοξίνη επειδή βρίσκεται στο εσωτερικό τμήμα του κυττάρου.
  - Το τμήμα που συνέχεται με το λιπίδιο Α και εκτείνεται έξω από την επιφάνεια του κυττάρου, αποτελείται από μία σειρά σακχάρων που είναι γνωστός ως σακχαρικός πυρήνας.
  - Επιπρόσθετα τελικά σακχαρίδια είναι συνδεδεμένα με τα σακχαρίδια του πυρήνα, τα οποία περιέχουν τους ειδικούς αντιγονικούς προσδιοριστές του μορίου.
  - Το LPS έχει ιδιότητες τοξίνης η οποία όμως δεν εκκρίνεται από το κύτταρο, γι αυτό και αποκαλείται ενδοτοξίνη. Είναι επίσης γνωστό ως σωματικό ή κυτταρικό αντιγόνο, ονομαζόμενο Ο αντιγόνο, διότι είναι ένα αντιγόνο του κυττάρου αυτό καθ' εαυτό.

9. Πορίνες. Οι πορίνες είναι πρωτεΐνες οι οποίες παρέχουν υδροφιλικές διόδους διαμέσου της κυτταροπλασματικής μεμβράνης. Η εξωτερική στοιβάδα των λιπιδίων των Gram-αρνητικών βακτηρίων είναι σχετικά διαβατή στις υδρόφοβες ουσίες.