

ნინო გაჩეჩილაძე

მიკრობიოლოგია, ვირუსოლოგია

## ლექცია 1

### მიკრობიოლოგიის შესავალი და მიკრობიოლოგიის განვითარების ისტორია

ჩვენი პლანეტა, ისევე, როგორც მთელი სამყარო, შედგება ცოცხალი არაცოცხალი ბუნებისაგან, რომლებიც ერთმანეთთან ურთიერთქმედებაშია ურთიერთობის მრავალგვარი ფორმები გაააჩნია. ცოცხალი ბუნება ქმნის ბიოსფერო მოიცავს მცენარეულ და ცხოველურ სამყაროს, ადამიანის ჩათვლით და ცხოველქმედების პროდუქტებს.

ბიოლოგია, არის მეცნიერება, რომელიც შეისწავლის ცოცხალ ორგანიზმებს მათ ბუნებას. ცოცხალი ორგანიზმები მნიშვნელოვან გავლენას ახდენენ:

- ატმოსფეროს აიროვან შემადგენლობაზე: უანგბადის, აზოტის, ნახშირორჟ კონცენტრაციაზე,
- ბუნებრივი წყლების შემადგენლობაზე,
- ზოგიერთი სასარგებლო წიაღისეულის (ნახშირის, ნავთობის) ფორმირებაზე
- აწარმოებენ ორგანული და არაორგანული ნივთიერებების წრებრუნვას,
- ასრულებენ სანიტარულ ფუნქციებს,
- გავლენას ახდენენ კლიმატურ პირობებზე და სხვა ეკოლოგიურ პარამეტრ რომლებშიც არსებობს და ცოცხლობს ყველაფერი ცოცხალი და მათ შორის ადამიანიც.

დედამიწაზე არსებული ყველა ცოცხალი ორგანიზმი შეიძლება პირობითად დავალოთ ორ დიდ ჯგუფად: მაკრო და მიკროსამყაროდ. მაკროსამყაროს განეკუთვნება ყველა ცოცხალი არსება რომლის დანახვაც შესაძლებელია შეუიარაღებელი თვალით (ადამიანი, ცხოველები, მწერები, მცენარეები), ხოლო მიკროსამყაროს კი ის ცოცხალი არსებობს რომელთა დანახვაც შეუძლებელია სხვადასხვა ოპტიკური ხელსაწყოთა გარეშე, მათ შორის უწოდებენ პროტისტებს.

მიკროსამყარო ძალზე მრავალფეროვანი და მრავალრიცხოვანია და მოიცავს როგორც მცენარეულ, ისე ცხოველურ წარმოშობის წარმომადგენლებს. მიკროორგანიზმები არიან სიცოცხლის ორგანიზაციის უძველესი ფორმები. წარმოიშვნენ დედამიწაზე ცხოველებისა და მცენარეების გაჩენამდე გაცილებით უძველესად.

ადრე, დაახლოებით 3-4 მილიარდი წლის წინ. დღესდღეობით მიკროორგანიზმები არიან ყველაზე მრავალრიცხოვანი და მრავალფეროვანი ჯგუფი ცოცხალი ორგანიზმებისა, რომლითაც დასახლებულია დედამიწა. მათ ყველას აერთიანებენ მიკრობების ტერმინის ქვეშ, რომელიც შემოიღო ფრანგმა მეცნიერმა სედილომ მე19ე საუკუნის ბოლოს.

მიკრობები მოიცავენ ბირთვის მქონე ერთ და მრავალუჯრედოვანი ორგანიზმებს – ეუკარიოტებს (*carion* ბერძნულად ნიშნავს ბირთვს), ანუ უმაღლეს პროტისტებს, რომელთაც განეკუთვნებიან: სოკოები, უმარტივესები და ზოგიერთი ბაქტერია, და პროკარიოტებს, ანუ “ბირთვამდე” მიკროორგანიზმებს, რომელთაც არა აქვთ ბირთვი – ესენი არიან უმეტესობა ბაქტერიებისა, ვირუსები – ნუკლეინის მუავის, ცილების, ფერმენტების შემცველი რთული ნაწილაკები და ინფექციური ცილოვანი ნაწილაკები ანუ პრიონები.

ასე რომ, მოლეკულურ-ბიოლოგიური ორგანიზაციის მიხედვით მიკრობთა სხვადასხვა ჯგუფები მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან: ზოგიერთი მათგანი წამოადგენს მხოლოდ რთულ მოლეკულას, მაგ: პრიონები, ან რთულ ნაწილაკებს, მაგ: ვირუსები, სხვები კი წარმოადგენენ სრულყოფილ, ბიოლოგიური სისტემების მქონე ორგანიზმებს, რომლებსაც შეუძლიათ ავტონომიური არსებობა და ცხოველქმედება, როგორც ბაქტერიებს, სოკოებს და უმარტივესებს.

მიკრობები ძალზე ფართოდ არიან გავრცელებული, ისინი არსებობენ ყველგან: ნიადაგში, ჰაერში, წყალში, ატმოსფეროში, კოსმოსში, ადამიანის, ცხოველთა და მცენარეთა ორგანიზმებში. მათი სახეობრივი შემადგენლობა ძალიან მრავალფეროვანია, მაგალითად მხოლოდ ბაქტერიების 100 000 ზე მეტი სახეობაა ცნობილი, სოკოების კი 250 000მდე. ადამიანის ორგანიზმში “ცხოვრობს”  $10^{13-14}$  ბაქტერია, ამავდროულად ასობით და ათასობით სოკო, ვირუსი და უმარტივესი. ეს ნიშნავს, რომ ადამიანის ყოველ ერთ უჯრედზე მოდის რამდენიმე მიკრობი. მიკრობები, რომლებიც სახლობენ ადამიანის ორგანიზმში ქმნიან მის მიკროეკოლოგიას, რომელიც უზრუნველყოფს როგორც ადამიანის ორგანიზმის ნორმალურ ცხოველქმედებას, ისე დიდ როლს ასრულებს პათოლოგიურ პროცესებში. გარემოში – წყალში, ჰაერში, ნიადაგში, საცხოვრებელ გარემოში, საკვებ პროდუქტებში არსებული მიკრობებიც თავისთავად დიდ გავლენას ახდენენ ბიოლოგიურ, ბუნებრივ და სანიტარულ პირობებზე იმ არეალში, რომელშიც ცოცხლობს ადამიანი.

მიკრობებსა და სხვა ცოცხალ და არაცოცხალ ბუნებას შორის არსებობს კავშირი – ბიოცენოზი. ადამიანსა და მიკრობებს შორის ჩამოყალიბებული ბიოცენოზი შეიძლება სხვადასხვა სახის იყოს.

ადამიანის და მიკრობის ურთიერთობა შეიძლება დაიყოს:

- **ნეიტრალიზმად** – როდესაც არცერთი მხარე ერთმანეთის ცხოველქმედებაზე არ ახდენს გავლენას და
- **სიმბიოზად** – როდესაც მიკრო და მაკრო ორგანიზმს შორის ყალიბდება გარკვეული ურთიერთობები და ისინი რაღაც ხასიათს იძენენ
  1. თუ ეს ურთიერთობები “მშვიდობიანია” და ორივე მხარე ერთმანეთისაგან სარგებელს ნახულობს, საუბრობენ **მუტუალიზმზე** და მუტუალისტურ სიმბიოზზე,
  2. თუ ურთიერთობები მომგებიანია მხოლოდ ერთი “პარტნიორისათვის” საუბრობენ **კომენსალიზმზე**
  3. ხოლო, თუ ერთის არსებობა აზარალებს და ვნებს მეორეს, ეს არის **პარაზიტიზმი ანუ ანტაგონისტური სიმბიოზი.**

ამ ურთიერთობებიდან გამომდინარეობს მიკრობების დაყოფა **პათოგენურ** და **არაპათოგენურ** მიკროორგანიზმებად (ბერძნული სიტყვიდან *patos* დააგადება).

**პათოგენურია** ის მიკრობი, რომელსაც შეუძლია ადამიანში (ან ცხოველში) დაავადების გამოწვევა, ხოლო **არაპათოგენურია** ის – რომელიც არ იწვევს დაავადებას. არსებობს კიდევ **პირობით პათოგენური** მიკრობები, რომლებიც ნორმაში არ იწვევენ არანაირ დაავადებას და მხოლოდ გარკვეულ პირობებში “გარდაიქმნებიან” პათოგენურებად.

მიკრობების არსებობა დედამიწაზე მათი შესწავლის “მიზეზი” გახდა. ბიოლოგია შეისწავლის ცოცხალ ორგანიზმებს (ლათინური სიტყვიდან bios – სიცოცხლე), ხოლო მიკრობებს, მათ მორფოლოგიას, ფიზიოლოგიას, გენეტიკას, სისტემატიკას, ეკოლოგიას და ურთიერთობას სიცოცხლის სხვა ფორმებთან კი შეისწავლის ბიოლოგიის ერთ – ერთი დარგი **მიკრობიოლოგია** (ბერძნული სიტყვიდან micros – მცირე).

მიკრობთა სამყაროს მრავალფეროვნებამ განაპირობა მიკრობიოლოგიის დარგის დიფერენციაცია სხვადასხვა მიმართულებებად. დღესდღეობით ასხვავებენ:

**ზოგად მიკრობიოლოგიას** – რომელიც შეისწავლის მიკრობთა სტრუქტურას, ფიზიოლოგიას, ბიოქიმიას, გენეტიკას, ევოლუციასა და ეკოლოგიას

და კერძო მიკრობიოლოგიას რომელიც მოიცავს:

- სამედიცინო მიკრობიოლოგიას, სადაც ერთიანდება კლინიკური ბაქტერიოლოგია, ვირუსოლოგია, მიკოლოგია, პროტოზოოლოგია, სანიტარული მიკრობიოლოგია
- ვეტერინარულ მიკრობიოლოგიას
- საწარმოო ანუ ტექნიკურ მიკრობიოლოგიას
- სოფლის მეურნეობის მიკრობიოლოგიას
- კოსმოსურ მიკრობიოლოგიას

მიკრობიოლოგიის, როგორც დარგის განვითარება რამდენიმე ისტორიულ პერიოდს მოიცავს. ესენია:

1. **ვერესტიული** (ვერისტიკა – ნიშნავს მიხედვრას) პერიოდი – იწყება ჰიპოკრატეს (IV - III საუკ. ძვ. წ) მოსაზრებებით იმის შესახებ, რომ ადამიანიდან ადამიანზე გადამცემი დაავადებები გამოწვეულია უხილავი, არაცოცხალი ნივთიერებებით, რომელთაც ჰიპოკრატემ უწოდა “მიაზმა”. X საუკუნეში ტაჯიკმა ფილოსოფოსმა აბუ ალი იბნ სინამ, ლათინურად ავიცენამ თავის ნაშრომებში ანატომიის, ფიზიოლოგიისა და ბიოლოგიის მთელ რიგ საკითხებთან ერთად წამოაყენა ჰიპოთეზა ზოგიერთი დაავადების თვალთ უხილავი გამომწვევი აგენტების შესახებ. რენესანსის ეპოქაში 1374წ ვენეციაში გამოიცა ბრძანება შავ ჭირზე საეჭვო პირთა 40 დღით იზოლაციის შესახებ (quaranta giorni), საიდანაც წარმოიშვა ტერმინი *კარანტინი*, ანუ არსებობდა ეჭვი დაავადებათა რაღაც აგენტით გადაცემის შესახებ. XV – XVI სს იტალიელმა ექიმმა ჯერალდომო ფრაკასტორომ ჩამოაყალიბა აზრი, რომ დაავადებებს იწვევენ ცოცხალი “კონტაგიები”, რომლებიც გადაეცემიან ჰაერით ანდა მოხმარების საგნებით და რომ ეს არსებები ცოცხლობენ იგივე საარსებო გარემოში, რომელშიც ადამიანები და რომ დაავადებებთან საბრძოლველად აუცილებელია დაავადებული ადამიანის იზოლაცია და ა. შ. ამ მოსაზრებების გამო ფრაკასტორომ ითვლება ეპიდემიოლოგიის ფუძემდებლად. მან პირველმა აღწერა: ნატურალური ევავილი, ცოფი, წითელა, კეთრი და ივარაუდა ამ დაავადებების გავრცელებაში ცოცხალი აგენტების მონაწილეობა, რომლებსაც აქვთ გამრავლების უნარი.

2. **მორფოლოგიური, იგივე საწყისი პერიოდი XVII – XVIII სს**

გერმანელმა მეცნიერმა და სწავლულმა იეზუიტმა ათანასე კირხერმა (1602 – 1680 წ) მძლავრი ლუპის საშუალებით, რომელიც მხოლოდ 32 ჯერად გადიდებას იძლეოდა, დამპალ ხორცში, რძეში, ძმარში და ა. შ. დაინახა უმცირესი “ჭიები” (როგორც მან უწოდა) და ივარაუდა ამ “ჭიების” როლი ზოგიერთ დაავადებაში, მაგრამ კირხერის ლუპაში დანახულ “ჭიებს” აღიარება არ მოჰყოლია. მიკრობების “ოფიციალური” აღმოჩენი გახდა ანტონ ვან ლევენჰუკი (1632 – 1723), ჰოლანდიელი ვაჭარი, რომელმაც მინების დამუშავებით შექმნა ლინზების სისტემა, პრიმიტიული მიკროსკოპი, რომელიც იძლეოდა 150-300 ჯერად გადიდებას. ლევენჰუკმა წვიმის წყალში, კბილების ნაღებში, დამპალ ხორცში აღმოაჩინა ცოცხალი უმცირესი “მხეცები” – ანიმალკულტესი, როგორც მან უწოდა. ამით დადასტურდა მიკრობების არსებობა, მაგრამ მათი მონაწილეობა დაავადებებში ჯერ დამტკიცებული არ იყო. კაცობრიობას უჭირდა ადამიანებისა და ცხოველების სამყაროს გარდა კიდევ მესამე სამყაროს არსებობის აღიარება. ადამიანის პათოლოგიურ პროცესებში მიკრობთა როლის დასადასტურებლად დაიწყო ცხოველებზე ცდების ჩატარება, მოგვიანებით ფრანგმა მედიკოსმა ჰენლემ ჩამოაყალიბა იდეა ინფექციებისა და მათ გამომწვევებს შორის კავშირის შესახებ. ჰენლემ პირველმა დაადგინა, რომ ინფექციის გამომწვევს აქვს უნარი გამრავლდეს ქსოვილებში, გავრცელდეს და გამოიწვიოს დაავადების კონკრეტული, ტიპური მიმდინარეობა. მე XIX – ე საუკუნის ბოლოს რუსი მეცნიერის, ბოტანიკოსი ივანოვსკის მიერ აღმოჩენილი იქნა ვირუსები – დაავადების გამომწვევი უმცირესი აგენტები, რომლებიც გადიოდნენ ბაქტერიულ ფილტრებში.

**3. ფიზიოლოგიური, იგივე პასტერის და იმუნოლოგიური პერიოდი. მე XIX ე საუკუნის შუა პერიოდიდან ინტენსიურად დაიწყო ბაქტერიების ფიზიოლოგიის შესწავლა.**

ადამიანი უხსოვარი დროიდან სპირტული დუღილის შედეგად, რომელსაც აწარმოებენ ბაქტერიები, იღებდა ყურძნის ღვინოს, მაგრამ თვითონ პროცესის ბუნება მისთვის უცნობი რჩებოდა. საფრანგეთსა და სხვა სახელმწიფოებში განვითარებული ღვინის წარმოება რიგი ბიოტექნოლოგიური საკითხების გადაწყვეტას მოითხოვდა. მედიცინის სფეროშიც მომწიფდა უამრავი კითხვა გადამდებ ინფექციების ბუნებასთან, ჭრილობების დაწირების მიზეზებთან დაკავშირებით. ამ საკითხების უმრავლესობა გადაჭრა ფრანგმა მეცნიერმა, ქიმიკოსმა ლუი პასტერმა (1822 – 1895წ). პასტერმა ექსპერიმენტულად დასაბუთა, რომ სპირტული დუღილი გამოწვეულია განსაზღვრული სახეობის მიკროორგანიზმებით, ღვინის დამძარება კი გამოწვეულია სხვა სახის ბაქტერიების მიერ წარმოებული ძმარმეავა დუღილით. პასტერმა აგრეთვე დაუშვა, რომ ადამიანის

დაავადებები წარმოადგენდნენ დუდილის მსგავსს პროცესს, გამოწვეულს სხვადასხვა მიკროორგანიზმებით, რომლებიც ოპერაციების შემდეგ ჩირქოვანი გართულებების მიზეზი ხდებოდნენ. პასტერი ამტკიცებდა, რომ მშობიარეთა ცხელება, ფურუნკულოზი, ოსტეომიელიტი, ჯილეხი და სხვა დაავადებები მიკროორგანიზმებით იყო გამოწვეული.

პასტერის აღმოჩენებმა საფუძველი ჩაუყარა მთელ რიგ მეცნიერებებს: იმუნოლოგიას, მიკრობიოლოგიას, ბიოტექნოლოგიას, სტერეოქიმიას.

მან პირველმა აღმოაჩინა;

1. დუდილი და აღწერა მისი ბუნება – პასტერმა დაამტკიცა რძემჟავა, სპირტული, ძმარმჟავა დუდილის მიკრობული ბუნება და ამ პროცესებში მიკრობული ფერმენტების მონაწილეობა
2. ანაერობიოზი – პასტერის მიერ დამტკიცებული იქნა ის ფაქტი, რომ ზოგიერთი ბაქტერია არა თუ ვერ უძლებს ჟანგბადიან გარემოს, არამედ იზდება და მრავლდება მხოლოდ უჟანგბადო არეში,
3. სტერილიზაციის პრინციპები – ღვინის დაავადებებთან ბრძოლისათვის პასტერმა გამოიყენა მისი გათბობა 50-60°C მდე, იმისათვის რომ მოესპო ბქტერიები, რომელიც მის დაძმარებას იწვევენ, ამ მეთოდით კი მან საფუძველი ჩაუყარა სტერილიზაციის პრინციპს, რომელიც დღემდე პასტერიზაციის სახელით არის ცნობილი,
4. პასტერმა უარყო მის დროს გავრცელებული თვითნასახვის თეორია – პასტერის დროს ითვლებოდა, რომ ყველა ცოცხალი არსება თვითწარმოიშვებოდა: მაგ, ტარაკნები – ჭუჭყიდან, ბაყაყები – შლამიდან, ასევე თვლიდნენ, რომ მიკრობებიც თვითწარმოიშვებოდნენ. მაგრამ პასტერმა დაამტკიცა, რომ თუ სტერილურ ბულიონის ზედაპირს შეხება არ ექნებოდა ჰაერთან, იგი არ დაბინძურდებოდა ბაქტერიებით, ესე იგი, ბაქტერიების თვითწარმოქმნა არ ხდებოდა,
5. პასტერმა შეიმუშავა ვაქცინაციის პრინციპები და ვაქცინების მიღების მეთოდები

პასტერის მიერ პირველად იქნა შემუშავებული ვაქცინა ქათმის ქოლერის გამომწვევის მიმართ. თუმცა 1797 წ. პასტერის ცდებამდე გაცილებით ადრე, ინგლისელი ექიმის ედუარდ ჯენერის მიერ მიღებული იქნა ვაქცინა ინფექციური დაავადების - ყვავილის გამომწვევის მიმართ. ჯენერმა ძროხის ყვავილის გამომწვევი შეუყვანა ადამიანს, რითაც მან გამოიწვია მსუბუქი იმუნიზაცია და ადამიანი შემდგომში ყვავილით აღარ დაავადდა.

ამ ვაქცინამ ნამდვილი აღიარება პასტერის ცდების შემდეგ მოიპოვა. პასტერმა აჩვენა, რომ სხვადასხვა გზით დასუსტებული (დასხივებით, ტემპერატურული ზემოქმედებით და სხვ.) ინფექციური აგენტის, მაგ; ქათმის ქოლერის ან ცოფის გამომწვევის შეყვანა ადამიანში იწვევდა შემდგომში ამ ორგანიზმის მდგრადობას ამავე დაავადების მიმართ, მან შექმნა ვაქცინაციის პრინციპის დასაბუთება.

ყველაზე მნიშვნელოვანი იყო პასტერის მიერ ცოფის ვაქცინის შექმნა. მან ცოფით დაავადებული ძაღლების და ბოცვრების თავის ტვინიდან მიიღო ცოფის ცოცხალი გამომწვევი, არასწორი კულტივირებით დაასუსტა იგი და გამოიყენა როგორც ვაქცინა. აღსანიშნავია, რომ პირველი ქვეყანა, სადაც მოხდა ცოფის ვაქცინის წარმოება იყო რუსეთი. რუსმა მეცნიერმა ი. მეჩნიკოვმა და ნ. გამალეიამ ოდესაში ჩამოაყალიბეს სადგური, რომელმაც უწოდეს პასტერის სახელი და სადაც ხდებოდა ცოფის ვაქცინის წარმოება.

ინგლისელმა ექიმმა იოზეფ ლისტერმა ერთ-ერთმა პირველმა დააფასა პასტერის აღმოჩენების მნიშვნელობა და გამოიყენა იგი ქირურგიული ოპერაციების დროს. სწორედ მან დანერგა კლინიკურ პრაქტიკაში ასეპტიკის მეთოდი, რაც მდგომარეობს ყველა ქირურგიული ინსტრუმენტისა და საოპერაციო უბნის პროფილაქტიკურ დამუშავებაში სადენზიფექციო ხსნარების საშუალებით. ამ გზით მან შექმნა ოპერაციების შემდგომი სიკვდილიანობის მკვეთრი შემცირება.

პასტერის პარალელურად გერმანიაში მოღვაწეობდა რობერტ კოხი (1843 – 1910), მეცნიერი, რომელმაც უდიდესი როლი შეასრულა მიკრობიოლოგიური კვლევის მეთოდების შექმნასა და დახვეწაში. მან შემოიტანა ბაქტერიული კულტურის, სუფთა კულტურის ცნება, მან პირველმა აღმოაჩინა ტუბერკულოზის გამომწვევი (ე.წ. კოხის ჩხირი) და ქოლერის ვიბრიონი. მან მიიღო ტუბერკულოზის საწინააღმდეგო პირველი პრეპარატი ტუბერკულინი და ჩამოაყალიბა ინფექციური სნეულებების დამადასტურებელი მყარი კრიტერიუმები, რომლებიც ცნობილი იყო როგორც გენტლე (გერმანელი მეცნიერი) – კოხის ტრიადა. ინფექციურ სნეულებებში მიკროორგანიზმების მონაწილეობის ფაქტებს ასახავდა:

1. ამა თუ იმ მიკრობის აღმოჩენა დაავადებულ პირში და მისი არ არსებობა ჯანმრთელ პირში,
2. მიკრობის გამოყოფა და მისი სუფთა კულტურის მიღება და

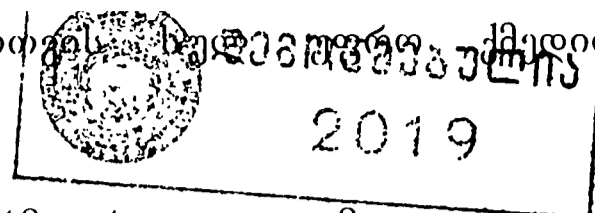
3. ამ სუფთა კულტურის მიერ ექსპერიმენტულ ცხოველში შეყვანის შემდეგ დაავადების იგივე სურათის მიღება, რაც ავადმყოფ ადამიანს ახასიათებდა.

დღესდღეობით ამ თეორიამ ბევრი "ცვლილება" განიცადა, მაგრამ იმ დროისათვის ეს უდიდესი კვლევა იყო. რ. კოხს 1905 წ. მიენიჭა ნობელის პრემია მედიცინაში.

დაახლოებით XX საუკუნის 20 იან წლებში იქნა აღმოჩენილი ბაქტერიების უნარი წარმოქმნან ტოქსინები და პირველად გამოიყო დიფტერიული ეგზოტოქსინი. ანტიტოქსიური შრატების და ვაქცინების შექმნამ საფუძველი ჩაუყარა ახალ მეცნიერებას – იმუნოლოგიას, რომლის ერთ – ერთი ფუძემდებელი იყო ი. მენიკოვი (1845 – 1917) – ფაგოციტარული ანუ უჯრედული თეორიის დამაარსებელი. 1915 წ. რუსმა მეცნიერმა მ. რაისკმა პირველმა აღმოაჩინა იმუნოლოგიური მეხსიერების მოვლენა. იმუნოლოგიისა და ქიმიოთერაპიის განვითარებაში ასევე უდიდესი როლი შეასრულა პაულ ერლიხმა, რომელმაც პირველმა ივარაუდა იმუნურ პასუხში ანტისხეულების მონაწილეობა და საერთოდ მათი არსებობა. 1900 წელს რ. კოხმა აღმოაჩინა იმუნური სისტემის რეაგირების ახალი ფორმა, რომელსაც უწოდა დაყოვნებული ტიპის ჰიპერმგრძობელობა. ერლიხს, როგორც ჰუმორული იმუნიტეტის თეორიის და მენიკოვს, როგორც ფაგოციტარული თეორიის ფუძემდებლებს 1908 წ. მიენიჭა ნობელის პრემია, იმუნოლოგიის დარგში.

4. XIX საუკუნის ბოლოს და XX საუკუნის დასაწყისში აღმოჩენილი იქნა ვირუსები - ინფექციის გამომწვევი უმცირესი აგენტები, რომლებიც გადიოდნენ ბაქტერიულ ფილტრებში, ვინაიდან ისინი ბევრად უფრო პატარა ზომის იყვნენ ვიდრე ბაქტერიული ფილტრის ფორები. მათ ფილტრირებადი აგენტები შეარქვეს. ელექტრონული მიკროსკოპის აღმოჩენამდე ვირუსების კვლევა აქტიურად ვერ მიმდინარეობდა. შემდგომში ამ აღმოჩენებს მიჰყვა რიკეტსიების, ქლამიდიების, უმარტივესების, მიკოპლაზმების და სხვ ბაქტერიების აღმოჩენა. შეიქმნა ანატოქსინები – დიფტერიის, ტეტანუსის. შემუშავდა სადიაგნოსტიკო სეროლოგიური მეთოდები. 30-იან წლებში შეიქმნა მალარიის საწინააღმდეგო წამალი. მეორე მსოფლიო ომის პერიოდში, 1940 წ. ინგლისელი მეცნიერების ე. ჩეინისა და გ. ფლორის მიერ მიღებულ იქნა ჯერ კიდევ 1928 წ. ასევე ინგლისელი მეცნიერის ფლემინგის მიერ აღმოჩენილი სოკო Penicillium მიერ სინთეზირებული ნივთიერება, რომელსაც პენიცილინი ეწოდა. პენიცილინის მიღებამ საფუძველი ჩაუყარა ანტიბიოტიკების ერას. 1943 წ. დაიწყო პენიცილინის სერიული წარმოება, შეერთებულ შტატებში, რუსეთში მას აწარმოებდა ზ. ერმოლიევა. ხოლო 1944 წ. ამერიკელმა მეცნიერმა ე. ვაკსმანმა აქტინომიცეტებიდან გამოიყო სტრეპტომიცინი. დაიწყო

ანტიბიოტიკების ქიმიური გზით მიღება და მათი რადიკალების მიერთება.



1560

5. XX საუკუნის მეორე ნახევარში სამეცნიერო-ტექნიკურმა რევოლუციამ და კვლევის ახალი ხელსაწყოების შექმნამ განაპირობა მიკრობიოლოგიის, იმუნოლოგიისა და ვირუსოლოგიის ძალზე სწრაფი განვითარება. თავის მხრივ გენეტიკის განვითარებამ საფუძველი ჩაუყარა კვლევების მოლეკულურ-გენეტიკურ მიდგომას. არაქრომოსომული ელემენტების – პლაზმიდების, ტრანსპოზონების და IS თანმიმდევრობების აღმოჩენამ შესაძლებელი გახადა ქიმიოთერაპიულ პრეპარატების დახვეწა და მათ მიმართ ამ ფაქტორების მიერ განპირობებული რეზისტენტობის მოხსნა, ან შემცირება. 60 -70 წ. ჩამოყალიბდა გენური ინჟინერია, რომელმაც ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების (ჰორმონების, ფერმენტების, ინტერფერონების, ანტიბიოტიკების, ვაქცინების) წარმოებაში ახალი მეთოდები შემოიტანა. აღმოჩენილი იქნა შიდსისა და T ლეიკოზების გამომწვევი ვირუსები. დაინერგა მკურნალობის ახალი მეთოდები და შეიქმნა ახალი ქიმიოპრეპარატები.

მიკრობიოლოგია დღესდღეობით ბიოლოგიის ერთ-ერთი ძირითადი დისციპლინაა. მიკროორგანიზმების თავისებურებების ცოდნის გარეშე გაუგებარი იქნებოდა დედამიწაზე მიმდინარე პროცესები. მიკრობიოლოგიის ცოდნის გარეშე წამოუდგენელია ისეთი დარგების განვითარება როგორცაა: ბიოქიმია, მოლეკულური ბიოლოგია, გენეტიკა, გენური ინჟინერია, ბიოფიზიკა, ეკოლოგია, იმუნოლოგია, ბიოტექნოლოგია, სასოფლო სამეურნეო დარგები. მიკრობები არიან უამრავი ბიოაქტიური ნივთიერებების პროდუცენტები: ფერმენტების, ანტიბიოტიკების, ამინომჟავების, ვიტამინების, საკვები ცილების. მათი მიღება და გამოყენება შეუძლებელია ბაზისური მიკრობიოლოგიის ცოდნის გარეშე. მიკრობები წარმოადგენენ გენური ინჟინერიისათვის საკვლევ მასალას. მიკროორგანიზმები მონაწილეობენ ნიადაგის ფენების და სასარგებლო წიაღისეულის ჩამოყალიბებაში. შესაბამისად, მიკრობიოლოგიის ცოდნა აუცილებელია ყველა ბიოლოგისათვის, ბიოტექნოლოგიურ დარგებში, სასოფლო სამეურნეო დარგებში, ასევე, გეოლოგიურ დისციპლინებში მომუშავე პირთათვის - პრაქტიკულად ყველა სიცოცხლის შემსწავლელი მეცნიერებისათვის.

მიკრობიოლოგია და იმუნოლოგია ასევე, ეხება და კვეთს ყველა სამედიცინო დისციპლინას: ქირურგიას, თერაპიას, ონკოლოგიას, ნევროლოგიას, უროლოგიას, ოფთალმოლოგიას, პედიატრიას, სტომატოლოგიას, ინფექციურ სნეულებებს, ფარმაცევტულ დისციპლინებს. ამიტომ, ნებისმიერი ექიმისათვის მიკრობიოლოგიის

ცოდნა აუცილებელია. ინფექციური დაავადებები მიუხედავად ცივილიზაციის განვითარებისა, გავრცელების მიხედვით პირველ ადგილზე გადის, ხშირად ქირურგიულ ჩარევას ან მედიკამენტურ თერაპიას მივყავართ ნორმალური მიკროფლორის დარღვევამდე და ექიმს უნდა შეეძლოს ასეთი სიტუაციის ანალიზირება და სწორი მკურნალობის შერჩევა, პლანეტის მოსახლეობა ცხოვრობს გარკვეულ ეკოლოგიურ გარემოში, რომელიც განპირობებულია კლიმატური, სოციალური და სხვა მოვლენებით და ამ ყველაფერს გავლენა აქვს მიკროფლორაზე, როგორც გარემოში არსებულ მიკროფლორაზე, ასევე ადამიანის აუტოფლორაზეც. შესაბამისად, ექიმი უნდა ერკვეოდეს ელემენტარულ ეკოლოგიურ და სანიტარულ მიკრობიოლოგიაში და ასევე, ექიმების განკარგულებაშია იმუნობიოლოგიური და ანტიმიკრობული პრეპარატების უზარმაზარი არსენალი და მათი გამოყენება უნდა იცოდეს ნებისმიერმა ექიმმა, ხოლო მათი გამოყენების ცოდნა შეუძლებელია მიკრობიოლოგიური ცოდნის გარეშე.

## ლექცია № 2

ნებისმიერი ცოცხალი ორგანიზმის ელემენტარულ ფიზიკურ ერთეულს წარმოადგენს უჯრედი. უჯრედი არის უმცირესი სიცოცხლისუნარიანი “წარმონაქმნი”. ქიმიური შემადგენლობის მიხედვით ყველა ცოცხალი არსება ძალიან მსგავსია ერთმანეთის. ნებისმიერი ტიპის უჯრედის კომპონენტები არიან: დეზოქსირიბონუკლეინის მჟავა (დნმ), რიბონუკლეინის მჟავა (რნმ), ცილები, ლიპიდები, ფოსფოლიპიდები. მაგრამ სხვადასხვა ტიპის და წარმოშობის უჯრედის შესწავლამ ცხადყო, რომ ბაქტერიულ, მცენარეულ და ცხოველურ უჯრედს შორის არის გარკვეული სხვაობები. მცენარეული და ცხოველური უჯრედები მიეკუთვნებიან ეუკარიოტებს, ხოლო უმეტესობა მიკროორგანიზმებისა, სოკოებისა და უმარტივესების გარდა, არიან პროკარიოტები. სწორედ უჯრედის აგებულებით განსხვავდებიან პრო და ეუკარიოტები ერთმანეთისაგან.

ეუკარიოტებს გააჩნიათ ბირთვი, სადაც თავმოყრილია ეუკარიოტული უჯრედის ძირითადი გენომი. გენომი წარმოდგენილია ქრომოსომების ნაკრებით, რომლებიც მიტოზური გზით ორმაგდება და გადაეცემა შვილეულ უჯრედებს. ეუკარიოტული უჯრედი კომპარტმენტიზირებულია, იგი შეიცავს ორგანელებს – მიტოქონდრიებს, დიდ რიბოსომებს (80S), ლიზოსომებს, ქლოროპლასტებს, გოლჯის კომპლექსს და სხვ..

პროკარიოტებს – არა აქვთ მემბრანით გამოყოფილი ნამდვილი ბირთვი. დნმ თავისუფლად არის “შეწონილი” ციტოპლაზმაში. მათ არ გააჩნიათ უჯრედული ცენტრი. პროკარიოტული უჯრედი ორგანელებს არ შეიცავს, კომპარტმენტიზირებული არ არის და რიბოსომები უფრო მცირე ზომის აქვს (70S), ვიდრე ეუკარიოტებს. პროკარიოტებს არ ახასიათებთ მიტოზი, ისინი მრავლდებიან ჩვეულებრივი ბინარული გაყოფით და არსებობენ ჰაპლოიდურ მდგომარეობაში.

პრო და ეუკარიოტული უჯრედების მეტაბოლიზმის ტიპებიც განსხვავდება ერთმანეთისაგან და ასევე, თუ უმეტეს ეუკარიოტებს აუცილებლად სჭირდებად უანგბადი თავიანთი ცხოველქმედებისათვის, პროკარიოტების ბევრი ჯგუფი უპრობლემოდ არსებობს უუანგბადო არეშიც.

პრო და ეუკარიოტული უჯრედის მოკლე დახასიათება

დახასიათება	პროკარიოტული უჯრედი	ეუკარიოტული უჯრედი
ბირთვი	–	+
მიტოზური გაყოფა	–	+
დნმ + პისტონები	–	+
ქრომოსომების რაოდენობა	1	1 >
ორგანელები	–	+
რიბოსომების ზომა	70S	80S

მიკრობებსა და სხვა ცოცხალ და არაცოცხალ ბუნებას შორის არსებობს კავშირი – **ბიოცენოზი**. ადამიანსა და მიკრობებს შორის ჩამოყალიბებული ბიოცენოზი შეიძლება სხვადასხვა სახის იყოს.

ადამიანის და მიკრობის ურთიერთობა შეიძლება დაიყოს:

- **ნეიტრალიზმად** – როდესაც არცერთი მხარე ერთმანეთის ცხოველქმედებაზე არ ახდენს გავლენას და
- **სიმბიოზად** – როდესაც მიკრო და მაკრო ორგანიზმს შორის ყალიბდება გარკვეული ურთიერთობები და ისინი რაღაც ხასიათს იძენენ
  1. თუ ეს ურთიერთობები “მშვიდობიანია” და ორივე მხარე ერთმანეთისაგან სარგებელს ნახულობს, საუბრობენ **მუტუალიზმზე** და მუტუალისტურ სიმბიოზზე,
  2. თუ ურთიერთობები მომგებიანია მხოლოდ ერთი “პარტნიორისათვის” საუბრობენ **კომენსალიზმზე**
  3. ხოლო, თუ ერთის არსებობა აზარალებს და ვნებს მეორეს, ეს არის **პარაზიტიზმი ანუ ანტაგონისტური სიმბიოზი**.

ამ ურთიერთობებიდან გამომდინარეობს მიკრობების დაყოფა **პათოგენურ** და **არაპათოგენურ** მიკროორგანიზმებად (ბერძნული სიტყვიდან *patos* დააგადაცა).

**პათოგენურია** ის მიკრობი, რომელსაც შეუძლია ადამიანში (ან ცხოველში) დაავადების გამოწვევა, ხოლო **არაპათოგენურია** ის – რომელიც არ იწვევს დაავადებას. არსებობს კიდევ პირობით პათოგენური მიკრობები, რომლებიც ნორმაში არ იწვევენ არანაირ დაავადებას და მხოლოდ გარკვეულ პირობებში “გარდაიქმნებიან” პათოგენურებად.

მიკრობების არსებობა დედამიწაზე მათი შესწავლის “მიზეზი” გახდა. ბიოლოგია შეისწავლის ცოცხალ ორგანიზმებს (ლათინური სიტყვიდან bios – სიცოცხლე), ხოლო მიკრობებს, მათ მორფოლოგიას, ფიზიოლოგიას, გენეტიკას, სისტემატიკას, ეკოლოგიას და ურთიერთობას სიცოცხლის სხვა ფორმებთან კი შეისწავლის ბიოლოგიის ერთ – ერთი დარგი **მიკრობიოლოგია** (ბერძნული სიტყვიდან micros – მცირე).

მიკრობთა სამყაროს მრავალფეროვნებამ განაპირობა მიკრობიოლოგიის დარგის დიფერენციაცია სხვადასხვა მიმართულებებად. დღესდღეობით ასხვავებენ:

**ზოგად მიკრობიოლოგიას** – რომელიც შეისწავლის მიკრობთა სტრუქტურას, ფიზიოლოგიას, ბიოქიმიას, გენეტიკას, ევოლუციასა და ეკოლოგიას

## და კერძო მიკრობიოლოგიას რომელიც მოიცავს:

- სამედიცინო მიკრობიოლოგიას, სადაც ერთიანდება კლინიკური ბაქტერიოლოგია, ვირუსოლოგია, მიკოლოგია, პროტოზოოლოგია, სანიტარული მიკრობიოლოგია
- ვეტერინარულ მიკრობიოლოგიას
- საწარმოო ანუ ტექნიკურ მიკრობიოლოგიას
- სოფლის მეურნეობის მიკრობიოლოგიას
- კოსმოსურ მიკრობიოლოგიას

მიკრობიოლოგიის, როგორც დარგის განვითარება რამდენიმე ისტორიულ პერიოდს მოიცავს. ესენია:

1. **ვერესტიული** (ეკრისტიკა – ნიშნავს მიხედვრას) პერიოდი – იწყება ჰიპოკრატეს (IV - III საუკ. ძვ. წ) მოსაზრებებით იმის შესახებ, რომ ადამიანიდან ადამიანზე გადამცემი დაავადებები გამოწვეულია უხილავი, არაცოცხალი ნივთიერებებით, რომელთაც ჰიპოკრატემ უწოდა “მიაზმა”. X საუკუნეში ტაჯიკმა ფილოსოფოსმა აბუ ალი იბნ სინამ, ლათინურად ავიცენამ თავის ნაშრომებში ანატომიის, ფიზიოლოგიისა და ბიოლოგიის მთელ რიგ საკითხებთან ერთად წამოაყენა ჰიპოთეზა ზოგიერთი დაავადების თვალთ უხილავი გამომწვევი აგენტების შესახებ. რენესანსის ეპოქაში 1374წ ვენეციაში გამოიცა ბრძანება შავ ჭირზე საეჭვო პირთა 40 დღით იზოლაციის შესახებ (quaranta giorni), საიდანაც წარმოიშვა ტერმინი *კარანტინი*, ანუ არსებობდა ეჭვი დაავადებათა რაღაც აგენტით გადაცემის შესახებ. XV – XVI სს იტალიელმა ექიმმა ჯერალდომო ფრაკასტორომ ჩამოაყალიბა აზრი, რომ დაავადებებს იწვევენ ცოცხალი “კონტაგიები”, რომლებიც გადაეცემიან ჰაერით ანდა მოხმარების საგნებით და რომ ეს არსებები ცოცხლობენ იგივე საარსებო გარემოში, რომელშიც ადამიანები და რომ დაავადებებთან საბრძოლველად აუცილებელია დაავადებული ადამიანის იზოლაცია და ა. შ. ამ მოსაზრებების გამო ფრაკასტორო ითვლება ეპიდემიოლოგიის ფუძემდებლად. მან პირველმა აღწერა: ნატურალური ყვავილი, ცოფი, წითელა, კეთრი და ივარაუდა ამ დაავადებების გავრცელებაში ცოცხალი აგენტების მონაწილეობა, რომლებსაც აქვთ გამრავლების უნარი.

2. **მორფოლოგიური, იგივე საწყისი პერიოდი XVII – XVIII სს**

გერმანელმა მეცნიერმა და სწავლულმა იეზუიტმა ათანასე კირხერმა (1602 – 1680 წ) მძლავრი ლუპის საშუალებით, რომელიც მხოლოდ 32 ჯერად გადიდებას იძლეოდა, დამპალ ხორცში, რძეში, ძმარში და ა. შ. დაინახა უმცირესი “ჭიები” (როგორც მან უწოდა) და ივარაუდა ამ “ჭიების” როლი ზოგიერთ დაავადებაში, მაგრამ კირხერის ლუპაში დანახულ “ჭიებს” აღიარება არ მოჰყოლია. მიკრობების “ოფიციალური” აღმომჩენი გახდა ანტონ ვან ლევენჰუკი (1632 – 1723), ჰოლანდიელი ვაჭარი, რომელმაც მინების დამუშავებით შექმნა ლინზების სისტემა, პრიმიტიული მიკროსკოპი, რომელიც იძლეოდა 150-300 ჯერად გადიდებას. ლევენჰუკმა წვიმის წყალში, კბილების ნადებში, დამპალ ხორცში აღმოაჩინა ცოცხალი უმცირესი “მხეცები” – ანიმალიკუტესი, როგორც მან უწოდა. ამით დადასტურდა მიკრობების არსებობა, მაგრამ მათი მონაწილეობა დაავადებებში ჯერ დამტკიცებული არ იყო. კაცობრიობას უჭირდა ადამიანებისა და ცხოველების სამყაროს გარდა კიდევ მესამე სამყაროს არსებობის აღიარება. ადამიანის პათოლოგიურ პროცესებში მიკრობთა როლის დასადასტურებლად დაიწყო ცხოველებზე ცდების ჩატარება, მოგვიანებით ფრანგმა მედიკოსმა ჰენლემ ჩამოაყალიბა იდეა ინფექციებისა და მათ გამომწვევებს შორის კავშირის შესახებ. ჰენლემ პირველმა დაადგინა, რომ ინფექციის გამომწვევს აქვს უნარი გამრავლდეს ქსოვილებში, გავრცელდეს და გამოიწვიოს დაავადების კონკრეტული, ტიპური მიმდინარეობა. მე XIX – ე საუკუნის ბოლოს რუსი მეცნიერის, ბოტანიკოსი ივანოვსკის მიერ აღმოჩენილი იქნა ვირუსები – დაავადების გამომწვევი უმცირესი აგენტები, რომლებიც გადიოდნენ ბაქტერიულ ფილტრებში.

**3. ფიზიოლოგიური, იგივე პასტერის და იმუნოლოგიური პერიოდი. მე XIX ე საუკუნის შუა პერიოდიდან ინტენსიურად დაიწყო ბაქტერიების ფიზიოლოგიის შესწავლა.**

ადამიანი უხსოვარი დროიდან სპირტული დუღილის შედეგად, რომელსაც აწარმოებენ ბაქტერიები, იღებდა ყურძნის ღვინოს, მაგრამ თვითონ პროცესის ბუნება მისთვის უცნობი რჩებოდა. საფრანგეთსა და სხვა სახელმწიფოებში განვითარებული ღვინის წარმოება რიგი ბიოტექნოლოგიური საკითხების გადაწყვეტას მოითხოვდა. მედიცინის სფეროშიც მომწიფდა უამრავი კითხვა გადამდებ ინფექციების ბუნებასთან, ჭრილობების დაწმენკების მიზეზებთან დაკავშირებით. ამ საკითხების უმრავლესობა გადაჭრა ფრანგმა მეცნიერმა, ქიმიკოსმა ლუი პასტერმა (1822 – 1895წ). პასტერმა ექსპერიმენტულად დასაბუთა, რომ სპირტული დუღილი გამოწვეულია განსაზღვრული სახეობის მიკროორგანიზმებით, ღვინის დაძმარება კი გამოწვეულია სხვა სახის ბაქტერიების მიერ წარმოებული ძმარმეავა დუღილით. პასტერმა აგრეთვე დაუშვა, რომ ადამიანის

დაავადებები წარმოადგენდნენ დუღილის მსგავსს პროცესს, გამოწვეულს სხვადასხვა მიკროორგანიზმებით, რომლებიც ოპერაციების შემდეგ ჩირქოვანი გართულებების მიზეზი ხდებოდნენ. პასტერი ამტკიცებდა, რომ მშობიარეთა ცხელება, ფურუნკულოზი, ოსტეომიელიტი, ჯილეხი და სხვა დაავადებები მიკროორგანიზმებით იყო გამოწვეული.

პასტერის აღმოჩენებმა საფუძველი ჩაუყარა მთელ რიგ მეცნიერებებს: იმუნოლოგიას, მიკრობიოლოგიას, ბიოტექნოლოგიას, სტერეოქიმიას.

მან პირველმა აღმოაჩინა;

1. დუღილი და აღწერა მისი ბუნება – პასტერმა დაამტკიცა რძემჟავა, სპირტული, ძმარმჟავა დუღილის მიკრობული ბუნება და ამ პროცესებში მიკრობული ფერმენტების მონაწილეობა
2. ანაერობიოზი – პასტერის მიერ დამტკიცებული იქნა ის ფაქტი, რომ ზოგიერთი ბაქტერია არა თუ ვერ უძლებს ჟანგბადიან გარემოს, არამედ იზდება და მრავლდება მხოლოდ უჟანგბადო არეში,
3. სტერილიზაციის პრინციპები – ღვინის დაავადებებთან ბრძოლისათვის პასტერმა გამოიყენა მისი გათბობა 50-60°C მდე, იმისათვის რომ მოესპო ბქტერიები, რომელიც მის დაძმარებას იწვევენ, ამ მეთოდით კი მან საფუძველი ჩაუყარა სტერილიზაციის პრინციპს, რომელიც დღემდე პასტერიზაციის სახელით არის ცნობილი,
4. პასტერმა უარყო მის დროს გავრცელებული თვითნასახვის თეორია – პასტერის დროს ითვლებოდა, რომ ყველა ცოცხალი არსება თვითწარმოიშვებოდა: მაგ, ტარაკნები – ჭუჭყიდან, ბაყაყები – შლამიდან, ასევე თვლიდნენ, რომ მიკრობებიც თვითწარმოიშვებოდნენ. მაგრამ პასტერმა დაამტკიცა, რომ თუ სტერილურ ბულიონის ზედაპირს შეხება არ ექნებოდა ჰაერთან, იგი არ დაბინძურდებოდა ბაქტერიებით, ესე იგი, ბაქტერიების თვითწარმოქმნა არ ხდებოდა,
5. პასტერმა შეიმუშავა ვაქცინაციის პრინციპები და ვაქცინების მიღების მეთოდები

პასტერის მიერ პირველად იქნა შემუშავებული ვაქცინა ქათმის ქოლერის გამომწვევის მიმართ. თუმცა 1797 წ. პასტერის ცდებამდე გაცილებით ადრე, ინგლისელი ექიმის ედუარდ ჯენერის მიერ მიღებული იქნა ვაქცინა ინფექციური დაავადების - ყვავილის გამომწვევის მიმართ. ჯენერმა ძროხის ყვავილის გამომწვევი შეუყვანა ადამიანს, რითაც მან გამოიწვია მსუბუქი იმუნისაცია და ადამიანი შემდგომში ყვავილით აღარ დაავადდა.

ამ ვაქცინამ ნამდვილი აღიარება პასტერის ცდების შემდეგ მოიპოვა. პასტერმა აჩვენა, რომ სხვადასხვა გზით დასუსტებული (დასხივებით, ტემპერატურული ზემოქმედებით და სხვ.) ინფექციური აგენტის, მაგ; ქათმის ქოლერის ან ცოფის გამომწვევის შეყვანა ადამიანში იწვევდა შემდგომში ამ ორგანიზმის მდგრადობას ამავე დაავადების მიმართ, მან შეძლო ვაქცინაციის პრინციპის დასაბუთება.

ყველაზე მნიშვნელოვანი იყო პასტერის მიერ ცოფის ვაქცინის შექმნა. მან ცოფით დაავადებული ძაღლების და ბოცვრების თავის ტვინიდან მიიღო ცოფის ცოცხალი გამომწვევი, არასწორი კულტივირებით დაასუსტა იგი და გამოიყენა როგორც ვაქცინა. აღსანიშნავია, რომ პირველი ქვეყანა, სადაც მოხდა ცოფის ვაქცინის წარმოება იყო რუსეთი. რუსმა მეცნიერმა ი. მეჩნიკოვმა და ნ. გამალეიამ ოდესაში ჩამოაყალიბეს სადგური, რომელმაც უწოდეს პასტერის სახელი და სადაც ხდებოდა ცოფის ვაქცინის წარმოება.

ინგლისელმა ექიმმა იოზეფ ლისტერმა ერთ-ერთმა პირველმა დააფასა პასტერის აღმოჩენების მნიშვნელობა და გამოიყენა იგი ქირურგიული ოპერაციების დროს. სწორედ მან დანერგა კლინიკურ პრაქტიკაში ასეპტიკის მეთოდი, რაც მდგომარეობს ყველა ქირურგიული ინსტრუმენტისა და საოპერაციო უბნის პროფილაქტიკურ დამუშავებაში სადენზიფექციო ხსნარების საშუალებით. ამ გზით მან შეძლო ოპერაციების შემდგომი სიკვდილიანობის მკვეთრი შემცირება.

პასტერის პარალელურად გერმანიაში მოღვაწეობდა რობერტ კოხი (1843 – 1910), მეცნიერი, რომელმაც უდიდესი როლი შეასრულა მიკრობიოლოგიური კვლევის მეთოდების შექმნასა და დახვეწაში. მან შემოიტანა ბაქტერიული კულტურის, სუფთა კულტურის ცნება, მან პირველმა აღმოაჩინა ტუბერკულოზის გამომწვევი (ე.წ. კოხის ჩხირი) და ქოლერის ვიბრიონი. მან მიიღო ტუბერკულოზის საწინააღმდეგო პირველი პრეპარატი ტუბერკულინი და ჩამოაყალიბა ინფექციური სნეულებების დამადასტურებელი მყარი კრიტერიუმები, რომლებიც ცნობილი იყო როგორც გენტლე (გერმანელი მეცნიერი) – კოხის ტრიადა. ინფექციურ სნეულებებში მიკროორგანიზმების მონაწილეობის ფაქტებს ასახავდა:

1. ამა თუ იმ მიკრობის აღმოჩენა დაავადებულ პირში და მისი არ არსებობა ჯანმრთელ პირში,
2. მიკრობის გამოყოფა და მისი სუფთა კულტურის მიღება და

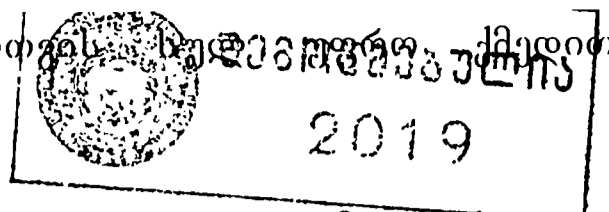
3. ამ სუფთა კულტურის მიერ ექსპერიმენტულ ცხოველში შეყვანის შემდეგ დაავადების იგივე სურათის მიღება, რაც ავადმყოფ ადამიანს ახასიათებდა.

დღესდღეობით ამ თეორიამ ბევრი "ცვლილება" განიცადა, მაგრამ იმ დროისათვის ეს უდიდესი კვლევა იყო. რ. კოხს 1905 წ. მიენიჭა ნობელის პრემია მედიცინაში.

დაახლოებით XX საუკუნის 20 იან წლებში იქნა აღმოჩენილი ბაქტერიების უნარი წარმოქმნან ტოქსინები და პირველად გამოიყო დიფტერიული ეგზოტოქსინი. ანტიტოქსიური შრატების და ვაქცინების შექმნამ საფუძველი ჩაუყარა ახალ მეცნიერებას – იმუნოლოგიას, რომლის ერთ – ერთი ფუძემდებელი იყო ი. მენიკოვი (1845 – 1917) – ფაგოციტარული ანუ უჯრედული თეორიის დამაარსებელი. 1915 წ. რუსმა მეცნიერმა მ. რაისკმა პირველმა აღმოაჩინა იმუნოლოგიური მეხსიერების მოვლენა. იმუნოლოგიისა და ქიმიოთერაპიის განვითარებაში ასევე უდიდესი როლი შეასრულა პაულ ერლიხმა, რომელმაც პირველმა ივარაუდა იმუნურ პასუხში ანტისხეულების მონაწილეობა და საერთოდ მათი არსებობა. 1900 წელს რ. კოხმა აღმოაჩინა იმუნური სისტემის რეაგირების ახალი ფორმა, რომელსაც უწოდა დაყოვნებული ტიპის ჰიპერმგრძობელობა. ერლიხს, როგორც ჰუმორული იმუნიტეტის თეორიის და მენიკოვს, როგორც ფაგოციტარული თეორიის ფუძემდებლებს 1908 წ. მიენიჭა ნობელის პრემია, იმუნოლოგიის დარგში.

4. XIX საუკუნის ბოლოს და XX საუკუნის დასაწყისში აღმოჩენილი იქნა ვირუსები - ინფექციის გამომწვევი უმცირესი აგენტები, რომლებიც გადიოდნენ ბაქტერიულ ფილტრებში, ვინაიდან ისინი ბევრად უფრო პატარა ზომის იყვნენ ვიდრე ბაქტერიული ფილტრის ფორები. მათ ფილტრირებადი აგენტები შეარქვეს. ელექტრონული მიკროსკოპის აღმოჩენამდე ვირუსების კვლევა აქტიურად ვერ მიმდინარეობდა. შემდგომში ამ აღმოჩენებს მიჰყვა რიკეტსიების, ქლამიდიების, უმარტივესების, მიკოპლაზმების და სხვ ბაქტერიების აღმოჩენა. შეიქმნა ანატოქსინები – დიფტერიის, ტეტანუსის. შემუშავდა სადიაგნოსტიკო სეროლოგიური მეთოდები. 30-იან წლებში შეიქმნა მაღარიის საწინააღმდეგო წამალი. მეორე მსოფლიო ომის პერიოდში, 1940 წ. ინგლისელი მეცნიერების ე. ჩეინისა და გ. ფლორის მიერ მიღებულ იქნა ჯერ კიდევ 1928 წ. ასევე ინგლისელი მეცნიერის ფლემინგის მიერ აღმოჩენილი სოკო Penicillium მიერ სინთეზირებული ნივთიერება, რომელსაც პენიცილინი ეწოდა. პენიცილინის მიღებამ საფუძველი ჩაუყარა ანტიბიოტიკების ერას. 1943წ დაიწყო პენიცილინის სერიული წარმოება, შეერთებულ შტატებში, რუსეთში მას აწარმოებდა ზ. ერმოლიევა. ხოლო 1944 წ. ამერიკელმა მეცნიერმა ე. ვაკსმანმა აქტინომიცეტებიდან გამოიყო სტრეპტომიცინი. დაიწყო

ანტიბიოტიკების ქიმიური გზით მიღება და მათი რადიკალების მიერთება.



15605

5. XX საუკუნის მეორე ნახევარში სამეცნიერო-ტექნიკურმა რევოლუციამ და კვლევის ახალი ხელსაწყოების შექმნამ განაპირობა მიკრობიოლოგიის, იმუნოლოგიისა და ვირუსოლოგიის ძალზე სწრაფი განვითარება. თავის მხრივ გენეტიკის განვითარებამ საფუძველი ჩაუყარა კვლევების მოლეკულურ-გენეტიკურ მიდგომას. არაქრომოსომული ელემენტების - პლაზმიდების, ტრანსპოზონების და IS თანმიმდევრობების აღმოჩენამ შესაძლებელი გახადა ქიმიოთერაპიულ პრეპარატების დახვეწა და მათ მიმართ ამ ფაქტორების მიერ განპირობებული რეზისტენტობის მოხსნა, ან შემცირება. 60 -70 წ წამოყალიბდა გენური ინჟინერია, რომელმაც ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების (ჰორმონების, ფერმენტების, ინტერფერონების, ანტიბიოტიკების, ვაქცინების) წარმოებაში ახალი მეთოდები შემოიტანა. აღმოჩენილი იქნა შიდსისა და T ლეიკოზების გამომწვევი ვირუსები. დაინერგა მკურნალობის ახალი მეთოდები და შეიქმნა ახალი ქიმიოპრეპარატები.

მიკრობიოლოგია დღესდღეობით ბიოლოგიის ერთ-ერთი ძირითადი დისციპლინაა. მიკროორგანიზმების თავისებურებების ცოდნის გარეშე გაუგებარი იქნებოდა დედამიწაზე მიმდინარე პროცესები. მიკრობიოლოგიის ცოდნის გარეშე წამოუდგენელია ისეთი დარგების განვითარება როგორცაა: ბიოქიმია, მოლეკულური ბიოლოგია, გენეტიკა, გენური ინჟინერია, ბიოფიზიკა, ეკოლოგია, იმუნოლოგია, ბიოტექნოლოგია, სასოფლო სამეურნეო დარგები. მიკრობები არიან უამრავი ბიოაქტიური ნივთიერებების პროდუცენტები: ფერმენტების, ანტიბიოტიკების, ამინომჟავების, ვიტამინების, საკვები ცილების. მათი მიღება და გამოყენება შეუძლებელია ბაზისური მიკრობიოლოგიის ცოდნის გარეშე. მიკრობები წარმოადგენენ გენური ინჟინერიისათვის საკვლევ მასალას. მიკროორგანიზმები მონაწილეობენ ნიადაგის ფენების და სასარგებლო წიაღისეულის ჩამოყალიბებაში. შესაბამისად, მიკრობიოლოგიის ცოდნა აუცილებელია ყველა ბიოლოგისათვის, ბიოტექნოლოგიურ დარგებში, სასოფლო სამეურნეო დარგებში, ასევე, გეოლოგიურ დისციპლინებში მომუშავე პირთათვის - პრაქტიკულად ყველა სიცოცხლის შემსწავლელი მეცნიერებისათვის.

მიკრობიოლოგია და იმუნოლოგია ასევე, ეხება და კვეთს ყველა სამედიცინო დისციპლინას: ქირურგიას, თერაპიას, ონკოლოგიას, ნევროლოგიას, უროლოგიას, ოფთალმოლოგიას, პედიატრიას, სტომატოლოგიას, ინფექციურ სნეულებებს, ფარმაცევტულ დისციპლინებს. ამიტომ, ნებისმიერი ექიმისათვის მიკრობიოლოგიის

ცოდნა აუცილებელია. ინფექციური დაავადებები მიუხედავად ცივილიზაციის განვითარებისა, გავრცელების მიხედვით პირველ ადგილზე გადის, ხშირად ქირურგიულ ჩარევას ან მედიკამენტურ თერაპიას მიყვავართ ნორმალური მიკროფლორის დარღვევამდე და ექიმს უნდა შეეძლოს ასეთი სიტუაციის ანალიზირება და სწორი მკურნალობის შერჩევა, პლანეტის მოსახლეობა ცხოვრობს გარკვეულ ეკოლოგიურ გარემოში, რომელიც განპირობებულია კლიმატური, სოციალური და სხვა მოვლენებით და ამ ყველაფერს გავლენა აქვს მიკროფლორაზე, როგორც გარემოში არსებულ მიკროფლორაზე, ასევე ადამიანის აუტოფლორაზეც. შესაბამისად, ექიმი უნდა ერკვეოდეს ელემენტარულ ეკოლოგიურ და სანიტარულ მიკრობიოლოგიაში და ასევე, ექიმების განკარგულებაშია იმუნობიოლოგიური და ანტიმიკრობული პრეპარატების უზარმაზარი არსენალი და მათი გამოყენება უნდა იცოდეს ნებისმიერმა ექიმმა, ხოლო მათი გამოყენების ცოდნა შეუძლებელია მიკრობიოლოგიური ცოდნის გარეშე.

## ლექცია № 2

ნებისმიერი ცოცხალი ორგანიზმის ელემენტარულ ფიზიკურ ერთეულს წარმოადგენს უჯრედი. უჯრედი არის უმცირესი სიცოცხლისუნარიანი “წარმონაქმნი”. ქიმიური შემადგენლობის მიხედვით ყველა ცოცხალი არსება ძალიან მსგავსია ერთმანეთის. ნებისმიერი ტიპის უჯრედის კომპონენტები არიან: დეზოქსირიბონუკლეინის მჟავა (დნმ), რიბონუკლეინის მჟავა (რნმ), ცილები, ლიპიდები, ფოსფოლიპიდები. მაგრამ სხვადასხვა ტიპის და წარმოშობის უჯრედის შესწავლამ ცხადყო, რომ ბაქტერიულ, მცენარეულ და ცხოველურ უჯრედს შორის არის გარკვეული სხვაობები. მცენარეული და ცხოველური უჯრედები მიეკუთვნებიან ეუკარიოტებს, ხოლო უმეტესობა მიკროორგანიზმებისა, სოკოებისა და უმარტივესების გარდა, არიან პროკარიოტები. სწორედ უჯრედის აგებულებით განსხვავდებიან პრო და ეუკარიოტები ერთმანეთისაგან.

ეუკარიოტებს გააჩნიათ ბირთვი, სადაც თავმოყრილია ეუკარიოტული უჯრედის ძირითადი გენომი. გენომი წარმოდგენილია ქრომოსომების ნაკრებით, რომლებიც მიტოზური გზით ორმაგდება და გადაეცემა შვილულ უჯრედებს. ეუკარიოტული უჯრედი კომპარტიმენტიზირებულია, იგი შეიცავს ორგანელებს – მიტოქონდრიებს, დიდ რიბოსომებს (80S), ლიზოსომებს, ქლოროპლასტებს, გოლჯის კომპლექსს და სხვ..

პროკარიოტებს – არა აქვთ მემბრანით გამოყოფილი ნამდვილი ბირთვი. დნმ თავისუფლად არის “შეწონილი” ციტოპლაზმაში. მათ არ გააჩნიათ უჯრედული ცენტრი. პროკარიოტული უჯრედი ორგანელებს არ შეიცავს, კომპარტიმენტიზირებული არ არის და რიბოსომები უფრო მცირე ზომის აქვს (70S), ვიდრე ეუკარიოტებს. პროკარიოტებს არ ახასიათებთ მიტოზი, ისინი მრავლდებიან ჩვეულებრივი ბინარული გაყოფით და არსებობენ ჰაპლოიდურ მდგომარეობაში.

პრო და ეუკარიოტული უჯრედების მეტაბოლიზმის ტიპებიც განსხვავდება ერთმანეთისაგან და ასევე, თუ უმეტეს ეუკარიოტებს აუცილებლად სჭირდებად უანგბადი თავიანთი ცხოველქმედებისათვის, პროკარიოტების ბევრი ჯგუფი უპრობლემოდ არსებობს უანგბადო არეშიც.

პრო და ეუკარიოტული უჯრედის მოკლე დახასიათება

დახასიათება	პროკარიოტული უჯრედი	ეუკარიოტული უჯრედი
ბირთვი	-	+
მიტოზური გაყოფა	-	+
დნმ + კისტონები	-	+
ქრომოსომების რაოდენობა	1	1 >
ორგანელები	-	+
რიბოსომების ზომა	70S	80S

## პროტოციტი

პროკარიოტული უჯრედი ძალიან პატარა ზომისაა, უმეტესად დაახლოებით 1 მკმ სისქისა და 5 მკმ სიგანის. უჯრედის კომპარტმენტიზაცია ძალზე სუსტად არის გამოხატული. პროტოციტის პლაზმატურ მემბრანასთან ასოცირებულია სუნთქვისა და ფოტოსინთეზის პროცესები, რომლებიც უჯრედს ენერგიით უზრუნველყოფენ. პროტოციტის გენეტიკური ინფორმაცია წარმოდგენილია დმნ-ის ერთი ჯაჭვით, რომლის გაორმაგება – რეპლიკაცია, წინ უსწრებს ბაქტერიული უჯრედის გაყოფის პროცესს. შესაბამისად, ბაქტერიულ უჯრედში დიპლოიდური ფაზა ძალზე ხანმოკლეა და პროკარიოტები ძირითადად წარმოადგენენ ჰაპლოიდურ ორგანიზმებს. როგორც ავღნიშნეთ, ბაქტერიები მრავლდებიან ბინარული გაყოფით. ჯერ ორმაგდება დმნ, თანაც რეპლიკაცია ორმხრივია – ანუ ორივე ბოლოდან ერთდროულად მიმდინარეობს, შემდეგ უჯრედი იღებს წაგრძელებულ ფორმას, წარმოიქმნება შიდა ტიხარი და ხდება შეილუული უჯრედების გამოცალკევება. პროტოციტში არ გვხვდება ორგანელები, მიტოქონდრიები, ქლოროპლასტები.

ბაქტერიების ქიმიური შემადგენლობა მრავალფეროვანია: 70–85%-ს შეადგენს წყალი, შესაბამისად მშრალი ბიომასა 15–30% ია, რომელიც მოიცავს პოლიმერებს (ცილებს, უჯრედის კედლის კომპონენტებს, რნმ-ს, დნმ-ს, ლიპიდებს). თუ უჯრედი შეიცავს ბევრ მარაგ ნივთიერებას, როგორცაა ლიპიდები, პოლისაქარიდები, პოლიფოსფატები, მაშინ მისი მშრალი მასის წილი მეტია.

## ბაქტერიული უჯრედის ულტრასტრუქტურა

ბაქტერიული უჯრედის ორგანიზაცია საშუალებას აძლევს მას გაუწიოს კოორდინაცია ცხოველქმედების ყველა პროცესს, განსაზღვრულ ვადაში გააორმაგოს თავისი ბიომასა და გამრავლდეს ბინარული დაყოფით. ბაქტერიული უჯრედის შემადგენლობაში შეიძლება გამოიყოს სხვადასხვა სტრუქტურები. ბაქტერიულ უჯრედს გარს არტყია გარსი, რომელიც შედგება პლაზმატური მემბრანისა და უჯრედული კედლისაგან. გარსის შიგნით მოთავსებული ციტოპლაზმა, ჩანართებით და ნუკლეოიდით. ბაქტერიულ უჯრედში არის “დამატებითი” სტრუქტურები: მიკროკაფსულა, ლორწო, შოლტები, პილი.

ბაქტერიული უჯრედული კედელი მკვრივი, რიგიდული და ელასტიურია. ის იცავს ბაქტერიებს გარემო ზემოქმედებისაგან და აძლევს დამახასიათებელ ფორმას (კოკი, სპიროქეტა). მისი საშუალებით ხორციელდება გარედან საკვები ნივთიერებების

ტრანსპორტი და მეტაბოლიტების გამოყოფა. ის მონაწილეობს უჯრედის დაყოფაში. მის ზედაპირზე განლაგებულია ბაქტერიოფაგების და სხვადასხვაგვარი ქიმიკატების რეცეპტორები. ბაქტერიული კედლის საყრდენ ჩონჩხს წარმოადგენს პეპტიდოგლიკანი **მურეინი**. ეს არის ჰეტეროპოლიმერი, რომელიც შეიცავს N აცეტილგლუკოზამინს და N აცეტილმურამის მუავას და რომლის ჯაჭვებიც, დაკავშირებული ერთმანეთთან პეპტიდური ხიდაკებით, ქმნიან გიგანტურ მოლეკულას – მურეინის “ტოპრაკს”. სწორედ მას აქვს უჯრედული კედლის საყრდენი კარკასის ფუნქცია. უჯრედული კედლის შემადგენლობა და სტრუქტურა აპირობებს ბაქტერიების **ტინკტორიულ** თვისებას – “მიიღოს” გარკვეული ტიპის საღებავები.

1884 წელს გერმანელი მეცნიერის გრამის მიერ შემოთავაზებულმა შედეგების წესმა ბაქტერიები ორ დიდ ჯგუფად დაჰყო: ბაქტერიები, რომლებიც გრამის წესით იღებებიან, ანუ **გრამ + ბაქტერიები** და ბაქტერიები, რომლებიც გრამის წესით არ იღებებიან, ანუ, **გრამ – ბაქტერიები**. გრამი ბაქტერიებს ღებავდა კრისტალური (გენციანის) იისფრით, შემდეგ ამუშავებდა მათ იოდით, რომელთანაც კომპლექსში იისფერი წარმოქმნიდა წყალსა, სპირტსა და აცეტონში უხსნად კომპლექსს. სპირტით დამუშავების შემდეგ შესაძლებელი ხდებოდა ბაქტერიების დიფერენცირება – გრამ + ბაქტერიები იღებებოდა იასამნისფერ/ლურჯ ფერად, ხოლო გრამ – უფერულდებოდა და მათ დამატებით ღებავდნენ ფუქსინით. საბოლოოდ, გრამ + ბაქტერიები მიკროსკოპში ლურჯად გამოიყურებოდა, ხოლო გრამ – მოწითალო/ვარდისფერად.

შედეგის ამ წესმა ცხადყო, რომ ბაქტერიების უჯრედული კედლის შემადგენლობა განსხვავებული შეიძლება იყოს სხვადასხვა ბაქტერიებში.

აღმოჩნდა, რომ იმ ბაქტერიების უჯრედული კედელში, რომლებიც არიან **გრამ +** პეპტიდოგლიკანების და კერძოდ მურეინის მუავის შემცველობა მაღალია: 30–70%, პოლისაქარიდებისა და ცილებისა კი დაბალი, მათ უჯრედულ კედელს გააჩნია ერთგვაროვანი სტრუქტურა და პეპტიდოგლიკანების 5-6 შრე. გარდა ამისა, ისინი შეიცავენ თეიხოსის მუავებს. ეს მუავები ხშირად წარმოადგენენ გრამ + ბაქტერიების ზედაპირულ ანტიგენს. როგორც ჩანს, სწორედ ეს თავისებურებები აპირობებს ამ ბაქტერიების შეღებვას გრამის წესით.

ხოლო იმ ბაქტერიების უჯრედულ კედელში, კი, რომლებიც არიან **გრამ –**, მურეინის მუავის შემცველობა დაბალია, სულ 10%ია, სამაგიეროდ მაღალია ლიპოროტეინების, ლიპოპოლისაქარიდების და სხვა ლიპიდების შემცველობა, თეიხოსის მუავები კი საერთოდ არ არის უჯრედის კედლის შემადგენლობაში. გრამ – ბაქტერიების უჯრედული კედლის აგებულებაში კიდევ ერთი გასხვავებაა გრამ + საგან: გრამ – ბაქტერიების უჯრედული კედლის მურეინის ტოპრაკს გარედან აკრავს უჯრედული კედლის “გარე” შრე ანუ **გარეთა მემბრანა** – შემდგარი ცილების,

ფოსფოლიპიდების და ლიპოპოლისაქარიდებისაგან (ლპს). იგი ორშრიანია და მისი შიდა შრე წარმოდგენილია ფოსფოლიპიდებით, ხოლო გარე შრე კი პოლისაქარიდებით, რომლებიც წარმოადგენენ გრამ – ბაქტერიების ძლიერ **ენდოტოქსინებს**. გარდა ამისა, მათ დიდი მნიშვნელობა ენიჭება დიაგნოსტიკაში და ინფექციურ იმუნოლოგიაში. ლპს შედგებიან სამი ფრაგმენტისაგან, ესენია:

- A ლიპიდი – კონსერვატიული სტრუქტურა, რომლითაც ლპს “დამაგრებულები” არიან გარეთა მემბრანაში და რომელიც განაპირობებს მათ ტოქსიურობას. ანტიბიოტიკების მოქმედებით, როდესაც მემბრანა იშლება, შეიძლება გათავისუფლდეს დიდი რაოდენობით A ლიპიდი, რამაც ავადმყოფში გამოიწვიოს ენდოტოქსიური შოკი.
- გულგული, იგივე “ბირთვი”, დაკავშირებული A ლიპიდთან, რომლიდანაც “გამოდის”
- O სპეციფიური ჯაჭვი – ბაქტერიის სეროლოგიური თვისებების განმაპირობებელი.

გარეთა მემბრანა ასრულებს არა მხოლოდ მექანიკურ ფუნქციებს, მასში ჩაშენებულია ჰიდროფილური ფორები – **პორინები**, რომლებიც გამტარ არხებს წარმოადგენენ და უზრუნველყოფენ გარემოდან უჯრედულ კედელში ქიმიური ნივთიერებების დიფუზიას. ხოლო სივრცეში, რომელიც წარმოიქმნება “გარე” შრესა და ციტოლაზმურ მემბრანას შორის და ეწოდება **პერიპლაზმატური სივრცე**, თავმოყრილია სხვადასხვა ტიპის ფერმენტები: პროტეაზები, ნუკლეაზები და სხვ, რაც ამ ბაქტერიების მდგრადობას ზრდის ზოგიერთი ანტიბიოტიკების (მაგ, β ლაქტამების, პენიცილინების) მიმართ.

გარკვეული გარემო ფაქტორის ზემოქმედების შედეგად, მაგ ანტიბიოტიკების მოქმედების, ზოგიერთი ბაქტერიის უჯრედული კედელი შეიძლება “დაიშალოს”. შესაბამისად შეიძლება მივიღოთ პროტოპლასტები – უჯრედული კედლის არმქონე ბაქტერიები, ან სფეროპლასტები – ნაწილობრივ შენარჩუნებული უჯრედული კედლის მქონე ბაქტერიები. გრამ (+) ბაქტერიების პეპტიდოგლიკანის დამშლელი ფერმენტებით (მაგ. ლიზოციმით) დამუშავებისას წამოიქმნება **პროტოპლასტები**, ანუ სტრუქტურები, რომლებსაც არა აქვთ უჯრედული კედელი, მაგრამ გააჩნიათ ციტოპლაზმური მემბრანა და უჯრედული შიგთავსი. გრამ (-) ბაქტერიების დამუშავება ლიზოციმით კი შლის მხოლოდ უჯრედის კედლის პეპტიდოგლიკანის შრეს, მაგრამ გარე მემბრანა, ანდა მისი ნაწილი მაინც, შენარჩუნებულია. ასეთმა სტრუქტურებმა მიიღეს **სფეროპლასტების** სახელწოდება. სფერო და პროტოპლასტებს გააჩნიათ სფერული ფორმები და შესაბამის ოსმოსურ პირობებში ინარჩუნებენ თავიანთ

სიცოცხლისუნარიანობას. პროტოპლასტების სფერული ფორმის შესანარჩუნებლად აუცილებელია იზოტონური გარემო, ხოლო სფეროპლასტები თავიანთ ფორმას ინარჩუნებენ არაიზოტონურ გარემოშიც კი. რადგანაც აღნიშნული მოვლენა პირველად აღწერილი იქნა ჯ. ლისტერის სახელობის ინსტიტუტში, ასეთ ბაქტერიებს **L ფორმები** ეწოდად, ხოლო პროცესს კი **L ტრანსფორმაცია**. ასეთი ტრანსფორმაცია შესაძლოა იყოს სპონტანური ან ინდუცირებული. არსებობენ სტაბილური და არასტაბილური L ფორმები – პირველებს რევერსია, ანუ პირვანდელი მდგომარეობისაკენ დაბრუნება არ შეუძლიათ, მეორეები კი რევერსირებენ პირველად ფორმაში, მაინდუცირებელი ფაქტორის მოხსნის შემთხვევაში. ასეთი გზით სახეცვლილ პათოგენურ ბაქტერიებს შეუძლიათ მუდმივი ინფექციის გამოწვევა და როგორც წესი მდგრადი არიან ანტიბიოტიკების ზემოქმედების მიმართ, იმიტომ, რომ უმეტესობა ანტიბიოტიკების მოქმედება მიმართულია სწორედ ბაქტერიული უჯრედის კედლის დაშლაზე. ვინაიდან სფერო და პროტოპლასტებს უკვე დაკარგული აქვთ უჯრედული კედელი, ისინი უმეტესობა ანტიბიოტიკებს ვერ “აღიქვამენ”. პათოგენური ბაქტერიების L ტრანსფორმაცია განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, ვინაიდან ამ შემთხვევაში დაავადების მწვავე ფორმები ხშირად ქრონიკულში გადადის.

L ტრანსფორმაციას ადგილი აქვს როგორც *in vivo*, ასევე *in vitro*. იგი განხილული უნდა იქნას როგორც ბაქტერიების ცვალებადობის მოვლენა გამოწვეული არახელსაყრელ პირობებთან შეგუებით. ასეთი ტრანსფორმაციის გამომწვევი შეიძლება გახდეს როგორც ანტიბიოტიკი, ასევე ფერმენტები, ანტიმიკრობული ანტისხეულები, ზოგიერთი ამინომჟავის (მაგ. გლიცინის და ფენილალანინის) მაღალი კონცენტრაცია სასიცოცხლო არეში.

**პლაზმატური მემბრანა** სასიცოცხლო მნიშვნელობის კომპონენტია. ის მდებარეობს უშუალოდ უჯრედის კედლის ქვეშ და შემოსაზღვრავს პროტოპლასტს. ციტოპლაზმურ მემბრანაზე ბაქტერიის მშრალი წონის 10% მოდის. იგი შეიცავს 25-40% მდე ფოსფოლიპიდებს, 20–75% მდე ცილას და 5-6% ნახშირწყლებს. ფოსფოლიპიდები ორმაგ შრეს ქმნიან, მათი მოლეკულები ასიმეტრიულია – მოლეკულების ელექტრული მუხტის მატარებელი თავები ჰიდროფილურია, “კუდები” კი ჰიდროფობული, რომლებიც მიმართულია შიდა მხარეს, ხოლო ჰიდროფილური “თავები” გარეთა მხარეს. ლიპიდების ორმაგ შრეში ჩაშენებულია ინტეგრალური ცილები, რომელთაგანაც ზოგიერთი უკავშირდება ლიპიდური შრის ორივე ზედაპირს, ზოგიერთი მხოლოდ შიდა ან მხოლოდ გარე ნაწილს.

მემბრანა ძალზე რბილი, პლასტიური, თითქმის თხევადი წარმონაქმნია, რომელიც დიდ როლს თამაშობს ნივთიერებათა ცვლაში, ქმნის ოსმოსურ ბარიერს და ახასიათებს არჩევითი განვლადობა – რიგ ნივთიერებებს “ატარებს” ზოგიერთს კი არა.

პლაზმატური მემბრანის ცილებს ეწოდება: სტრუქტურულ და ფუნქციურ ცილებად. ეს უკანასკნელი მოიცავს ფერმენტებს, რომლებიც მონაწილეობენ მემბრანის ზედაპირზე სინთეზურ რეაქციებში, ჟანგვა-აღდგენით რეაქციებში.

პლაზმატური მემბრანა პასუხისმგებელია აგრეთვე ნივთიერების პასიურ, აქტიურ და ფოსფორილებულ ტრანსპორტზე.

**პასიურია ტრანსპორტი** (დიფუზია), როდესაც ნივთიერების მიმოცვლა ბაქტერიულ უჯრედსა და გარემოს შორის ხდება ორმხრივად, ამ ნივთიერების კონცენტრაციის სხვაობის მიხედვით, მაღალი კონცენტრაციიდან დაბლისაკენ. **ფოსფორილებულია პროცესი**, რომელიც ამა თუ იმ ნივთიერების გადატანისათვის მოითხოვს ნახშირწყლის უტილიზაციას – ანუ ენერჯიას.

**აქტიურია**, ასევე ენერგოდამოკიდებული პროცესი, რომელიც ცვლის შთანთქმადი ნივთიერების კონცენტრაციას და ქმნის ელექტროქიმიურ გრადიენტს.

ბევრ ბაქტერიაში ციტოპლაზმატური მემბრანის “ზრდა” უსწრებს უჯრედის ზრდას და ამ შემთხვევაში პლაზმატური მემბრანა წარმოქმნის რთულ ინვაგინაციებს (ჩაღრმავებები) – ე.წ. **მეზოსომებს**. ეს უკანასკნელი გარკვეულ როლს ასრულებენ ბაქტერიის დაყოფის ან მისი სპორად გარდაქმნის შემთხვევაში.

ამგვარად, ბაქტერიული უჯრედის ციტოპლაზმატური მემბრანა:

- იღებს გარემოდან უჯრედში შემოსულ მთელ ქიმიურ ინფორმაციას,
- წარმოადგენს ძირითად ოსმოსურ ბარიერს, რისი მეშვეობითაც უჯრედში ნარჩუნდება გარკვეული ოსმოსური წნევა,
- უჯრედის კედელთან ერთად მონაწილეობს ბაქტერიული უჯრედის ზრდასა და დაყოფაში,
- მონაწილეობს პლაზმიდებისა და ქრომოსომების რეპლიკაცასა და სეგრეგაციაში,
- შეიცავს ფერმენტების მნიშვნელოვან რაოდენობას, მათ შორის ელექტრონების გადატანის სისტემას,
- ციტოპლაზმატურ მემბრანასთან დაკავშირებულია შოლტი,
- მონაწილეობს საკვები ნივთიერებების და ცხოველქმედების პროდუქტების, მათ შორის ფერმენტებისა და ეგზოტოქსინების ტრანსპორტში უჯრედიდან გარემოში,
- მნიშვნელოვან როლს ასრულებს რიბოსომების კომპარტმენტიზაციასა და სტაბილიზაციაში,
- მონაწილეობს უჯრედის კედლის კომპონენტების სინთეზში,
- წარმოქმნის მეზოსომებს.

ბაქტერიული უჯრედის ციტოპლაზმა მოიცავს უჯრედის ძირითად სივრცეს და წარმოადგენს რთულ კოლოიდურ სისტემას, შედგენილს 75% წყლის, და 25 % მშრალი მასისაგან, რომელსაც თავის მხრივ შეადგენს ხსნადი ცილები, რიბონუკლეინის მუავეები, ჩანართები და რიბოსომები. მასში არ არის ენდოპლაზმატური რეტიკულუმის სტრუქტურები და ეუკარიოტებისათვის დამახასიათებელი სხვა ციტოპლაზმური ორგანოები. რიბოსომების სედიმენტაციის კოეფიციენტი 70 S-ია, განსხვავებით ეუკარიოტული უჯრედის 80 S. ამიტომაც, ანტიბიოტიკები, რომლებიც უკავშირდებიან ბაქტერიულ რიბოსომებს თრგუნავენ მხოლოდ ბაქტერიული ცილის სინთეზს და არა ეუკარიოტული უჯრედის ცილის სინთეზს. ციტოპლაზმაშია ლოკალიზებული “ბირთვული” ნაწილაკი – ნუკლეოიდი, რომელიც არ არის გამოყოფილი ციტოპლაზმიდან მემბრანით. ხშირად ბაქტერიული უჯრედის ციტოპლაზმაში წარმოდგენილია არაქრომოსომული დნმ-ები, მაგ. პლაზმიდა ან პლაზმიდები. ციტოპლაზმაში ხშირია ასევე, რიგი ჩანართების არსებობაც: გლიკოგენის, პოლისაქარიდების, პოლიფოსფატების (მაგ ვოლუტინის), რომლების ქმნიან ენერგეტიკულ და საკვებ მარაგს უჯრედისთვის.

**ნუკლეოიდი** – ბირთვის ექვივალენტია ბაქტერიებში, თუმცა მისგან განსხვავდება თავისი სტრუქტურით და ქიმიური შემადგენლობით. იგი მოთავსებულია ბაქტერიული უჯრედის ცენტრში და წარმოადგენს ორჯაჭვიან წრიულ დნმ-ს. ბაქტერიებში არ არსებობს ბირთვი, ბირთვის გარსი და მითუმეტეს ბირთვაკი. ის არ შეიცავს ქრომოსომებს, არ იყოფა მიტოზით. ნორმაში, ბაქტერიულ უჯრედში დმნ-ის ერთი ჯაჭვია, რომელსაც აღნიშნავენ როგორც ქრომოსომას. ანუ ბაქტერიული უჯრედი ჰაპლოიდურია. უჯრედის გაყოფის წინ დნმ-ი ორმაგდება და მხოლოდ მაშინ შეიძლება უჯრედი ცოტა ხნით აღმოჩნდეს დიპლოიდურ მდგომარეობაში. თუ მოხდა რაიმე დარღვევა დაყოფის დროს, შეიძლება უჯრედში “დარჩეს” 2 ან 4 ქრომოსომა. ნუკლეოიდის გარდა ბაქტერიულ უჯრედში შესაძლებელია შეგვხვდეს ცირკულარული, არაქრომოსომული დმნ-ის მოლეკულები – პლაზმიდებიც, მათშიც არის კოდირებული გარკვეული გენეტიკური ინფორმაცია.

განსხვავება გრამ + და გრამ – ბაქტერიებს შორის

კომპონენტი	გრამ + ბაქტერია	გრამ – ბაქტერია
პეპტიდოგლიკანი	სქელი, მრავალშრიანი	თხელი, ერთშრიანი
თეიხოს მუავა	+	-
ლიპოპოლისაქარიდები (ენდოტოქსინები)	-	+
ლიპოროტეინები და		

ფოსფოლიპიდები	-	+
“გარე” მემბრანა	-	+

ბევრი ბაქტერიის უჯრედულ კედელზე შრეველება მეტ-ნაკლებად სქელი ნივთიერება წყლის მაღალი შემცველობით – კაფსულა ან ლორწო. ასეთი “საფარები” ბაქტერიისათვის მნიშვნელოვანია თავდაცვის მიზნით (მაგ. ფაგოციტოზისაგან თავდასაღწევად). კაფსულას დამცველობითი ფუნქციის გარდა აქვს აგრეთვე სხვა როლიც – ის წარმოადგენს უმნიშვნელოვანეს ადგეზიურ ფაქტორს – ანუ ხელს უწყობს ბაქტერიული უჯრედების “შეწებებას” იმ უჯრედებთან, რომელთა ზედაპირზეც არის ბაქტერიული უჯრედის შესაბამისი რეცეპტორები, ეს ძალზე მნიშვნელოვანია ინფექციური პროცესის გამოწვევისათვის. კაფსულა იცავს უჯრედს გამოშრობისაგან, წყლის გარდა შეიცავს ამინოშაქრებს, რამნოზას, გალაქტონის მუავას და სხვა ეკსოპოლისაქარიდებს. ეს ნივთიერებები ასევე წარმოქმნიან სათადარიგო მარაგს საკვების სახით. კაფსულის ზედაპირული მოლეკულები განსაზღვრავენ ბაქტერიის ანტიგენურობას. ხშირად დაავადების საწინააღმდეგო ვაქცინებს ამზადებენ სწორედ კაფსულების პოლისაქარიდებიდან, ვინაიდან მათ შეუძლიათ მანეიტრალელები ანტისხეულების სინთეზის ინდუქცია მაგ. მენინგოკოკური ან პნემოკოკური დაავადებების დროს. კაფსულა ჰირდოფილურია, მაგრამ ის მყარად არის დაკავშირებული უჯრედის კედელთან, თუ კავშირი არამყარია, ლაპარაკობენ **ლორწოზე**. ლორწო წყალში ხსნადია, თუმცა შეიცავს თითქმის იგივე ნივთიერებებს, რასაც კაფსულა. კაფსულის სისქე დაახლოებით 0,2 მკმ. ზოგიერთი ბაქტერია კი წარმოქმნის უფრო თხელ კაფსულას, რომლებსაც **მიკროკაფსულებს** უწოდებენ.

ბაქტერიების მოძრაობის უნარი უმეტეს შემთხვევაში (მიქსო, ციანობაქტერიებისა და ზოგიერთი სხვა ჯგუფების გარდა) განპირობებულია **შოლტის** არსებობით ბაქტერიის ზედაპირზე. ხშირად შოლტის სირგძე მეტია ვიდრე ბაქტერიული უჯრედის ზომა. ბაქტერიების შოლტები შედგებიან ცილა ფლაგელინისაგან, რომელიც ამავედროულად წარმოადგენს H ანტიგენს. ცილის სუბერთეულები დახვეულნი არიან სპირალისებურად. იმას, თუ რამდენი შოლტი აქვს ბაქტერიას და როგორ არიან ისინი განლაგებული ბაქტერიის ზედაპირზე ტაქსონომიური მნიშვნელობა აქვს.

შოლტები როგორც წესი, განლაგებული არიან ან პოლარულად, ან ლატერალურად. თუ შოლტი ერთია და იგი პოლარულად არის განლაგებული, ლაპარაკობენ **მონოპოლარულ/მონოტრიქალურ** განლაგებაზე. თუ პოლარულად განლაგებულია რამდენიმე შოლტი, ლაპარაკია **მონოპოლარულ/პოლიტრიქალურ** ანუ **ლოფოტრიქალურ** განლაგებაზე, ხოლო თუ რამდენიმე შოლტი განლაგებულია

ბაქტერიის ორივე “ბოლოში”, ეს – ბიპოლარულ/პოლიტრიქალური ანუ ამფიტრიქალური განლაგებაა. პერიტრიქალურია შოლტების გვერდებზე ან ბაქტერიის მოელ ზედაპირზე განლაგება.

შოლტი, რომელიც თავისთავად წარმოადგენს სპირალურად დახვეულ თხელ “ძაფს”, ანიჭებს ბაქტერიას მოძრაობის უნარს თხევად არეში. ბრუნვით მოძრაობაში შოლტი მოყავს “მოტორს” – ანუ ბაზალურ სხეულაკს, რომელიც მოთავსებულია შოლტის ბაქტერიასთან მიერთების ადგილას და ენერგიას იღებს ციტოპლაზმატურ მემბრანაზე პროტონული პოტენციალების განსხვავებებიდან. შოლტი ბაზალურ სხეულაკს უკავშირდება სპეციალური “კაუჭის” მეშვეობით. გრამ + ბაქტერიებში შოლტს უფრო სქელი ზედაპირი აქვთ. შოლტს აქვს ბინარული “გადამრთველი”, რაც საშუალებას აძლევს ბაქტერიას შეცვალოს მოძრაობის მიმართულება.

შოლტის საშუალებით ბაქტერიას შეუძლია საკმაოდ მაღალი სინქარის განვითარება, მაგ: *Bacillus megaterium* – ისათვის ეს დაახლოებით 1,6 მმ/წთ, ხოლო *Vibrio cholerae* – სთვის 12 მმ/წთ. ბაქტერიებში მიზანმიმართული მოძრაობის უნარი გენეტიკურად განპირობებულია და ამაზე გენომის 2-3% (დაახლოებით 30-50 გენი) “მუშაობს”.

შოლტებს შეუძლიათ გარე სტიმულის საპასუხოდ მოძრაობის მიმართულების შეცვლა. გარეგანი სტიმულით განპირობებულ მიმართულ მოძრაობას ეწოდება **ტაქსისი**. არჩევენ ქემო, აერო, ფოტო და მაგნიტოტაქსისებს.

**ქემოტაქსისზე** ლაპარაკობენ იმ შემთხვევაში, თუ გარე ფაქტორი, “გამღიზიანებელი” ქიმიური ბუნებისაა. **აეროტაქსისი** ახასიათებთ აერობულ მიკროორგანიზმებს, რომლებიც მოძრაობენ უანგბადის “მიმართულებით”.

ფოტოტროფულ ბაქტერიებს ახასიათებთ სინათლისკენ მოძრაობა, მათ ენერგიის მისაღებად სჭირდებად სინათლე ეს არის **ფოტოტაქსისი**. ზოგიერთ ბაქტერიას შეუძლია მაგნიტურ არეში ორიენტირება. ისინი შეიცავენ ბევრ რკინას, რკინის ფერომაგნიტური უანგის (მაგნეტიტის) სახით, რომლებიც მოთავსებული აქვთ გრანულა – მაგნიტოსომებში, შოლტის ბაქტერიასთან მიერთების ადგილთან ახლოს და შესაბამისად, ამ ბაქტერიებს ახასიათებთ **მაგნიტოტაქსისი**. ძირითადად ასეთი ბაქტერიები ანაერობები არიან.

ბაქტერიული ზედაპირი დაფარულია თხელი “ძაფებით”, რამდენიმე ასეული “ძაფით”, რომლებსაც **ფიმბრიები** ანუ პილი ეწოდებათ და შედგებიან ცილა პილინისაგან. უმეტესად ისინი წარმოადგენილია გრამ – ბაქტერიების ზედაპირზე, თუმცა გრამ + ბაქტერიებშიც ხშირად გვხვდებიან. შოლტებთან შედარებით ისინი უფრო მოკლე და თხელი არიან. პილების რამდენიმე სახეობა არსებობს თავიანთი ფუნქციებიდან გამომდინარე:

- ერთნი გარკვეულ როლს ასრულებენ ბაქტერიის მიერთებისას ადამიანის უჯრედის სპეციფიურ რეცეპტორთან და ესე იგი წარმოადგენენ პათოგენურობის ფაქტორს,
- სხვა კონკრეტული პილები ასრულებენ “სქესობრივ” ფუნქციას, მათ **ფერტილობის ფაქტორი ანუ F ფაქტორი** ეწოდებად, რომლებიც განაპირობებენ კონიუგაციის დროს “მამრობითი” სქესის ბაქტერიის მიერთებას “მდედრობით” ბაქტერიასთან და მონაწილეობენ მემკვიდრული მასალის გადატანაში.
- არსებობენ ასევე პილები, რომლებიც მონაწილეობენ კვებაში, წყლისა და მარილების ცვლაში და სხვ.

როდესაც ბაქტერიას არეში საკვები აღარ ყოფნის, ანდა არეში დიდი რაოდენობით გროვდება მეტაბოლიზმის პროდუქტები – ტოქსინები, ანუ როდესაც ბაქტერიას არახელსაყრელი პირობები ექმნება სიცოცხლისათვის, იგი იწყებს **სპორების** წარმოქმნას. სპორები ძალზე მდგრადნი არიან თერმო, რადიო და ქიმიური ზემოქმედების მიმართ. “სპორულ” მდგომარეობაში ბაქტერიებს დიდი ხნის მანძილზე შეუძლიათ ანაბიოზში ყოფნა და მხოლოდ მაშინ “იღვიძებენ”, როდესაც არეში მათთვის კვლავ ხელსაყრელი პირობები შეიქმნება.

ზრდისათვის არახელსაყრელ პირობების შემთხვევაში ბაქტერია ასევე იწყებს **მარაგი ნივთიერებების დაგროვებას**, ისეთების როგორცაა: პოლისაქარიდები, ცხიმები, პოლიფოსფატები, გოგირდი. ძირითადად მარაგი ნივთიერებები იმყოფება უჯრედში ოსმოსურად ინერტულ მდგომარეობაში, ანუ ისინი წყალში უხსნადები არიან, მაგრამ ბაქტერიისათვის კრიტიკულ პირობებში ისინი გადადიან აქტიურ ფორმებში, ერთვებიან მეტაბოლიზმში და უზრუნველყოფენ უჯრედს ენერჯით.

ბაქტერიის მიერ კონკრეტული არახელსაყრელი კონდიციისაგან თავდაცვის კიდევ ერთ მექანიზმს განეკუთვნება პიგმენტების სინთეზის უნარი. **პიგმენტები** წარმოადგენენ ულტრაიისფერი გამოსხივებისაგან თავდაცვის საშუალებას. პიგმენტებს შორის გვხვდება სხვადასხვა კლასის წარმომადგენლები: კაროტინოიდები, ფენაზინის საღებავები, პიროლები, აზაქინონები, ანტოციანები და სხვ.

### ლექცია 3.

იმისათვის, რომ მიკრობების კლასიფიკაციაზე სრულყოფილი წარმოდგენა შეგვექმნას, უნდა ვიცნობდეთ მათ ფიზიოლოგიას - კვების, ზრდის, გენეტიკის, მეტაბოლიზმის თავისებურებებს.

## მიკრობთა ფიზიოლოგია

### ბაქტერიების კვება

ბაქტერიების უმეტესობა ცხოვრობს ისეთ გარემოში, რომელიც ნაკლებად უზრუნველყოფს მათ წყლით, მარილებით და ორგანული ნივთიერებებით. ყველაფერი ეს განაპირობებს სხვადასხვა ნივთიერებების ცვლის მუდმივი და მკაცრი რეგულირების აუცილებლობას. რასაც ადგილი აქვს უჯრედსა და გარემოს შორის და კონტროლირდება უჯრედული მემბრანის საშუალებით. ბაქტერიების უჯრედული მემბრანა შედგება მრავალი ნივთიერებებისათვის, მაგრამ მემბრანის სტრუქტურას გააჩნია შერწყმითი და ამასთან ერთად, არათანაბარი შედგენილების თვისება, რაც განსაზღვრავს ბაქტერიების კვების მექანიზმის თავისებურებას.

საკვები შეიძლება ვუწოდოთ ნებისმიერი ტიპის ნივთიერებას, რომელიც ორგანიზმში მოხვედრისას ხდება მისთვის ენერჯის წყარო ან პლასტიური მასალა მოლეკულების სინთეზისათვის. ცხოველების უმეტესობა (და ზოგიერთი მიკრობი) შთანთქავს და ინელებს საკვების მყარ ნაწილაკებს, კვების ასეთ ტიპს უწოდებენ ჰოლოზოიდურს, უმეტესობა მიკრობებისა და მცენარეები კი იღებენ საკვებს წყალში ხსნილი მარტივი მოლეკულების სახით - კვების ამ ტიპს კი უწოდებენ ჰოლოფიტურს.

ცილები, ცხიმები, ნახშირწყლები, ნუკლეინის მჟავები - ანუ ყველაფერი ის რაც “მოიპოვება” ბაქტერიულ უჯრედში წარმოადგენს რთულ პოლიმერულ მოლეკულებს, რომლებიც სინთეზირდება მონომერებისაგან პოლიკონდენსაციის რეაქციებით, რომლებსაც ესაჭიროებად გარკვეული რაოდენობის ენერჯის მოხმარება. ამიტომ თავიანთი ბიომასის შესავსებად მიკრობებს სჭირდებად არა მარტო პლასტიური მასალა მოლეკულების ასაშენებლად, არამედ ენერჯის წყაროც.

ენერჯია არსებობს მიკრობულ უჯრედში ატფ-ის მარაგის სახით. იმის და მიხედვით ენერჯის წყაროდ გამოიყენება სინათლე, თუ უანგვა ადღგენითი რეაქციები არსევენ:

- ფოტოტროფებს - ბაქტერიებს, რომლებიც ენერჯის წყაროდ იყენებენ სინათლეს და არიან მაფოტოსინთეზირებელი ბაქტერიები.

- ქემოტროფებს – ბაქტერიები, რომლებიც ენერჯიას იღებენ ჟანგვა-აღდგენითი რეაქციების შედეგად

ბაქტერიული უჯრედი იღებს და “ინელებს” ნახშირწყლებს, ამინომჟავებს, ცხიმოვან მჟავებს, მინერალურ მარილებს, ვიტამინებს და სხვ. ამის გარდა, ისინი იმ ნივთიერებებსაც “მოიხმარენ”, რომლებიც გამოუსადეგარია ცხოველური უჯრედებისათვის, მაგ: კარბონილის მჟავას, საპონს, პარაფინს და სხვ.

მიკროელემენტების ის კლასიკური ნაკრები, რომლებიც უნივერსალურია ყველა ცოცხალი ორგანიზმისათვის, აუცილებელია მიკრობებისათვისაც – C, H, O, N, S, K, Ca, Mg, Fe, Na, P – მათ კიდევ უწოდებენ ორგანოგენებს. მაგრამ, ამათ გარდა მიკრობებს ასევე სჭირდებათ ისეთი მიკროელემენტები, როგორცაა: Mn, Mo, Zn, Cu, Co, Ni, Va, B, Cl, Se, Si, Wo და სხვ. თავიანთი მეტაბოლიზმისათვის საჭირო კოფერმენტების სინთეზისათვის.

თავიანთ მოთხოვნილებას წყალბადსა და ჟანგბადში ბაქტერიები ადვილად იკმაყოფილებენ წყლის საშუალებით. უფრო რთულად არის საქმე აზოტისა და ნახშირბადის შემთხვევაში. ნახშირბადის სხვადასხვა წყაროების შეთვისების უნარის მიხედვით ყველა მიკროორგანიზმი იყოფა ორ დიდ ჯგუფად: ავტო და ჰეტროტროფებად, თუმცა არსევენ კიდევ სხვა მცირე ჯგუფებაც:

- ავტოტროფებად ითვლებიან ის ბაქტერიები, რომლებიც ნახშირბადის წყაროდ იყენებენ CO<sub>2</sub> ან კარბონატებს და არ საჭიროებენ რთულ ორგანულ ნაერთებს. მათ თვითონ შეუძლიად ნებისმიერი საჭირო ნაერთების სინთეზი მარტივი ნივთიერებებიდან.
- ჰეტეროტროფები – ნახშირბადის წყაროდ იყენებენ რთულ ნახშირბადშემცველ ნაერთებს- ჰექსოზებს, მრავალატომიან სპირტებს, ამინომჟავებს. ჰეტეროტროფებს ყოფენ კიდევ საპროფიტებად და პარაზიტებად. საპროფიტები მზა ორგანულ ნივთიერებებს იღებენ მკვდარი მცენარეებისა და ცხოველების ნარჩენებისგან, პარაზიტები კი იკვებებიან ცოცხალი მცენარეებისა და ცხოველების ხარჯზე.

არსევენ კიდევ:

- ჰიპოტროფებს – რომლებიც თავის ცხოველქმედებას უზრუნველყოფენ პატრონის უჯრედული სტრუქტურების ან მეტაბოლიზმის რეორგანიზებით.
- აუქსოტროფებს – არიან ბაქტერიები, რომლებიც მუტაციების ან სხვა მიზეზების გამო “ზედმეტად” მომთხოვნი ხდებიან გარემო არისადმი და საჭიროებენ ისეთი ელემენტების დამატებას არეში, რაც ხორმასში ბაქტერიებს არ ესაჭიროებად.

- პროტოტროფებს რომლებიც ასინთეზირებენ ყველა მათთვის საჭირო ორგანულ შენაერთს გლუკოზისა და ამინომჟავებისაგან.

აზოტის შეთვისების მიხედვით არსებობენ:

- ამინოაქტოტროფები – რომლებიც თავიანთ მოთხოვნილებას აზოტში იკმაყოფილებენ ატმოსფერული და მიწერადური აზოტის მეშვეობით
- ამინოჰეტეროტროფები – რომელთა კვებისათვისაც აუცილებელია მზა ორგანული აზოტური შენაერთები: ამინომჟავები, ფუძეები, ვიტამინები და სხვ.

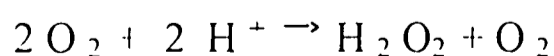
წყალბადთან დამოკიდებულების მიხედვით არჩევენ:

იმ ბაქტერიებს, რომლებიც წყალბადის დანორებად იყენებენ ორგანულ ნაერთებს და იწოდებიან ორგანოტროფებად, და მათ, რომლებიც იყენებენ არაორგანულ ნაერთებს ლიტოტროფებად.

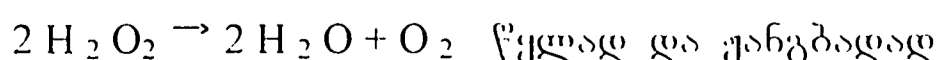
ქანგბადთან დამოკიდებულების მიხედვით ბაქტერიებს ყოფენ 5 ძირითად ჯგუფად:

- ობლიგატურ აერობებად – ესენი არიან ბაქტერიები, რომლებიც თავიანთი ზრდისა და განვითარებისათვის აუცილებლად საჭიროებენ ქანგბადს,
- ობლიგატურ ანაერობებად – მათ შეუძლიად ზრდა მხოლოდ უქანგბადო პირობებში,
- ფაკულტატურ ანაერობებად - რომელთაც ზრდა-განვითარება შეუძლიათ როგორც ქანგბადის არსებობის, ასევე ქანგბადის არ არსებობის შემთხვევაში
- აეროტოლერანტულ ბაქტერიებად – რომლებსაც შეუძლიათ ზრდა ქანგბადის პირობებში, მაგრამ ვერ იყენებენ ქანგბადს თავიანთი “ცხოველქმედებისათვის”.
- მიკროაეროფილებად – რომლებიც უკეთესად იზრდებიან ქანგბადის მაღალი კონცენტრაციების მქონე გარემოში.

ქანგბადის მიმართ ტოლერანტობა განისაზღვრება ბაქტერიების ანაერობული სუნთქვის შედეგად წარმოქმნილი ტოქსიური ქანგბადური პროდუქტების (მაგ სუპეროქსიდების რადიკალების და H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ფერმენტული გზით ნეიტრალიზაციის უნარით. ამ პროცესებს ახორციელებენ ფერმენტები: სუპეროქსიდ დისმუტაზა, კატალაზა და პეროქსიდაზა. პირველი ფერმენტი ახორციელებს სუპეროქსიდის კონვერტირებას წყალბადის ზეჟანგად:



ეს გვხვდება აერობულ და აეროტოლერანტულ ბაქტერიებში, ხოლო კატალაზა კი წყალბადის ზეჟანგს გარდაქმნის:



კატალაზა გვხვდება ყველა აერობულ, მაგრამ არ გვხვდება აეროტოლერანტულ ბაქტერიებში, ხოლო ობლიგატურ ანაერობებს კი არ აქვთ არცერთი ფერმენტი. პეროქსიდაზა ახდენს ორგანიზმის ნაერთების ქანგის კატალიზს.

### ბაქტერიების ზრდა

ტერმინ “ზრდა”- ში იგულისხმება ცოცხალი ნივთიერების შექცევადი ზრდა. უმეტესად განპირობებული უჯრედების გაყოფით. თუ მრავალუჯრედიან ორგანიზმებში ეს ძირითადად გამოიხატება სხეულის მასის და ზომის ზრდით, ერთუჯრედიან ორგანიზმებში იზრდება უჯრედების რაოდენობა. თუმცა ბაქტერიებშიც უნდა განვასხვაოთ უჯრედების რაოდენობის ზრდა და უჯრედული მასის ზრდა.

ბაქტერიული უჯრედის ზრდაში იგულისხმება სწორედ ყველა უჯრედული კომპონენტის და სტრუქტურის კოორდინირებული მატება, რაც საბოლოო ჯამში იწვევს უჯრედის მასის ზრდას. უჯრედის ზრდა უსასრულო არ არის და უჯრედის მიერ კრიტიკული ზომების მიღწევის შემდეგ უჯრედი იყოფა. უმეტესობა გრამ – ბაქტერიებში ეს პროცესი მიმდინარეობს გახივი ჭიმის მეშვეობით, გრამ – კი უჯრედშიდა ტიხრის სინთეზით, რომელიც როგორც წესი “იზრდება” უჯრედის კედლიდან ცენტრისაკენ, მაგრამ მაგ, Mycobacterium ის წარმომადგენლებში ტიხარი წარმოიქმნება უჯრედის ცენტრში და “იზრდება” კედლებისაკენ, შემდგომ იხლისება ორ შრედ და ყოფს უჯრედს ორ “ნაწილად”. ზრდის პროცესი განსხვავდება სხვადასხვა ფორმის ბაქტერიებს შორის:

ჩხირების შემთხვევაში ზრდა მიმდინარეობს სიგრძეში უჯრედის კედლის გაგრძელების გამო, ამიტომ ხვედრითი ზედაპირი (შეფარდება ზედაპირსა და მოცულობას შორის) ჩხირებში უცვლელი რჩება. კედლის გაგრძელება მის სხვადასხვა შრეებში სხვადასხვა სტრუქტურული სუბერთეულების ჩართვის ხარჯზე ხდება. სტრუქტოკოკებში ახალი სტრუქტურული სუბერთეულების ჩართვა ხდება უჯრედის კედლის “ეკვატორის” უბანში. კოკების ზრდა კი მიმდინარეობს ყველა მიმართულებით, მათი ხვედრითი ზედაპირი უჯრედის ზრდასთან ერთად პერმანენტულად მცირდება, რის გამოც ზრდის ტემპი თანდათანობით კლებულობს.

ფაქტორებს, რომლებსაც გარკვეული გავლენა აქვთ ბაქტერიების ზრდაზე *in vitro* განეკუთვნება: აერაცია (უანგბადთან ბაქტერიების დამოკიდებულების მიხედვით), ტემპერატურა, დრო, განათება და საკვები არეები.

აერაციის პირობები ბაქტერიების ტიპზეა (აერობები, ანაერობები, ფაკულტატური ანაერობები) დამოკიდებული.

ზრდისათვის ოპტიმალური ტემპერატურის მიხედვით კი არჩევენ:

- ფსიქროფილურ (ანუ კრიოფილურ) ბაქტერიებს – რომლებიც კარგად იზრდებიან 0 - 10°C
- მეზოფილებს – მათთვის იდეალურია 20 – 40°C
- თერმოფილებს – 40 -60°C, ზოგიერთი თერმოფილური ბაქტერიის ოპტიმალური ტემპერატურა 65°C –ზე მეტია.

დროის ფაქტორი დამოკიდებულია მიკრობთა სახეობაზე, მაგ ყივანახველას გამომწვევის კულტივირებისათვის საჭიროა 5 დღე, ხოლო ტუბერკულოზის გამომწვევისათვის კი ეს დრო შეადგენს 3-4 კვირას. მაგრამ უმეტესობა ბაქტერიების კულტივირებისათვის საჭიროა 18-48 საათამდე.

ფოტოტროფული ბაქტერიების ზრდისათვის აუცილებელია სინათლე. სწორად მიკრობები სინათლის ინტენსივობის მიხედვით წარმოქმნიან პიგმენტებს, რაც გამოიყენება შემდგომში მათი იდენტიფიკაციისათვის. პიგმენტები განსხვავდებიან არა მხოლოდ ფერით, არამედ ხსნადობით, ქიმიური შემადგენლობით. ცხიმში ხსნად წითელ, ნარინჯისფერ და ყვითელი ფერის კაროტინოიდულ პიგმენტებს წარმოქმნიან სარცინები, ტუბერკულოზის მიკობაქტერიები, ზოგიერთი აქტინომიცეტები. წყალში და ძლიერ მჟავებშიც კი უხსნად შავ და ყავისფერ პიგმენტებს – მელანინებს, წარმოქმნიან ბაქტერიოიდები, პიოციანინს ასინთეზირებენ ლურჯ-მწვანე ბაქტერიები, და სხვ.

საკვები კულტურალური არეები ბაქტერიებისათვის სხვადასხვაგვარია. საკვები ნივთიერება უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ მოთხოვნებს:

1. უნდა შეიცავდეს წყალს, რადგანაც ბაქტერიების ცხოველქმედების ყველა პროცესი მიმდინარეობს წყალში,
2. საკვები ნივთიერება უნდა იყოს სტერილური,
3. ნივთიერება უნდა გააჩნდეს გარკვეული ოსმოსური წნევა,
4. გათვალისწინებული უნდა იყოს საკულტივაციო მიკრობის ზრდისათვის აუცილებელი pH მანქვებელი,
5. ბაქტერიებისათვის აუცილებელია ნახშირბადის, აზოტის, გოგირდის, ფოსფორის წყაროები, ამიტომ საკვები არეები უნდა შეიცავდნენ ნახშირწყლებს, ამინომჟავებს, ლიპიდებს, ორგანულ მჟავებს.

ქიმიური შედგენილობის მიხედვით საკვები არეები შეიძლება იყოს:

- სინთეზური - არე, რომელიც შეიცავს მხოლოდ აუცილებელ ნივთიერებებს: გლუკოზას, ფოსფატებს, ქლორიდებს, სულფატებს
- კომპლექსური - არე, რომელიც აუცილებელის გარდა შეიცავს დამატებით ნივთიერებებს, სპეციფიურ ექსტრაქტებს და სხვ.

არსებობს აგრეთვე დასაკონსერვებელი ნიადაგები, რომლებიც მიმართულია საპროფიტების ზრდა-განვითარების შეზღუდვაზე და სადიფერენციო-სადიაგნოსტიკო არეები, რომლებიც გათვალისწინებულია ბაქტერიების ცალკეული ტიპების, სახეობისა ან ჯგუფების შესწავლისა და იდენტიფიკაციისათვის. ასეთი ნიადაგები ხშირად შეიცავენ ფერად ინდიკატორს.

კონსისტენციის მიხედვით შეიძლება იყოს:

- თხევადი არეები – ბულიონები
- მყარი არეები – პოლისაქარიდ აგარის ან ჟელატინის 20% შემცველობით
- ნახევრად თხევადი არეები – აგარის 0,6% იანი შემცველობით.

გარკვეული ბაქტერიების იზოლაციისა და შეფასებისას საკვები არის შემადგენლობა შეიძლება იცვლებოდეს. ასე მაგ, ელექტიური (ანუ სელექტიური) არეები სპეციალურად იქმნება კონკრეტული მიკროორგანიზმების ზრდის მოთხოვნების გათვალისწინებით და რასაკვირველია, შესაბამისად ამ კონკრეტული მიკრობის ინტენსიურ ზრდას იწვევს, რაც ნაკლებ შანსს უტოვებს სხვა მიკრობებს ზრდა გამრავლებისათვის.

ბაქტერიების კოლონიების ტიპებში არსევენ ორ ძირითად ტიპს: S (ინგ. smooth) გლუვ და R (ინგ. rough) ხორკლიან კოლონიებს.

ბაქტერიების ზრდის შეფასება ყველაზე იოლად ხდება თხევად არეებში. სადაც იყენებენ უჯრედულ კომპოგენურ სუსპენზიებს. უჯრედების რაოდენობრივ მატებას აღრიცხავენ 1 მლ –ში ბაქტერიების კონცენტრაციის (1 მლ –ში უჯრედების რაოდენობის) განსაზღვრით. უჯრედული მასის მატებას კი მოცულობის ერთეულზე მასის მატების განსაზღვრით.

ბაქტერიები მრავლდებიან ბინარული გაყოფით, რომლის შედეგადაც წარმოიქმნება ორი შვილეული იდენტური ერთეული. შესაბამისად, მათი რიცხვი იმატებს გეომეტრიული პროგრესიით:  $2^0 \rightarrow 2^1 \rightarrow 2^2 \rightarrow 2^3 \rightarrow \dots 2^n$

ბაქტერიების შეტანის შემდეგ საკვებ არეში იწყება მათი ზრდა და დაყოფა მანამდე, სადამდეც ერთ-ერთი (ან რამდენიმე ერთდროულად) საკვები ნივთიერების რაოდენობა არეში არ დავა მინიმუმამდე. თუ არ დავამატებთ საკვებს და არ მოვაშორებთ მეტაბოლიზმის პროდუქტებს, მივიღებთ ბაქტერიების პერიოდულ (ან სტატიკურ) კულტურას. პერიოდული კულტურა შეიძლება შევადაროთ მრავალუჯრედიანი ორგანიზმს, ზრდის გენეტიკურად განსაზღვრული დროით.

ბაქტერიების ზრდა კულტურაში შეიძლება დაიყოს 4 ფაზად.

1. ლაგ ფაზა - საკვებ არეში შეყვანის შემდეგ, ბაქტერიები გადიან ადაპტაციას საკვები არის პირობებთან და მრავლდებიან ძალიან ნელა. ლაგ ფაზა გრძელდება დაახლოებით 4-5 საათი.

2. ლოგარითმული (ექსპონენციალური) ზრდის ფაზა – ხასიათდება უჯრედების დაყოფის მაქსიმალური სიხარით. ხშირად გენერაციის დრო კონკრეტული სახეობის ბაქტერიებისათვის მუდმივია. ექსპონენციალური ფაზა გრძელდება დაახლოებით 5 -12 საათი. უჯრედების გაორმაგების დროს ეწოდებენ *გენერაციის დროს*

3. ბაქტერიების ზრდის ინტენსივობასთან ერთად მცირდება არეში საკვები ნივთიერებების რაოდენობა და აკუმულირდება ბაქტერიების მეტაბოლიზმის ტოქსიური პროდუქტები, რაც, რასაკვირველია ახელს ბაქტერიების გამრავლებას. ამ შენელებულ ფაზას ეწოდება *სტაციონარული*. სპორაწარმოქმნელი ბაქტერიები ამ დროს ხშირად გადადიან სპორულაციის (სპორების წარმოქმნის) ფაზაში. რაღაც გარკვეულ მომენტში სპორულ მდგომარეობაში მეოფ, აქტიური და უკვე “დაღუპული” ბაქტერიების ოდენობა არეში თანაბრდება, რასაც ეწოდება *მაქსიმალური სტაციონარული ფაზა*.

4. თუ არ მოხდა ბაქტერიების გადათესვა (გადატანა) ახალ არეზე, მათი კულტურა საბოლოოდ დაიღუპება მეტაბოლიზმის ტოქსიური პროდუქტების დაგროვებისა და საკვები არის არასაკმარისობის გამო, სპორაწარმოქმნელი ბაქტერიები გადავლენ სპორულ მდგომარეობაში და ბაქტერიების რიცხვი ძალზე შემცირდება, ამ ფაზას ეწოდება - “დაღუპვის” ან *სიკვდილის ფაზა*.

ბაქტერიული კოკულაციის შედეგად ლოგარითმულ ფაზაში “გახერხება” შესაძლებელია, თუკი საკვებ პროდუქტებს არეში “დაზირებულად” მივაწოდებთ, ასეთ კულტურას ეწოდებენ *უწყვეტ კულტურას*.

იმ ბაქტერიებს, რომლებიც ნახშირბადის ორ სხვადასხვა წყაროს იყენებენ, ახასიათებთ ორფაზიანი ზრდა: ჯერ აქვთ საწყისი პიკი, რომლის დროსაც მიმდინარეობს ერთი სახის ნახშირბადის უტილიზაცია, რის შემდეგაც კოცა ხით დგება სტაციონარული ფაზა და შემდგომ იწყება მეორე სახით წარმოადგენილი ნახშირბადის უტილიზაცია, ანუ მეორე ექსპონენციალური ფაზა.

ზოგიერთ ბაქტერიებს, უმეტესად პარაზიტებს ზრდისთვის სჭირდება სპეციფიური ნივთიერებები, რომელთაც ეწოდებენ ზრდის ფაქტორებს. უმეტესად ესენია: პურინები, ლიპიდები, რკინა –პორფირინები, ვიტამინები და პირიმიდინები.

ზრდის ფაქტორები იყოფა:

1. ფაქტორებად, რომლებიც აუცილებელია ბაქტერიების ზრდისთვის
2. ფაქტორებად, რომელთა დამატება არეში არ არის აუცილებელი და მათი არ არსებობა არეში არ იწვევს ბაქტერიების ზრდის შეჩერებას
3. “გამშვებ” ფაქტორებად – რომელთა არსებობა არეში აუცილებელია კულტურის ზრდის დასაწყებად.

მიკრობული უჯრედის გამრავლებაში ყველაზე უფრო მნიშვნელოვანი პროცესები მიმდინარეობს ნუკლეოიდში – ბირთვის მაგიერ არეში, სადაც დნმ-ის ერთ მოლეკულაში თავმოყრილია მთელი ინფორმაცია ბაქტერიულ უჯრედზე. ყველაფერი იწყება დნმ-ის რეპლიკაციით, რომელიც მიმდინარეობს ნახევრად კონსერვატიული მეთოდით. რეპლიკაცია იწყება დნმ-ის ერთ წერტილში და მიმდინარეობს ორი დიამეტრალურად საწინააღმდეგო მიმართულებით. დნმ-ის შვიდეული ატაკების სინთეზი მიმდინარეობს საფეხურებრივად 1-2 ათასი ნუკლეოტიდის ტოლი მოკლე ფრაგმენტებით, რომლებიც ერთმანეთს უკავშირდებიან სპეციალური ფერმენტით ლიგაზით. პარალელურად ხდება უჯრედშიდა ტიხარის ან განივი ჭიმის წარმოქმნა. დნმ-ის რეპლიკაციის პერიოდში უჯრედი განუწყვეტლივ იზრდება პეპტიდოკლიკანებთან ერთად სინთეზირდებიან ციტოპლაზმური მემბრანის, რიბოსომების და ციტოპლაზმის შემადგენლობაში შემავალი ბიოპოლიმერები. საბოლოოდ ტიხარი ან ჭიმი ყოფს ბაქტერიულ უჯრედს ორ ტოლ ნაწილად და შვიდეული უჯრედები შორდება ერთმანეთს. ბაქტერიული უჯრედის გაყოფის პროცესი იმყოფება მკაცრი გენეტიკური კონტროლის ქვეშ, რის დარღვევასაც აუცილებლად მოყვება გაყოფის მექანიზმის დარღვევაც. ბაქტერიებში მიტოზის აპარატის ფუნქციას ასრულებს ციტოპლაზმური მემბრანა, რომელიც ქრომოსომებს, ორგანელებს, პლაზმიდებს თანაბრად ანაწილებს შვიდეულ უჯრედებში.

### სპორულაცია

სპორაწარმოქმნის პროცესი, როგორც აღვნიშნეთ იწყება მაშინ, როდესაც ბაქტერიისათვის იქმნება არახელსაყრელი პირობები. სპორები წარმოადგენს თავისებურ “მოსვენებულ” მდგომარეობაში მყოფ უჯრედებს. მათ გააჩნიათ უაღრესად დაბალი მეტაბოლიტური აქტივობა, ამავე დროს კი გამოირჩევიან მაღალი მდგრადობით გამოშრობისადმი, მაღალი ტემპერატურისადმი და სხვადასხვა ქიმიური ნივთიერებებისადმი. სპორების მაღალ რეზისტენტობას აღნიშნული ფაქტორებისადმი უკავშირებენ სპორების გარსში დიპლიკონის მჟავის კალციუმის მარილის დიდ რაოდენობას. სპორები ძლიერი სინათლის გარდამტეხებია, ამიტომ ისინი კარგად ჩანან შეუღებავე პრეპარატებში. სპორები ბაქტერიებში ხელს უწყობენ სახეობის გადარჩენას და არ წარმოადგენენ გამრავლების საშუალებებს, როგორც, მაგ სოკოებში. სპორები უჯრედში შეიძლება განლაგდნენ ცენტრალურად, სუბტერმინალურად (ცესტრიდან წანაცვლებული) ან ტერმინალურად (უჯრედის ერთ-ერთ ბოლოში). ისინი უმეტესად მრგვალი ფორმისაა, თუმცა არსებობენ ოვალური ან ელიპსური ფორმის სპორებიც. ზოგ ბაქტერიაში სპორის დიამეტრი უფრო დიდია ვიდრე თვით უჯრედის, ამიტომ უჯრედი თითოისტარისებულ ფორმას იძენს, მაგ

როგორც კლასტრიდებში. სპორის პროტოპლასტი შეიცავს ციტოპლაზმურ მემბრანას, ციტოპლაზმას, ქრომოსომას, ცილის მასინთეზირებელი სისტემის და ანაერობული ენერჯის წარმომქმნელ ყველა კომპონენტს. სპორის აღმოცენება ხდება 4-5 საათის განმავლობაში, ხოლო მისი ფორმირება გრძელდება 18-20 საათი.

ბაქტერიების მიერ ფორმით, ზომით და უჯრედში ლოკალიზაციის მიხედვით განსხვავებული სპორების წარმოქმნის უნარი ტაქსონომიურ ნიშან-თვისებას წარმოადგენს და გამოიყენება აღნიშნული ბაქტერიის დიფერენცირებისა და იდენტიფიკაციისათვის.

სპორების წარმოქმნის პროცესი იწვება ბაქტერიული უჯრედის შიგნით სპოროგენული ზონის ფორმირებით, რომელიც წარმოადგენს ციტოპლაზმის ერთ რომელიმე გამკვრივებულ უბანს მასში ლოკალიზებული ნუკლეოიდით. ამის შემდგომ ციტოპლაზმისაგან სპოროგენული ზონის იზოლირების გზით, რაც ხორციელდება ციტოპლაზმური მემბრანის უჯრედში შესრდის გამო, წარმოიქმნება პრესპორა. ციტოპლაზმური მემბრანის გარეთა და შიდა შრეებს შორის წარმოიქმნება სპორის გარსის ყველაზე სქელი შრე - კორტექსი. კორტექსი მგრძობიარეა ფერმენტ ლიზოციმის მიმართ და ამ ფერმენტის მოქმედებით იშლება. ზოგიერთი ბაქტერიების სპორებს აქვთ დამატებითი დამცავი შრე - გლახოსპორიუმი. სპორის მემბრანის გარეთა ზედაპირი იფარება მკვრივი გარსით, რომლის შემადგენლობაშიც შედის ბაქტერიული ვეგეტატიური უჯრედისათვის არადაძახასიათებელი ცილები, ლიპიდები, და სხვა შენაერთები. სწორედ აქ არის ლოკალიზებული დიპლიკონის მუავაც, რომელიც ანიჭებს სპორას განსაკუთრებით მდგრადობას. სპორების ასეთ მაღალ მდგრადობას ქიმიური და ფიზიკური ფაქტორების მიმართ დიდი ეპიდემიოლოგიური მნიშვნელობა გააჩნია, ვინაიდან სპორა ხელს უწყობს ინფექციის წყაროს შენარჩუნებას. სპორის წარმოქმნის პროცესის დასრულებისათვის უჯრედის ვეგეტატიური ნაწილი კვდება, სპორა გამოთავისუფლდება და ხანგრძლივი დროით ინარჩუნებს გარემოში სიცოცხლისუნარიანობას, სახამ არ დადგება მისი აღმოცენებისათვის ხელსაყრელი პირობები. ბაქტერიების სპორების სიცოცხლისუნარიანობა ვარირებს სხვადასხვა სახეობებისათვის 3 - 50 წლიდან 200 - 300 წლამდე (Bacillus --ის შემთხვევაში).

სპორაწარმომქმნელ ბაქტერიებს გააჩნიათ მექანიზმები, რომელთა საშუალებითაც ისინი ამოიცნობენ გარკვეული სახის ცვლილებებს გარემოში მაგ ენერჯის წყაროს, ზოგიერთი ამინომჟავის, და სხვ. ნაკლებობას და ამის საპასუხოდ იწვებენ სპორების ფორმირებას, ანუ სპორულაციის პროცესს.

სპორულაციის კიდევ ერთ-ერთი თავისებურება მდგომარეობს სპორულაციის გარკვეულ ეტაპზე ბაქტერიული უჯრედის მიერ მუავებში ხსნადი მცირე ზომის ცილების სინთეზში. სპორებში ისინი უკავშირდებიან დნმ-ს რითაც უზრუნველყოფენ

სპორის მდგრადობას ულტრაიისფერი გამოსხივების მიმართ. სპორის აღმოცენების პერიოდში ეს ცილები პიდროლიზდება და უზრუნველყოფს უჯრედს მისთვის საჭირო ამინომჟავებით.

სპორის აღმოცენება ხდება მის მიერ გარკვეული ქიმიური სიგნალის მიღების შემდეგ. ეს პროცესი მოიცავს 3 სტადიას;

- აქტივაციას – ხორციელდება სხვადასხვა ფაქტორების საშუალებებით, მაგ ტემპერატურის ან pH მკვეთრი ცვლილების, მექანიკური დაზიანების და ა. შ. საპასუხოდ,
- საწყის სტადიას – როდესაც გარეგანი ფაქტორების გავლენით ხდება ფერმენტ აუტოლიზინების გააქტივება და კორტექსის შრის დაშლა, რის შედეგადაც სპორაში შედის წყალი, სპორა თავისუფლდება კალციუმის დიპლიკონისაგან, ხოლო პიდროლიზური ფერმენტების ხელაქმედებით იშლება მისი სხვა კომპონენტებიც,
- ზრდის სტადიისაგან – ხდება მეტაბოლიტური პროცესების გააქტიურება და რამოდენიმე საათში სპორიდან გამოიკვირტება ახალი ვეგეტატიური უჯრედი, რომელიც საკვები ნივთიერებების არსებობის შემთხვევაში გარემო არეში სწრაფად ააქტივებს ყველა პროცესს, აღორძინებს თავის ბიომასას და მალევე იყოფა ორ შვილეულ უჯრედად, რომლებიც თავის მხრივ შემდგომში აქტიურად მრავლდებიან.

## ლექცია 4

### ბაქტერიების ზრდა-განვითარების შესწავლა

გარემოს ფიზიკურ, ქიმიურ და ბიოლოგიურ ფაქტორებს სხვადასხვახაზი გაავლენა აქვთ მიკროორგანიზმებს: ბაქტერიციდული ანუ მიკრობოციდული რომელიც იწვევს ბაქტერიის “სიკვდილს”, ბაქტერიოსტატიკური – რომელიც იწვევს ბაქტერიების ზრდისა და გამრავლების შეჩერებას და მუტაგენური რომელიც იწვევს ბაქტერიების მემკვიდრული ნიშან-თვისებების ცვლილებას.

როგორც ავღნიშნეთ, ბაქტერიების ზრდაზე მოქმედებს აერაცია, ტემპერატურა, სინათლე, ტენიანობა ან გამოშრობა და სხვ. ფაქტორები, რომლებიც შეიძლება იყვნენ როგორც ზრდის მასტიმულირებელი, ასევე ზრდის მალიმიტირებელიც.

პათოგენური ბაქტერიების ზრდის დათრგუნვა ან მათი განადგურება სორციელდება სხვადასხვა ქიმიური ან ფიზიკური ფაქტორების საშუალებით. ისინი ან მოქმედებენ არაარჩევითად (მაგ, შენობების, საყოფაცხოვრებო ნივთების ან სამედიცინო ინსტრუმენტების გაწმენდა-გაუვნებელყოფის შემთხვევაში), ან არჩევითად (ანტიმიკრობული მოქმედება – გამოიხატება ძირითადად ქიმიოთერაპიაში).

არაარჩევითი მოქმედებებიდან გამოყოფენ დეზინფექციას და სტერილიზაციას.

დეზინფექცია (ფრანგული თავსარ. des აღნიშნავს ინფექციური საწყისის მოშორებას) - გულისხმობს მიკრობებით დაბინძურებული საგნის დამუშავებას პათოგენური ბაქტერიების რიცხვის შემცირების მიზნით,

სტერილიზაცია (ლათინური სიტყვიდან sterilis – უნაყოფო) კი ახდენს მიკრობების სრული ელიმინირებას ან მათ სრულ ინაქტივაციას.

მიკრობების გაუვნებელყოფის მეთოდებს შორის ასხვავებენ:

ფიზიკურ მეთოდებს

1. თერმული დამუშავება:

პასტერიზაცია – გაცხელება ან 15 წთ 70- 72°C, ან 30წთ 60°C. ამ დროს იღუპება 40-70% ბაქტერიებისა

სტერილიზაცია მშრალი ორთქლით – ტარდება საშრობ კარაღებში, სადაც 1 ადწევს 160°C. ამ დროს იღუპება არ მხოლოდ ბაქტერიების ვეგეტატიური ფორმები, არამედ სპორებიც.

სტერილიზაცია სველი ორთქლით - 121°C და 1,2 -1,5 ატმ წნევა ანადგურებს თერმოსტაბილურ სპორებსაც კი 15 წთ - ში.

ტინდალიზაცია - ჯერადი სტერილიზაცია (ყოველდღიური) დაბალ ტემპერატურაზე.

2. დასხივება

ულტრაიისფერი სხივებით – მისი მიკრობოციდული მოქმედება ემყარება წყალბადური ბმების გაწყვეტას და დნმ –ის მოლეკულებში თიმიდინის დიმერების წარმოქმნას, რაც იწვევს არასიცოცხლისუნარიანი მუტანტების წარმოშობას.

Υ და რენტგენის სხივების – დასხივება იწვევს თავისუფალი რადიკალების წარმოქმნას, რაც თავის მხრივ შემდგომ იწვევს ნუკლეინის მკავებისა და ცილების დენატურაციას და ბუნებრივია ბაქტერიული უჯრედის დაღუპვას.

მიკროტალღური გამოსხივება - მისი მასტერილიზებელი ეფექტი მიიღწევა ტემპერატურის სწრაფი მატების ხარჯზე.

ულტრაბგერა – იწვევს მიკრობული ორგანიზმების დეპოლარიზაციას და მათი შემადგენელი მოლეკულების დენატურაციას.

მადენზიფიცირებელი აგენტების ძირითადი ტიპები

ტიპი	განსაზღვრება
ჰერმიციდი	მიკროორგანიზმების ვეგეტატიური ფორმების (მაგრამ არა სპორების) გამანადგურებელი ფიზიკური ან ქიმიური აგენტი
სპოროციდი	ბაქტერიებისა და სოკოების სპორების გამანადგურებელი ქიმიური აგენტი
ფუნგიციდი	სოკოების გამანადგურებელი ქიმიური აგენტი
ვირულიციდი	ვირუსების გამანადგურებელი ქიმიური აგენტი
ბაქტერიციდი	ბაქტერიების გამანადგურებელი ქიმიური აგენტი
ბაქტერიოსტატიკი	ბაქტერიების ზრდის დამორგუნველი ქიმიური აგენტი
სანატორი	დეტერგენტი, რომელიც ინარჩუნებს ბაქტერიების რაოდენობას გაკვეთლ დონეზე

3. ფილტრაცია

არსებობს ბუნებრივი (მაგ: კაოლინი, ინფუზორული მიწა) და ხელსაწყოური ფილტრები (სხვადასხვა დიამეტრის მქონე მემბრანული ფილტრები), რომლებიც ეფექტურად ახდენენ ბაქტერიების ელიმინაციას სითხეებიდან და აირებიდან.

ქიმიურ მეთოდებს

ანტისეპტიკების და დეზინფექტანტების გამოყენება

მათ მიეკუთვნებად სხვადასხვა სპირტები, ჰალოგენები და ჰალოგენშემცველი პრეპარატები (იოდი, იოდიინოლი, იოდინატი, პოვიდონ - იოდი, ქლორი, ქლორაქინი), ალდეჰიდები (ფორმალდეჰიდი, ლიზოფორმინი), მჟავები (ბორის მჟავა, ძმარმჟავა, აცეტილსალიცილის მჟავა, ამიაკის ხსნარი), მძიმე მეტალები (სპიდენდის სულფატი, ვერცხლის ნიტრატი, ცინკის ქანგი), ფენოლები (კარბოლის მჟავა, ტრიკრეზოლი, რეზორცინი), კათიონური დეტერგენტები, აირები (ეთილენის ოქსიდი, ფორმალდეჰიდის აირი), საღებავები (ბრილიანტის მწვანე, მეთილის ლურჯი), დამჟანგავები ( $H_2O_2$ , ჰიდროპერიტი, კალიუმის პერმანგანატი).

ყველა ქიმიური აგენტი სხვადასხვაგვარად მოქმედებს ბაქტერიებზე და მათ ზრდას სხვადასხვანაირად აფერხებს. ზოგი იწვევს დენატურაციას, ზოგი პლაზმატური მემბრანის განვლადობას ცვლის (მაგ კათიონური დეტერგენტები), ზოგიც ლიპიდებს “გამორეცხავს” უჯრედული კედლიდან (მაგ სპირტები).

ბაქტერიის სიცოცხლისუნარიანობაზე არსებითად მოქმედ ნივთიერებებს მიეკუთვნება ბუნებრივი ანტიბიოტიკები და ქიმიოპრეპარატები

ბუნებრივი ანტიბიოტიკები იწარმოება სხვადასხვა მიკროორგანიზმების მიერ და მიმართულია სხვა ორგანიზმების ცხოველქმედების შეზღუდვაზე ან მათ განადგურებაზე. ანტიბიოტიკების წარმოქმნის ფენომენი უპირველეს ყოვლისა განპირობებულია მიკროორგანიზმთა შორის ანტაგონისტური ურთიერთქმედებით. ანტიბიოტიკების პროდუცენტები არიან: ბაქტერიები, სოკოები, აქტინომიცეტები, უმაღლესი წყალმცენარეები. სამედიცინო თვალსაზრისით ყველაზე გავრცელებადი ანტიბიოტიკები ბაქტერიების, სოკოებისა და აქტინომიცეტების ნაწარმოები პროდუქტებია.

ბუნებრივი ანტიბიოტიკების სამიზნე როგორც წესი არის მხოლოდ ვეგეტატიური უჯრედი და არა სპორა. არსებობს ფართო და ვიწრო სპექტრის პრეპარატები პირველი მოქმედებს როგორც გრამ (+), ასევე გრამ (-) ბაქტერიებზე, მეორე, როგორც წესი მხოლოდ გრამ (+).

ბუნებრივი ანტიბიოტიკების აღმოჩენის შემდეგ ადამიანის მიერ შექმნილი იქნა

სინთეზური ქიმიოთერაპიული საშუალებები:

პირველ სინთეზურ ანტიბიოტიკებს მიეკუთვნებიან დარიშხანის წარმოებულები - საღვარსანი და ნეოსაღვარსანი, შემდგომ სამედიცინო პრაქტიკაში დაინერგა

- სულფანილამიდური პრეპარატები
- იზონიკოტინის მჟავის ანალოგები
- ქინოლონები

- თიოსემიკარბაზონის წარმოებულები

ანტიბიოტიკებს, წარმოშობის, ქიმიური სტრუქტურის, აქტივობის სპექტრის, მოქმედების მექანიზმის, მედიკამენტოზური მდგრადობის განვითარების პრინციპით ყოფენ სხვადასხვა კლასებად. ამჟამად არსებული ძალზე მრავალფეროვანი ანტიბიოტიკების სპექტრს მიკრობულ უჯრედზე მოქმედების მექანიზმის მიხედვით ყოფენ:

- ბაქტერიული უჯრედული კედლის კომპონენტების სინთეზის ინჰიბიტორებად, რომელშიც შედი: პენიცილინების დიდი ჯგუფი, ცეფალოსპორინები (4-ვე თაობა), სხვა β-ლაქტამები და სხვ.
- ბაქტერიული უჯრედის ციტოპლაზმატური მემბრანის ფუნქციის დამრღვევებად, მათ განეკუთვნება: პოლიმიქსინები, პოლიენური ანტიბიოტიკები, გრამიციდინები
- ცილის სინთეზის ინჰიბიტორებად, რომელთაც ეკუთვნის: ამინოგლიკოზიდები, ტეტრაციკლინები, ლევომიციტინი, მაკროლიდები და სხვ.
- ნუკლეინის მუკების ტრანსკრიპციისა და სინთეზის ინჰიბიტორებად: ქინოლონი, ნიტროიმიდაზოლის წარმოებულები, რიფამპინი
- ნუკლეოტიდების სინთეზის ინჰიბიტორებად, როგორცაა სულფახანიდაზიდები, დიამინოპირიმიდინები

ზრდის დამორგუნავი ან მისი შემსლუდავი ფაქტორებისაგან ბაქტერია იცავს თავს, სხვადასხვა საშუალებებით: სპორის წარმოქმნით, პიგმენტების სინთეზით და ა. შ.

ანტიბიოტიკებისა და ქიმიოპრეპარატების მოქმედების მიმართაც ბაქტერიას შეიძლება განუვითარდეს ან/და ქონდეს მდგრადობა – იყოს რეზისტენტული ამა თუ იმ პრეპარატის მიმართ. რეზისტენტობა მოიცავს ისეთი ფერმენტების სინთეზის უნარს ბაქტერიის მიერ, რომლების იწვევს პრეპარატის ინაქტივაციას, ან იმ ბაქტერიული სტრუქტურების მოდიფიკაციას, რომლებთანაც პრეპარატი შედის ურთიერთქმედებაში. ამას ყველაფერს აპირობებს როგორც შინაგანი, ანუ ბუნებრივი, ასევე გარეგანი შექნილი ფაქტორები.

არსებობს რეზისტენტობა ანუ მდგრადობა, რომელიც არაგენეტიკურია ბაქტერიისათვის და გულისხმობს ბაქტერიის მეტაბოლიზმის ცვლილებას და პრეპარატთან მოურთიერთე ლიგანდების რიცხვისა და რაოდენობრივ ცვლილებას, და არსებობს გენეტიკური რეზისტენტობა, რომელიც კოდირდება ბაქტერიის ქრომოსომულ აპარატში ან ხორციელდება და გადაეცემა პლაზმიდებით.

**არაგენეტიკური რეზისტენტობა** - როგორც ავღნიშნეთ, გულისხმობს:

1. უჯრედული ლიგანდების, რომლებიც კონკრეტულად ურთიერთქმედებენ ქიმიოპრეპარატებთან, საერთო რიცხვის შემცირებას – მაგ, პენიცილინების მოქმედება

ზოგიერთ გრამ (+) ბაქტერიებზე იწვევს უკარსო, (L ფორმების) პოპულაციების წარმოქმნას და შესაბამისად ამით რეზისტენტულს ხდის მათ ანტიბიოტიკებისადმი.

2. ბაქტერიული უჯრედის მეტაბოლისტური აქტივობის დაქვეითებას უმცირესობა ბაქტერიებისა მგრძობიარე არიან ანტიბიოტიკებისადმი მხოლოდ აქტიურ რეპროდუქციულ ფაზაში. შესაბამისად, თუ ბაქტერია დიდხანს იქნება ლატენტურ სტადიაში, მას გადარჩენის მეტი შანსი ექნება. ამიტომ, რიგი ბაქტერიული პროცესებისა მიმართულია მეტაბოლისტური აქტივობის შემცირებაზე, რაც უზრუნველყოფს ბაქტერიის უფრო ნელ განვითარებას და შესაბამისად ლატენტური სტადიის გაგრძელებას.

*გენეტიკური რეზისტენტობა* - შესაძლებელია კოდირებული იყოს ქრომოსომულ აპარატში ან განპირობებული იქნას პლაზმიდების მოქმედებით.

რეზისტენტობის მიზეზი შეიძლება გახდეს ცილა პორინების სტრუქტურის ცვლილებები, რომლის საშუალებითაც ანტიბიოტიკები აღწევენ უჯრედში, კონკრეტული ცილების მუტაციები, რომლებიც წარმოადგენენ ანტიბიოტიკისათვის ლიგანდს, ან იმ ბაქტერიული ფერმენტების სტრუქტურული ცვლილებები, რომლებიც მონაწილეობენ ანტიბიოტიკის "გადაღწევაში".

ხშირ შემთხვევებში რეზისტენტობის მიზეზი ხდებიან *პლაზმიდები* - არაქრომოსომული დნმ ელემენტები, რომლებსაც დამოუკიდებელი რეპლიკაციის უნარი გააჩნიათ და აკოდირებენ სხვადასხვა სახის მდგრადობას ქიმიოფაქტორების მიმართ. პლაზმიდები შეიძლება შეიცავდნენ ერთ ან მეტ გენს, რომელიც აკოდირებს ქიმიოპრეპარატების ინაქტივაციას, ანდა მოდიფიკაციას, ასევე მის სწრაფ ელიმინაციას უჯრედიდან, (მაგ ლაქტამაზებს). შესაძლებელია ბაქტერია ერთდროულად იყოს მდგრადი რამდენიმე ტიპის ანტიბიოტიკის მიმართ ამას ეწ. *მრავალჯერადი რეზისტენტობა*. პერიოდულად გვხვდება *ეპიდემიური რეზისტენტობის* მოვლენა, როდესაც მდგრადობა იღებს გენეტიკურ ხასიათს და გადაეცემა შვილეულ თაობებს.

თუ ქრომოსომულად რეზისტენტული შტამების (მუტაციებით განპირობებული და ა.შ.) ბუნებრივი გადარჩევა მოხდება შემდგომი დომინირებით (ანუ კონკრეტულად ასეთი შტამების გაძლერებული ზრდით), ამას ეწ. *შტამების ბუნებრივი სელექცია*.

ძირითად მექანიზმებს, რომლებიც აპირობებენ რეზისტენტობას ქიმიოპრეპარატების მიმართ განეკუთვნებიან:

1. ქიმიოპრეპარატების ფერმენტული ინაქტივაცია -

რიგ ბაქტერიებს გააჩნიათ ქიმიოპრეპარატების გაუვნებელოფის მექანიზმები.

ძირითადად ესენია ფერმენტები, რომლებიც მოქმედებენ ანტიბიოტიკებზე:

- β ლაქტამაზები რომელთა მოქმედება გამოიხატება შესაბამისად β ლაქტამების წინააღმდეგ და კოდირდება გრამ (+) ბაქტერიების შემთხვევაში ინდუციბელური გენებით – ანუ გენებით, რომელთა სინთეზის ინტენსივობა იზრდება არეში ანტიბიოტიკის არსებობისას, ხოლო გრამ (-) ბაქტერიების შემთხვევაში სინთეზი ატარებს პერმანენტულ ხასიათს.

- აცეტილტრანსფერაზები, ფოსფორილაზები და ნუკლეოტიდაზები ასდენენ ამინოგლიკოზიდების მოდიფიკაციას ისე, რომ ისინი ვეღარ უკავშირდებიან რიბოსიმებს.

## 2. უჯრედული კედლის განვლადობის შეცვლა -

- პორინები – მათი სტრუქტურის ცვლილება ჰიდროფილური ანტიბიოტიკების უმეტესობას განუვლადს ხდის უჯრედული კედლისათვის

- ლიპოპოლისაქარიდები – თრგუნავენ ჰიდროფობული ანტიბიოტიკების განვლადობას უჯრედულ კედელში

- ელექტრონული ტრანსპორტის ცვლილება -- მაგ. ამინოგლიკოზიდების შეღწევა უჯრედში პირდაპირ დამოკიდებულია უანგბადის ატომთან ელექტრონის გადატანაზე, ასე, რომ თუ ეს არ მოხდა და ელექტრონული ტრანსპორტი შეიცვალა, ამინოგლიკოზიდები უჯრედში ვერ შეაღწევენ.

3. სხვა ფაქტორები – მაგ, ზოგიერთ ბაქტერიას შეუძლია ანტიბიოტიკების ბაქტერიოციდული აქტივობა გადაიყვანოს ბაქტერიოსტატიკურში. ასეთ ეფექტს მაგ *Streptococcus pneumoniae* აღწევს უჯრედული კედლის განვლადობის შეცვლით და ზოგიერთი აუტოლითიური პრეპარატის გამოყენებით.

## ბაქტერიული მეტაბოლიზმი

ბაქტერიული უჯრედი როგორც ზრდის პერიოდში, ისევე ვეგეტატიურ მდგომარეობაში საჭიროებს ენერჯის მუდმივ მოდინებას. ცოცხალი უჯრედი წარმოადგენს მაღალორგანიზებულ მატერიას, ენერჯია კი საჭიროა არა მხოლოდ ასეთი ორგანიზაციის შექმნისათვის, არამედ მისი შენარჩუნებისათვისაც. ამ ენერჯიას ორგანიზმი იღებს ნივთიერებათა ცვლის პროცესში, ანუ მეტაბოლიზმში, რომელიც მიმდინარეობს უჯრედის შიგნით.

იმისათვის, რომ საკვები ნივთიერება “ნაერთის” უჯრედულ მეტაბოლიზმში იგი უნდა მოხვდეს ბაქტერიულ უჯრედში, ანუ მან უნდა “გაიაროს” ციტოპლაზმარეო მემბრანა. ბაქტერიულ უჯრედში ნივთიერებათა გადატანის (ტრანსპორტის) ორი გზა არსებობს: პასიური და აქტიური.

პასიურის დროს ნივთიერება უჯრედში ხვდება მხოლოდ კონცენტრაციის გრადიენტის მიხედვით - მაღალი კონცენტრაციიდან დაბალისაკენ, ხანამ ნივთიერების კონცენტრაცია მემბრანის ორივე მხარეს არ გათანაბრდება. თუ, კონკრეტული ნივთიერების კონცენტრაცია გათანაბრდება უჯრედის მემბრანის ორივე მხარეს პასიური დიფუზიის პროცესი შეწყდება. პასიური დიფუზიისათვის არ არის დამახასიათებელი სუბსტრატის სპეციფიურობა და იგი არ მოითხოვს ენერჯის ხარჯვას.

ასხვავებენ პასიური ტრანსპორტის ორ ფორმას: ჩვეულებრივ დიფუზიას და გამარტივებულ დიფუზიას. ჩვეულებრივი დიფუზია არასპეციფიურია და დამოკიდებულია გადასატანი მოლეკულების ზომასა და მათ დიპოლილობაზე. გამარტივებული დიფუზია ხორციელდება გადამტანი ცილა პერმეაზას საშუალებით და უფრო სწრაფია ვიდრე ჩვეულებრივი დიფუზია. პერმეაზები იკავშირებენ სუბსტრატს მემბრანის გარეთა ზედაპირზე და მემბრანის გავლით გადააქვთ იგი შიდა ზედაპირზე, სადაც დისოცირდებიან, გამოათავისუფლებენ დაკავშირებულ ნაწილაკს და შემდგომ იმეორებენ ამავე ციკლს თავიდან.

აქტიური ტრანსპორტის დროს ნივთიერება უჯრედში აღწევს კონცენტრაციის გრადიენტის საწინააღმდეგოდ. ამ შემთხვევაშიც მოქმედებენ შემბოჭველი ცილა გადამტანები, რომლებიც მოქმედებენ პერმეაზებთან კომპლექსში. ამ პროცესის განხორციელებისათვის იხარჯება გარკვეული ენერჯია. ხშირად გადატანის პერიოდში ნივთიერება ქიმიურად მოდიფიცირდება - მაგ. შაქრები უკავშირდებიან ფოსფორილირებულ ცილა გადამტანს, რომელსაც ციტოპლაზმის გავლით გადააქვთ შაქრები და ათავისუფლებს მათ ციტოპლაზმაში ფოსფორილირებული ფორმით.

უჯრედში გარედან მოხვედრილი საკვები ნივთიერებები, განიცდიან რიგ ფერმენტულ გარდაქმნებს, რომელთა შედეგადაც ბაქტერია იღებს როგორც უჯრედული კომპონენტების საშენ მასალას, ასევე ენერჯიას უჯრედული პროცესებისათვის. ბიოსინთეზური და ენერგეტიკული პროცესები უჯრედში მიმდინარეობს ერთდროულად და დაკავშირებულები არიან ერთმანეთთან შუალედური პროდუქტებით, რომლებსაც უწოდებენ ამფიბოლიტებს.

უჯრედში ნივთიერებათა გარდაქმნა, ანუ მეტაბოლიზმი შეიძლება პირობითად დავეოთ სამ ეტაპად, ესენია:

- კატაბოლიზმი - საკვები ნივთიერებების, რომლებიც ქიმიურად წარმოადგენენ რთულ ნივთიერებებს, დაშლა მცირე ფრაგმენტებად. ამ პროცესის დროს თავისუფლდება ენერჯია,
- ამფიბოლიზმი - შუალედური ცვლა, ანუ დაშლილი პროდუქტების ფრაგმენტების გარდაქმნა ორგანულ მკავეებად და ფოსფორულ ეთერებად.

მარტივ საშენ “ბლოკებად”, რისგანაც შემდგომში სინთეზირდება პოლიმერული მაკრომოლეკულები

- ანაბოლიზმი ანუ მეტაბოლიზმის სინთეზური “ნაწილი” როდესაც სინთეზირდება როგორც უჯრედის საშენი მასალები, ასევე მაკრომოლეკულები: ნუკლეინის მჟავები, ცილები, უჯრედული კედლის კომპონენტები.

დედამიწაზე მცხოვრები ყველა ცოცხალი ორგანიზმი ბიოქიმიურად ძირითადად ერთმანეთის მსგავსია. თითქმის ერთნაირია მათი ძირითადი მეტაბოლიზური გზებიც, ბაქტერიების რამდენიმე ჯგუფის გარდა, რომელთაც ეს გზები მოდიფიცირებული აქვთ.

### ფერმენტები და კოფერმენტები

ნებისმიერი ტიპის გარდაქმნას უჯრედში ახორციელებენ ფერმენტები. ყოველი ერთი მეტაბოლიტის გარდაქმნას მეორედ ახორციელებს კონკრეტული ფერმენტი ანუ ცილა, რომელსაც გააჩნია კატალიზური აქტივობა. ნებისმიერი მიკროორგანიზმის ფერმენტული შემადგენლობა განისაზღვრება მისი გენომით და არის სტაბილური ნიშან-თვისება, რაც გამოიყენება ბაქტერიების იდენტიფიკაციისათვის. ამასთანავე, ზოგიერთი პათოგენური მიკროორგანიზმის ფერმენტი ამავედროულად წარმოადგენს პათოგენურობის ფაქტორს (მაგ. პიალურონიდაზა, ნეირამინიდაზა).

ფერმენტული რეაქცია იწყება გარკვეული მეტაბოლიტის (სუბსტრატის) მიერთებით კონკრეტულ ფერმენტულ ცილასთან. ფერმენტის მიერ სუბსტრატის “გამოცნობა” მიმდინარეობს მათი დაკავშირების პროცესში, და ეს პროცესი ხდება ფერმენტის გარკვეულ უბანში ე.წ. კატალიზურ ცენტრში, რომელიც ისეთივე შესაბამისობაშია კონკრეტულ სუბსტრატთან, როგორც გასაღები კლიტესთან. მეტაბოლიტის ქიმიური გარდაქმნები მიმდინარეობს უფრო სწრაფად, ვიდრე სხვა ნებისმიერი არაფერმენტული რეაქცია. ფერმენტების ძალზე მნიშვნელოვანი თვისებაა, მათ მიერვე თავისი კატალიზური აქტივობის რეგულაცია. ეს ხორციელდება სხვა, მეორე ცენტრის საშუალებით, რომელსაც ეწოდება – რეგულატორული ცენტრი და რომელიც იერთებს რეაქციის ჯაჭვის საბოლოო პროდუქტს. ანუ, ფერმენტის კატალიზური ცენტრი უერთდება სუბსტრატს და იწყებს გარდაქმნის რეაქციას, ხოლო რეგულატორული ცენტრი იერთებს ამ გარდაქმნების საბოლოო პროდუქტს, რითიც აბლოკირებს ფერმენტის კატალიზურ აქტივობას. საბოლოო პროდუქტები მოქმედებენ ამ შემთხვევაში როგორც უარყოფითი ეფექტორები.

ბაქტერიები ზრდის განმავლობაში იყენებენ სხვადასხვა სუბსტრატების დიდ რაოდენობას. ეს ნიშნავს, რომ ისინი ასინთეზირებენ ფერმენტების იმდენ

ნაირსახეობას, რომელიც სჭირდება ამ სუბსტრატების გარდაქმნას. ესე იგი მათ აქვთ შესაბამისი სტრუქტურული გენები. თუ საკვები არე შეიცავს მხოლოდ ერთ სუბსტრატს, მაშინ უჯრედებში წარმოიქმნება მხოლოდ ამ სუბსტრატის გარდასაქმნელად საჭირო ფერმენტი და ამას ეწოდება ფერმენტის ინდუქცია. თუ არეში ერთდროულად რამდენიმე სხვადასხვა სუბსტრატია, როგორც წესი ბაქტერია “არჩევს” იმ სუბსტრატს, რომელიც უზრუნველყოფს მის უფრო სწრაფ ზრდას. არჩევითად ხდება იმ ფერმენტის სინთეზის ინდუქცია, რომელიც საჭიროა ამ სუბსტრატის უტილიზირებისათვის, ხოლო სხვა სუბსტრატისათვის საჭირო ფერმენტების სინთეზი კი ითრგუნება, ამას ეწ. კატაბოლიტური რეპრესია.

ამგვარად, ასხვაგვებენ ფერმენტების 3 ძირითად ჯგუფს:

1. კონსტიტუციურს – რომელთა სინთეზი განუწყვეტლივ მიმდინარეობს უჯრედში, მათ განეკუთვნება გლიკოლიზის ფერმენტები,
2. ინდუციბელურს, რომელთა სინთეზის ინდუცირება ხდება შესაბამისი სუბსტრატით და მათი კონცენტრაცია მკვეთრად მატულობს შესაბამისი სუბსტრატის არსებობის შემთხვევაში, და
3. რეპრესიბელურს, რომელთა სინთეზი ითრგუნება ამ ფერმენტებით კატალიზებული რეაქციის პროდუქტის დაგროვების შემთხვევაში.

ბაქტერიული ფერმენტები არის 6 ჯგუფის, ესენია:

**ოქსირედუქტაზები, ტრანსფერაზები, ჰიდროლაზები, ლიგაზები, ლიაზები, იზომერაზები.**

ბაქტერიული უჯრედის მიერ სინთეზირებული ფერმენტები, შესაძლოა ლოკალიზდნენ უჯრედის შიგნით და მაშინ მათ ეწოდებად **ენდოფერმენტები**, ან შესაძლოა გამოიყონ გარემო არეში, ამ შემთხვევაში მათ უწოდებენ **ეკზოფერმენტებს**.

ეკზოფერმენტები უზრუნველყოფენ ბაქტერიულ უჯრედისათვის ნახშირწყლებისა და ენერჯის მიწოდებას. უმეტესობა ჰიდროლაზებისა მაგ, წარმოადგენენ ეკზოფერმენტებს, რომლებიც არეში გამოთავისუფლების შემდეგ პეპტიდების მსხვილ მოლეკულებს, პოლისაქარიდებს ან ლიპიდებს შლიან მონომერებად და დიმერებად, რომელთაც უკვე შეუძლიათ ბაქტერიულ უჯრედში შეღწევა.

ეკზოფერმენტები ასევე პათოგენური ფაქტორებია, რომლებიც არღვევენ ქსოვილებისა და უჯრედების კომეოსტაზს, რაც იწვევს მათ დაზიანებას.

ეკზოფერმენტების სინთეზის უნარი განაპირობებს ბაქტერიების ინვაზიურობას, მათ მიერ ლორწოვანის, შემაერთებული ქსოვილის და სხვა ორგანული ბარიერების გადალახვის უნარს. მათ მიეკუთვნებიან ისეთი ფერმენტები როგორცაა

**ჰიალურონიდაზა** - უჯრედშორისი ნივთიერების დამშლელი, ნეირანიმიდაზა- ლორწოს ბარიერის გადამლახველი, ანტიბიოტიკების დამშლელი ფერმენტები, კოლაგენაზა და

ბევრი ფერმენტი მოთავსებულია ბაქტერიის პერიპლაზმატურ არეში და მონაწილეობს ნივთიერებათა ტრანსპორტში. ბაქტერიის ფერმენტული სპექტრი წარმოადგენს მის ტაქსონომიურ ნიშან-თვისებას დამახასიათებელს გარკვეული ოჯახისათვის, გვარისათვის ან/და სახეობისათვის.

სუბსტრატის დაკავშირებაში და შემდგომში მისი ცალკეული ფრაგმენტების (მაგ: წყალბადის, მეთილური ჯგუფების) გადატანაში ფერმენტული ცილების გარდა მონაწილეობენ კოფერმენტები და პროსთეტიული ჯგუფები. ნივთიერებებს, რომლებიც ფერმენტულ ცილაზე იერთებენ სუბსტრატის ფრაგმენტს, შემდეგ მოსწყდებიან მას და გადაქვთ ეს ფრაგმენტი სხვა ფერმენტულ ცილაზე, ეწოდებათ კოფერმენტები. ხოლო დაბალმოლეკულური ნაერთებს, რომლებიც ფერმენტულ ცილასთან მჭიდროდ არიან დაკავშირებული და სუბსტრატის ფრაგმენტს გადასცემენ ფერმენტიდან მოუწყვეტავად, ეწოდებათ პროსთეტიული ჯგუფები.

კოფერმენტების სინთეზის უნარი არ შესწევს ბევრ ორგანიზმს და ისინი მას იღებენ საკვებთან ერთად ვიტამინების სახით, მაგ; კოფერმენტი A (პანტოთეხის მჟავა), კოფერმენტი B<sub>12</sub> (კობალამინი).

ბაქტერიული უჯრედის ძირითადი ორგანული კომპონენტები სინთეზირდება პოლიმერიზაციის რეაქციებით “საშენი მასალებიდან”, ანუ ამინომჟავებიდან, ფოსფატებიდან, პურინული და პირიმიდინული ფუძეებიდან, ორგანული მჟავებიდან. საშენ მასალების მიმწოდებლები არიან ენერგეტიკული მეტაბოლიზმის შედეგად პროდუქტები.

## ლექცია 5

### ამინომჟავების ბიოსინთეზი

ბაქტერიების უმეტესობას შეუძლია ცილების შემადგენელი 20-ვე ამინომჟავის სინთეზი, ამავდროულად მათ შეუძლიათ მიიღონ ამინომჟავები ფერმენტების მიერ დაშლილი ცილოვანი მოლეკულებიდანაც, ამას ეწ. ტრანსამინირება. ცილებს ბაქტერიულ უჯრედში აქვთ როგორც ფერმენტული ფუნქცია, ასევე წარმოადგენენ ციტოპლაზმატური მემბრანის, უჯრედული კედლის, კაპსულების და სპორების შემადგენელ ნაწილებს.

ამინომჟავების სინთეზისათვის საჭირო ნივთიერებებს: კეტოგლუტარატს და ფუმარატს “იძლევა” ტრიკარბონმჟავების ციკლი და ხოლო ერთ-ერთი ძირითადი მასალა არის პირუვატი, ანუ პიროუროძის მჟავა, რომელიც მიიღება გლიკოლიზის დროს. ამინომჟავების მოლეკულების სინთეზის დროს აზოტის მოლეკულა ერთვება ბოლო ეტაპებზე, მისი ტრანსფორმაცია არაორგანული ფორმიდან ორგანულში ხდება ამონიუმის იონების დახმარებით. ნიტრატები, ნიტრიტები და მოლეკულური აზოტი გარდაიქმნება ამიაკად და ამის შემდეგ ერთვება ორგანულ ნაერთებში.

### ნუკლეოტიდების სინთეზი

პურინული და პირიმიდინული ნუკლეოტიდები - ეს ის საშენი “ბლოკებია”, რომლებისგანაც სინთეზირდება ნუკლეინის მჟავები. პურინებისა და პირიმიდინების სინთეზი ბაქტერიებში ისევე ხდება, როგორც ნებისმიერ ცოცხალ ორგანიზმში. ნუკლეოტიდები გარდა ნუკლეინის მჟავებისა შედიან ბევრი კოფერმენტის შემადგენლობაშიც და ახორციელებენ ამინომჟავების, შაქრებისა და ლიპიდების აქტივაციას და გადატანას პოლიმერიზაციის რეაქციებში. მათი სინთეზისათვის ამოსავალი წერტილი არის რიბოზოფოსფატი. პირიმიდინების ნახშირწყლოვანი ჩონჩხი შედგება ასპარტატიდან, რომელიც წარმოიქმნება ტრიკარბონმჟავების ციკლის დროს. აზოტის ატომები და პურინების ამინოჯგუფები წარმოსდგებიან ასპარტატისა და გლუტამინისაგან.

### ცხიმების ბიოსინთეზი

ცხიმები და საერთოდ ლიპიდები წარმოადგენენ როგორც პლაზმატური მემბრანის მნიშვნელოვან კომპონენტებს, ასევე მარაგ ნივთიერებებს. მიკროორგანიზმების ლიპიდები წარმოადგენილია ცხიმოვანი მჟავებით, ფოსფოლიპიდებით, ცვილით,

ტერპენებით, კეროტინოიდებით. ბაქტერიულ ცხიმებში ჭარბობენ გრძელა ლიპიდური უჯერი და ნაჯერი ცხიმოვანი მჟავები. ცხიმოვანი მჟავების სინთეზი ხდება აცეტატური ჯგუფებიდან და მათი სინთეზისათვის ძირითად შეაღებურ პროდუქტს წარმოადგენს აცეტლკოენზიმ A. მრავალი მიკროორგანიზმი ასინთეზირებს უჯერ ცხიმოვან მჟავებს ორმაგი კავშირებით, რომლებიც წარმოიქმნება შესაბამისი ნაჯერი მჟავებისაგან.

### ნახშირწყლების ბიოსინთეზი

ნახშირწყლები ბაქტერიულ უჯრედში წარმოადგენილია მონო, დი და პოლისაქარიდების, ასევე კომპლექსური ნაერთების სახით. გლუკოზის სინთეზი ასევე ხდება პირუვატიდან.

ავტოტროფები გლუკოზას ასინთეზირებენ ნახშირორჟანგიდან. პეტეროტროფები გლუკოზას ასინთეზირებენ ნახშირბადის შემცველი შენაერთებიდან. ორივე შემთხვევაში გამოიყენება ძირითადად გლიკოლიზის რეაქციები. პოლისაქარიდები შედიან კაპსულების, სახამებლის, და გლიკოგენის შემადგენლობაში და წარმოადგენენ დამატებით საკვებ მასალას ბაქტერიული უჯრედისათვის.

### იონური ცვლა

ბაქტერიების ზრდისა და გამრავლებისათვის აუცილებელია მიხერალური შენაერთები –  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  ისა და სხვათა იონები. ამონიუმის იონები ზოგიერთი ბაქტერიის მიერ გამოიყენება ამინომჟავების სინთეზისათვის, კალიუმის იონები სატრანსპორტო რნმ-ის შეკავშირებისათვის რიბოსომებთან. კალიუმის იონების მნიშვნელოვანი უჯრედშიდა კონცენტრაციის გამო, ბაქტერიებში შენარსულებულია მაღალი ოსმოსური წნევა. რკინის, მაგნიუმის იონები კოფაქტორის როლს ასრულებენ მთელ რიგ ფერმენტულ პროცესებში. ისინი შედიან ციტოქრომების და სხვა ჰემოპროტეიდების შემადგენლობაში.

იმის და მიხედვით, თუ საიდან იღებს ბაქტერია ენერჯის, ასხვაავენ მეტაბოლიზმის სხვადასხვა გზებს, ესენია: ჟანგითი მეტაბოლიზმი, ანუ სუნთქვა, ფერმენტული მეტაბოლიზმი, ანუ დუღილი და მეტაბოლიზმის შერეული ტიპი.

მეტაბოლიზმის ტიპი განსაზღვრავს არა მარტო ქიმიურ რეაქციებს, რომელთა შედეგადაც წარმოიქმნება ენერჯია ანუ ატფ, არამედ იგი განსაზღვრავს ამ რეაქციათა

საბოლოო პროდუქტებს, რომლებიც გამოიყენება ბაქტერიების იდენტიფიკაციისა და მათი კულტივირებისათვის.

ნახშირწყლებისა და ენერჯის წყაროდ გლუკოზის ან სხვა პექსოზების გამოყენების შემთხვევაში გლუკოზის უანგვისა და დაშლის საწყისი ეტაპები ერთნაირია როგორც უანგვითი, ასევე ფერმენტული მეტაბოლიზმისათვისაც.

### უანგვითი მეტაბოლიზმი (უა რედული სუნთქვა)

აერობულ ბაქტერიებს შეუძლიათ სუნთქვა და აქვთ უანგვითი მეტაბოლიზმი.

სუნთქვა, ეს ისეთი პროცესია ბაქტერიებში, როდესაც უა რედის ცხოველქმედებისათვის საჭირო ენერჯის მიღება ხდება უანგვა ადღგებითი რეაქციებით.

ორგანოტროფულ ბაქტერიებში ელექტრონების დონორები ხდებიან ორგანული ნივთიერებები, ლიტოტროფულ ბაქტერიებში კი არაორგანული ნივთიერებები. თუმცა ელექტრონების აქცეპტორები ორივე შემთხვევაში მხოლოდ არაორგანული ნაერთებია.

აერობულ ბაქტერიებს აქვთ სუნთქვითი ჯაჭვი და ფერმენტი ატფ სინთაზა. ეს ორივე პროკარიოტებში თავმოყრილია პლაზმატურ მემბრანაში. სუბსტრატი უძეცხად არის ნახშირწყლები, რომლებიდანაც მეტაბოლიზმის პირველ ეტაპზე მიიღება პირუვატი, ანუ პირაყურძნის მჟავა. ნახშირწყლები, სადაც C<sub>6</sub> ატომია, აერ იხლისება 3 ატომიან ნაერთებად. ასეთია პირუვატი, რომელიც ბაქტერიული სინთეზისა და დაშლის მრავალი რეაქციის მთავარი შუალედური პროდუქტია. შემდეგ ხდება მისი დაუანგვა. სუბსტრატიდან წამოსული წყალბადის მოლეკულები ან ელექტრონები ხვდებიან რა სუნთქვით ჯაჭვში გადაიტანებიან უანგბადზე და ხდება წყალბადის “დაწვა”. ამ დროს თავისუფლდება ენერჯია და მას ეძლევა ბიოლოგიურად მისაღები ფორმა – ატფ –ის სახით, მისი უმნიშვნელო ნაწილი კი იფანტება სითბოს სახით. ე.ი. სუნთქვა – ეს არის უანგვა-ადღგებითი რეაქცია ატფ-ის წარმოქმნით. აერობული სუნთქვის დროს პირუვატი გარდაიქმნება CO<sub>2</sub> ად ფერმენტ აცეტილკოენზიმ A საშუალებით.

სუნთქვის მექანიზმი შემდეგნაირია:

სუბსტრატიდან მიღებული პროტონები და ელექტრონები გადაიტანება პლაზმატურ მემბრანაზე და მისი საშუალებით ტრანსპორტირდება ისე, რომ მემბრანის გარე და შიდა მხარეს შორის იქმნება ელექტროქიმიური გრადიენტი, შიგნიდან (-), ხოლო გარედან კი (+) პოტენციალით. ეს განსხვავება იქმნება იმიტომ, რომ სუნთქვითი ჯაჭვის კომპონენტები გარკვეულად არიან განაწილებული მემბრანაში. ზოგიერთ მათგანს გადააქვს წყალბადი, ზოგიერთს კი ელექტრონი. გადამტანების

განლაგება ისეთია, რომ ელექტრონების ტრანსპორტის დროს უახგაბათან, პროტონები ( $H^+$ ) უკავშირდებიან მემბრანის შიდა მხარს, ხოლო გამოთავისუფლდებიან გარეთა მხარეს. გადამტანების ამ სისტემას, რომელიც ამოძრავებს დამუხტულ ნაწილაკებს, უწოდებს სუნთქვით, ან ელექტრონულ-სატრანსპორტო ჯაჭვი.

ეს ელექტროქიმიური გრადიენტი - ანუ მუხტის არათანაბარი განაწილება არის ატფ-ის რეგენერაციის წყარო. მემბრანა შეიცავს ფერმენტ ატფ-სინტაზას, რომელიც ასინთეზირებს ატფ-ს. ეს ფერმენტი “გამოდის” მემბრანის შიდა მხრიდან. სინთეზის პროცესში პროტონები გადადიან უკან მემბრანის გარედან შიგნით. ატფ-ის სინთეზის ამ გზას მუხტის ტრანსპორტის ენერჯის გამოყენებით უწოდებენ უანგვით ფოსფორირებას.

სუნთქვის სრული ციკლი იძლევა ატფ-ის 38 მოლეკულას 1 მოლეკულა გლუკოზაზე.

სუნთქვითი ჯაჭვის კომპონენტები “ნაძირკვლები” არიან ბილიპიდურ შრეში - ესენია: ფერმენტები, კოფერმენტები, დეჰიდროგენაზები და პროსთეტული ჯგუფები. ძირითადი მათგანებია: ფლავოპროტეინები, ციტოქრომები, გოგირდ/რკინა ცილები, ქინონები.

- ფლავოპროტეინები - არიან ფერმენტები, პროსთეტული ჯგუფი, რომლებსაც გადააქვთ წყალბადი, შეიცავენ ფლავინმონონუკლეოტიდებს ან ფლავინადენინდინუკლეოტიდებს.
- გოგირდ/რკინა ცილები - ესენია უანგვა-აღდგენითი სისტემები, რომლებსაც გადააქვთ ელექტრონები. შეიცავენ რკინის ატომებს, დაკავშირებულს დისულფიდურ გოგირდთან.
- ქინონები - კოფერმენტებია, მათ შეუძლიათ გადაიტანონ როგორც წყალბადი, ასევე ელექტრონები. გრამ (-) ბაქტერიებში წარმოდგეილია უბიქინონი, გრამ (+) ნაფტოქინონი.
- ციტოქრომები - უანგვა-აღდგენითი რკინა შემცველი სისტემები, რომლების იღებენ ქინონებისაგან მხოლოდ ელექტრონებს. ციტოქრომები აქვთ ყველა ორგანიზმს, რომელიც ახორციელებს სუნთქვას.

უმეტესობა აერობული ორგანიზმებისა სუნთქვის დროს შლის (უანგავს) ორგანულ საკვებ ნივთიერებებს ნახშირორჟანგამდე და წყლამდე. ვინაიდან  $CO_2$  ის მოლეკულაში ნახშირბადი სრულად არის დაუანგული (ანუ მუტი უახგაბადის მოლეკულის მიერთება აღარ შეუძლია) დაპარაკობენ სრულ დაუანგვაზე და ასხვავებენ სუნთქვის ამ ტიპს არასრული უანგვისაგან, რომლის დროსაც მეტაბოლიზის პროდუქტების სახით გამოიყოფა ნაწილობრივ დაუანგული ორგანული ნაერთები. ასეთი არასრული უანგვის საბოლოო პროდუქტებია: ძმრის, ფუქმარის,

ლიმონის, რძის, გლუკონის მკავეები. მათი წარმოქმნა შეუძლიათ როგორც ბაქტერიებს, ისევე სოკოებს.

ბაქტერიებს ენერგიის წყაროდ ნახშირწყლების გარდა შეუძლიათ გამოიყენონ ცილები და ამინომჟავები. ჯერ ხდება ცილების გახლეჩვა მარტივ პეპტიდებად. შემდეგ ეს პეპტიდები გადაიტანება უჯრედში და უკვე უჯრედის შიგნით იშლება ამინომჟავებად. ამინომჟავები კი ერთვება კონსტრუქციულ მეტაბოლიზმში.

### ბიოსინთეზის გზები

ბაქტერიები ბიოსინთეზისათვის იყენებენ: გლიკოლის (ასევე პენტოზოფოსფატურ გზას და ეტნერ - დუროვის გზას), პირუვატის დაჟანგვას და ტრიკარბონმჟავების ციკლს.

როდესაც იხილავენ საკვებ ნივთიერებებს - უჯრედული მეტაბოლიზმის სუბსტრატების სახით, უპირველეს ყოვლისა იგულისხმება გლუკოზა და სხვა ნახშირწყლები. მაკრომლეკულები, როგორც წესი, ჯერ უჯრედის მიერ გამოყოფილი ეკსოფერმენტებით იხლინებიან უჯრედის გარეთ მონომერებად და დიმერებად და მხოლოდ ასეთი სახით “შთაინთქმებიან” უჯრედის მიერ. ანუ მეტაბოლიზმის პირველი ეტაპი მოიცავს პექსოზების გარდაქმნას C3 ნაერთებად, ეს ხდება ან ფრუქტოზადიფოსფატური გზით (გლიკოლიზი), ან ეტნერ - დუროვის გზით (კეტოდეზოქსიფოსფოგლუკონატური გზა) ან პენტოზოფოსფატური გზით, სამივე გზისათვის შუალედურ პროდუქტს წარმოადგენს პირაყურძნის მჟავა, ანუ პირუვატი. რომელიც თავისთავად სხვადასხვა სინთეზურ პროცესში წამყვან როლს თამაშობს.

გლიკოლიზი დომინირებს უმეტესობა აერობულ და ანაერობულ ბაქტერიებში. იგი გლუკოზის უტილიზაციას გულისხმობს ფერმენტ ფოსფოფრუქტოკინაზას საშუალებით. პირუვატის გარდა ამ პროცესის დროს წარმოიქმნება ატფ.

ეტნერ - დუროვის გზა მეტაბოლიზმის შედარებით იშვიათი ტიპია, რომელიც გვხვდება პეტროტროფებში. უმაღლეს ორგანიზმებს ეს გზა არა აქვთ. ამ გზის დროსაც წარმოიქმნება ატფ და NAD (ნიკოტინამიდაცინინუკლეოტიდი) ადგენილი ფორმა NADH<sub>2</sub>.

პენტოზოფოსფატური შუნტი (გზა) იდენტურია უმაღლესი ორგანიზმების მეტაბოლიზმის ამავე გზისა. პირუვატის გარდა ეს გზაც იძლევა NADH<sub>2</sub> თვით პირუვატის წარმოქმნის პროცესი მოიცავს რეაქციების სერიას, რომელიც საერთოა როგორც ბაქტერიული დუდილისათვის, ასევე აერობული სუნთქვისათვის.

მეტაბოლიზმის მეორე ეტაპზე ხდება პირუვატის დაჟანგვა, რასაც ცენტრალური როლი ენიჭება შუალედურ მეტაბოლიზმში, ხანამ წარმოიქმნება აცეტილ კოენზიმ A. რეაქციის კატალიზატორია ფერმენტი პირუვატ დეჰიდროგენაზა, რომელიც გააჩნია ყველა აერობულ მიკროორგანიზმს. ფაკულტატურ ანაერობებში პირუვატიდან აცეტილ კოენზიმ A-ს წარმოიქმნას ახორციელებს ფერმენტი პირუვატ ფორმილიაზა. ხოლო ანაერობებში ოქსიდეკარბოქსილაზა.

პირუვატის დეკარბოქსილირებით (დაჟანგვით) C3 დან ხდება C2 ნაერთების მიღება. მეტაბოლიზმის მესამე ეტაპზე ირთვება ტრიკარბონმჟავების ციკლი (იგივე ლიმონმჟავა ციკლი) და C იჟანგება, იგი უერთდება აქცეპტორულ მოლეკულას და წარმოიქმნება CO<sub>2</sub>. წყალბადის მოლეკულების გამოთავისუფლებით. ტრიკარბონმჟავების ციკლის შედეგად არა მხოლოდ ხდება ორგანული ნაერთების საბოლოო დაჟანგვა, არამედ ხდება ისეთი წინამორბედი მოლეკულების სინთეზი, როგორიცაა ოქსალააცეტატი, სუქცინატი, რომლებიც წარმოადგენენ აცეტილ კოენზიმ A-ს აქცეპტორებს და უჯრედის სტრუქტურული ერთეულების საშენ მასალას.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ენერგია აუცილებელია უჯრედული არსებობისათვის. ატფ-ის სამი შესაძლო რეგენერაციის გზიდან (სუნთქვა, დუდილი და ფოტოსინთეზი), დუდილი ყველაზე მარტივ გზას წარმოადგენს.

დუდილი, ანუ ფერმენტაცია - ეს არის ისეთი მეტაბოლიტური პროცესი, რომლის დროსაც რეგენერირდება ატფ, წარმოიქმნება სხვადასხვა ტიპის დამახასიათებელი პროდუქტები და ამ პროცესში არ მონაწილეობს მოლეკულური ჟანგბადი, ხოლო ორგანული სუბსტრატის დაშლის პროდუქტები გვევლინებიან წყალბადის როგორც დონორებად ასევე აქცეპტორებად. ატფ-ის მიღება ხდება ადფ-იდან ჟანგვითი რეაქციების ხარჯზე, როგორიცაა ადფ-ის ფოსფორილირება. დაჟანგული ნახშირბადისაგან უჯრედი თავისუფლდება მისი არეში გამოყოფით.

იმის და მიხედვით თუ რომელი პროდუქტის მიღებაა დამახასიათებელი კონკრეტული დუდილის პროცესისათვის, არჩევენ: სპირტულს, რძემჟავა, პროპიონმჟავა, ჭიანჭველამჟავა, ცხიმმჟავა და ძმარმჟავა დუდილებს. დუდილის “მაწარმოებელი” უმეტესობა ბაქტერიებისა არის ობლიგატური ანაერობები, ზოგიერთი მათგანი შეიძლება იყოს ფაკულტატური ანაერობებიც, რომელსაც შეუძლია ჟანგბადის პირობებში არსებობა, მაგრამ თუ ჟანგბადი არეში გაჩნდება, დუდილის პროცესი დაითრგუნება და ის გარდაიქმნება სუნთქვის პროცესად.

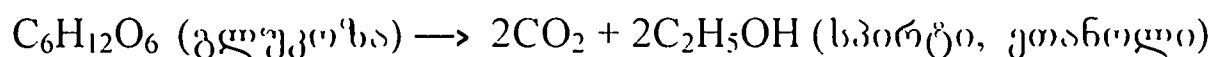
უმეტესობა ბუნებრივი ნაერთებისა, რომლებიც შედგებიან ნახშირბადის, წყალბადის, ჟანგბადისა და აზოტისაგან ექვემდებარებიან დუდილს ანაერობულ პირობებში. პოლისაქარიდები, პექსოზები, პენტოზები მრავალატომიანი სპირტები, ორგანული მჟავები, ამინომჟავები, პურინები, პირიმიდინები – ყველა ეს ნაერთები

განიცდიან ფერმენტაციას, ანუ ექვემდებარებიან დუღილს. მაგრამ არსებობენ ნაერთები, რომლებსაც “არა აქვთ დუღილის უნარი” – ესენია: სტერიოიდები, არომატული ნახშირწყლები, ცხიმმჟავები, კაროტინოიდები და სხვ. აერობულ პირობებში ეს ნივთიერებები იშლება და იჟანგება. მაგრამ ანაერობულ პირობებში ისინი ძალზე სტაბილურები არიან.

### სპირტული დუღილი

ეთილის სპირტი, ანუ ეთანოლი – მიკრობების მიერ შაქრების დუღილის ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული პროდუქტია. მცენარეებიც და ზოგიერთი სოკოც კი “აგროვებს” ეთანოლს. ეთანოლის ძირითადი პროდუცენტები არიან საფუარა სოკოები *Saccharomyces*, თუმცა სპირტული დუღილის წარმოება შეუძლიათ აგრეთვე ბაქტერიებსაც: *Sarcinia*, *Enterobacteriaceae*, *Clostridium* და სხვ. მათ შეუძლიათ სპირტის წარმოქმნა არა მხოლოდ გლუკოზიდან, არამედ პირუკვატიდანაც.

საფუარები სუნთქავენ, მაგრამ უჟანგბადობის პირობებში ისინი არ წყვეტენ ცხოველქმედებას და ენერგიას იღებენ დუღილით. საფუარებისათვის დუღილის გზა გლიკოლიზია, ბაქტერიებისათვის – გლიკოლიზი ან 2კეტო, 3 დეჰოქსირიბო, 6 ფოსფოგლუკონატური გზა (ანუ ეტნერ-დუროვის გზა). ნებისმიერ შემთხვევაში სპირტული დუღილისათვის უნივერსალურ ფორმულას წარმოადგენს:



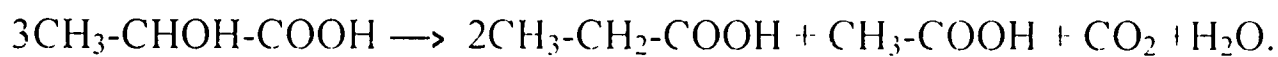
საფუარა სოკოები მრავალგვარად გამოიყენება წარმოებაში: ღვდის, ღვისის, პურის.

### პროპიონმჟავა დუღილი

პროპიონმჟავა ბაქტერიები “ცხოვრობენ” ნლიქოსანი პირუტყვის ხაჭაპებში (ძროხების, ცხვრების), იქ ისინი მონაწილეობენ ცხიმოვანი მჟავების წარმოქმნაში უპირველის ყოვლისა პროპიონისა და ძმარმჟავის. სამრეწველო მიზნებში ისინი ძირითადად გამოიყენება შვეიცარული ყველის წარმოებაში. პროპიონმჟავა ბაქტერიების სხვადასხვა სახეობა არსებობს, მაგრამ ყველანი განეკუთვნებიან ოჯახს *Propionibacterium*. ადამიანის თმის ძირების ფოლიკულების ანთების - აკნეს (*acne*) გამომწვევიც სწორედ პროპიონმჟავა ბაქტერიებია. იმის გამო, რომ პროპიონბაქტერიებს შეუძლიათ აწარმოონ დუღილის პროცესი, ისინი არ იზრდებიან ატმოსფერული ჟანგბადის პირობებში, ხოლო ენერგიის ანუ ატფ რეგენერირებას ახდენენ დუღილით. მათ აკუთვნებდნენ ანაერობულ ორგანიზმებს. მთავიანებით აღმოჩნდა, რომ მათ

გაანხიათ ციტოქრომი. ციტოქრომის არსებობა მიუთითებს ორგანიზმის კავშირზე ჟანგბადთან. აღმოჩნდა, რომ რაღაც გარკვეული მცირე კონცენტრაციით ჟანგბადის არსებობა ააქტივებს ამ ბაქტერიების ზრდას, ხელს უწყობს მეტაბოლიზმს. მაგრამ ჟანგბადის კონცენტრაციის თანავე მატებაც კი იწვევს მათი ზრდის და ცხოველქმედების დათრგუნვას, ასე, რომ საბოლოოდ, პროპიონმჟავა ბაქტერიები მიაკუთვნეს მიკროაეროფილებს. ანაერობულ პირობებში ეს ბაქტერიები გლუკოზას, საქაროზას, ლაქტოზას, ლაქტატის და სხვ. დუდილს იწვევენ და და წარმოქმნიან პროპიონის მჟავას. დუდილი მიმდინარეობს გლიკოლიზის გზით.

პროპიონმჟავა დუდილის ძირითადი ფორმულა ასეთია:



### რძემჟავა დუდილი

რძემჟავა დუდილს აწარმოებენ რძემჟავა ბაქტერიები, რომელთაც აერთიანებენ ოჯახს Lactobacillaceae. ეს ბაქტერიები არიან გრამ (+), სხვადასხვა ფორმის (კოკები, ჩხირები), ანაერობული, მაგრამ აეროტოლერანტული (შეუძლიათ ზრდა არეში ჟანგბადის არსებობისას), უძრავი. სპორებს არ წარმოქმნიან. ზრდისთვის სჭირდებათ რიგი ვიტამინები, ამინომჟავები, ასევე პურიები და პირიმიდინები. რძემჟავა დუდილი ასევე შეუძლიათ სტრუპტოკოკებს, ბეტაბაქტერიებს, ბიფიდობაქტერიებს.

დუდილისათვის რძემჟავა ბაქტერიები იყენებენ რძის შაქარს - ლაქტოზას. ლაქტოზა არ მოიპოვება მცენარეულ სამყაროში, ის მხოლოდ ცხოველებს, კერძოდ ძუძუმწოვრებს აქვს. გამოიყოფა და შთაინთქმება რძესთან ერთად.

ლაქტოზა დისაქარიდია და სანამ იგი დაიშლება ჰექსოზების რომელიმე გზით, იგი იხლინება გლუკოზად და გალაქტოზად. გლუკოზიდან კი ჰექსოზების დაშლა რძემჟავა ბაქტერიების მიერ ხდება გლიკოლიზით. იმის და მიხედვით დუდილის შემდეგ მიიღება მხოლოდ რძემჟავა თუ რაიმე სხვა პროდუქტებიც რძის მჟავის გარდა, არჩევენ ჰომოფერმენტულ დუდილს:

$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 2\text{CH}_3\text{-CHOH-COOH}$ , რომელსაც აწარმოებენ სტრუპტოკოკები და ლაქტობაქტერიები,

და ჰეტეროფერმენტულ დუდილს:

$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow \text{CH}_3\text{-CHOH-COOH} + \text{CH}_3\text{-CH}_2\text{OH} + \text{CO}_2$  რომლის მწარმოებელი არიან ბეტაბაქტერიები და ბიფიდობაქტერიები.

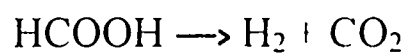
რძის მჟავა და შესაბამისად რძემჟავა დუდილი, გამოიყენება ხილვის, სასოფლო სამეურნეო პროდუქტების წარმოებაში და კვების მრეწველობაში (მაწვის, იოგურტების, ყველის, და სხვ.).

### ჭიანჭველმკვავა დუდილი

ბაქტერიებს, რომლებიც დუდილის დროს წარმოქმნიან ჭიანჭველმკვავას და სხვა მკვავებს ერთდროულად, აერთიანებენ Enterobacteriaceae ოჯახში. მათი დუდილების ძირითად პროდუქტს წამოადგენს ჭიანჭველმკვავა, თუმცა ამავედროულად წარმოიქმნებიან ქარვის, რძის, ძმრის მკვავები და ასევე ლაქტატი, ეთანოლი, სუქცინატი, აცეტონი. ამიტომ, დუდილის ამ ტიპს კიდევ უწოდებენ შერეულ დუდილს.

Enterobacteriaceae უმეტესობა გრამ (-), შოლტიანი, მოძრავი ჩხირებია, რომლებიც სახლდებიან კუჭ-ნაწლავის ტრაქტში, არ წარმოქმნიან სპორებს და არიან ფაკულტატიური ანაერობები, თუმცა აქვთ ციტოქრომი და შეუძლიათ ენერჯია მიიღონ როგორც სუნთქვით, ისე დუდილით.

ამ ჯგუფს ეკუთვნიან: Escherichia, Proteus, Enterobacter, Klebsiella, Salmonella, Vibrio, Yersinia. უკანასკნელი ორი არ არიან Enterobacteriaceae წარმომადგენლები, მაგრამ მათი მსგავსი არიან მეტაბოლიზმის ტიპით. პექსოზების დაშლა აქაც მიმდინარეობს გლიკოლიზის გზით. უმეტესობა Enterobacteriaceae-სა ჭიანჭველმკვავას შლის წყალბადად და ნახშირბადად:



### ცხიმმკვავა დუდილი

ცხიმოვანი მკვავა, ცხიმმკვავა ანუ ბუტირატი წარმოადგენს სპორაწარმოქმნიელ, ანაერობი ბაქტერიების - კლოსტრიდიების მიერ ნახშირწყლების დუდილის შედეგს.

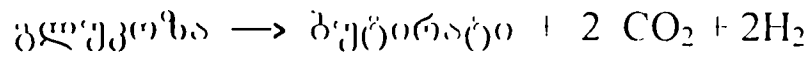
რიგი Clostridium მიეკუთვნება ოჯახ Bacilleceae ს, ამ რიგის წარმომადგენლები არიან შოლტიანი, მოძრავი, მეზოფილური, გრამ (+) ორგანიზმები, წარმოქმნიან თერმოსტაბილურ სპორებს.

Clostridium-ის წარმომადგენლები არიან ძალზე ტოქსიურები. ყველაზე პოპულარული ინფექციური აგენტებია ტეტანუსის, აიროვანი განგრეხის და ბოტულიზმის გამომწვევები.

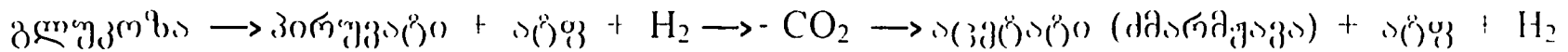
კლოსტრიდიებს შეუძლიათ სხვადასხვა სახის სუბსტრატის გამოყენება დუდილისათვის: პოლისაქარიდების (სახამებელი, გლიკოგენი, ცელულოზა, ლაქტატი), ნუკლეინის მკვავების, ცილების, ამინომკვავების, პურინების და პირიმიდინების.

დუდილის დროს სხვადასხვა შეფარდებით წარმოიქმნება ცხიმმკვავები, ძმარმკვავა, რძის მკვავა, სპირტები, აცეტონი და აიროვანი პროდუქტები, ნახშირორჟახვი და წყალბადი.

ბუქტირატი წარმოიქმნება გლუკოზიდან ნახშირორჟანგსა და წყალბადთან ერთად:



კლოსტრიდიუმების მსგავსი მეტაბოლიზმის ტიპით გამოირჩევიან ზოგიერთი ასევე ანაერობული, მაგრამ გრამ (-) ბაქტერიები, რომლებიც შლიან გლუკოზას, სახამებელს და სხვა ნახშირწყლებს *ძმარმქავის* წარმოქმნით. მაგ. Rumiinococcus ები. მათ ატფ-ის წარმოქმნაში ახასიათებთ ძალიან მაღალი გამოსავალი, მაგ: 1 მოლი გლუკოზიდან 4 მოლი ატფის მიღება.



სუნთქვითი ფოსფორილირების დროს, წარმოიქმნება გაცილებით მეტი ატფ, ვიდრე დუდილის დროს, ანუ ჟანგბადის მონაწილეობა უზრუნველყოფს ენერჯის უფრო მაღალ დონეს. შესაბამისად ბიოქიმიური ევოლუციის დროს წარმოიქმნა და შემდეგ შენარჩუნდა მეტაბოლიზმის ისეთი ტიპი, რომელშიც მონაწილეობს “დაკავშირებული” ჟანგბადი, ანუ ჟანგბადი, რომელიც რომელიმე ნაერთის სახითაა წარმოდგენილი (მაგ.  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}$ ,  $\text{SO}_3$ ) და ასეთ მდგომარეობაში იკავშირებს ელექტრონებს. ასეთ შენაერთებზე ელექტრონის გადატანა ბაქტერიას საშუალებას აძლევს სუბსტრატი დაჟანგოს მოლეკულური ჟანგბადის გამოყენების გარეშე და ამის გამო მიიღოს უფრო მეტი ენერჯია ნაკლები დანახარჯით და მეტი ენერჯია, ვიდრე ეს შესაძლებელია დუდილით.

## ლექცია 6

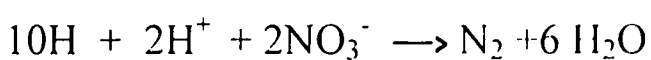
როგორც ავლნიშნეთ ელექტრონის გადამტან ბაქტერიებს აქვთ ელექტრონის სატრანსპორტო სისტემა და ციტოქრომი. ენერჯის მიღების ასეთი ტიპი, რომელიც დაკავშირებულია ელექტრონის გადატანასთან და უანგბადის მატარებლებთან, ძალიან გავს სუნთქვას, მაგრამ ვინაიდან ამ პროცესში არ მონაწილეობს მოლეკულური უანგბადი, ხოლო ბაქტერიები, რომლებიც ამას ახორციელებენ არიან ანაერობები. ამ ტიპის პროცესს ეწოდა ანაერობული სუნთქვა. არსევენ ნიტრატულ, სულფატურ, კარბონატულ სუნთქვებს.

### დენიტრიფიკაცია – ნიტრატული სუნთქვა

მიკროორგანიზმები იყენებენ ნიტრატს ორი მიზნით:

1. ახორციელებენ ნიტრატულ სუნთქვას (დენიტრიფიკაცია) – ანუ ხდება ენერჯის მიღება, რომლის დროსაც ნიტრატი ანაერობულ პირობებში ხდება წყალბადის აქცეპტორი,
2. ნიტრატიდან მიკროორგანიზმები იღებენ მოლეკულურ აზოტს უჯრედული აზოტშემცველი პროდუქტების სინთეზისათვის.

დენიტრიფიკაცია ხდება შემდეგნაირად: ფაკულტატურ ანაერობულ მიკროორგანიზმებს შეუძლიათ ნიტრატიდან აღადგინონ აზოტი და ამ პროცესში ნიტრატი ხდება წყალბადის აქცეპტორი:



ფერმენტები, რომლებიც მონაწილეობენ ამ პროცესში (ნიტრატრედუქტაზა და ნიტრიტ რედუქტაზა) აქტივირდებიან მხოლოდ ანაერობულ პირობებში.

დენიტრიფიკაცია ერთადერთი ბიოლოგიური პროცესია რისი მეშვეობითაც “დაკავშირებული” აზოტი (ანუ ქიმიურ ნაერთში მყოფი) გარდაიქმნება თავისუფალ  $N_2$ . გლობალური თვალთახედვით ეს პროცესი ერთ-ერთი გადამწყვეტია დედამიწაზე სიცოცხლის არსებობისათვის. ნორმალურად აერირებად ნიადაგში და წყალსატევებში ნიტრატი წარმოადგენს მინერალიზაციის საბოლოო პროდუქტს, და რომ არა დენიტრიფიკაცია, თავისი წყალში იოლად ხსნადობისა და ნიადაგთან სუსტი დაკავშირების გამო ნიტრატი იოლად გამოირეხებოდა ნიადაგიდან და დაგროვდებოდა ზღვის წყალში, მოლეკულური აზოტის რაოდენობა ატმოსფეროში შეიკვეცებოდა, შედეგად მცენარეთა ზრდისა და ბიომასის დაგროვების პროცესი ხმელეთზე შემცირდებოდა და საბოლოოდ შეწყდებოდა.

ნიტრატული სენთიქა ასევე მოიცავს ნიტრატის ადგენას,  $\text{NO}_2 \rightarrow \text{NO}_3$  გარდაქმნას. აი ეს პროცესი კი ყოველთვის დადებითი შეიძლება არ იყოს. ნიტრატ შემცველი სასმელი წყლიდან და ბოსტნეულიდან ნიტრატის ნიტრატის ბაქტერიული ადგენის და მისი შემდგომში სისხლში მოხვედრის შედეგად შეიძლება წარმოიქმნას მეთემოგლობინი, რომელშიც უანგბადი შეუქცევადად დაკავშირებულია ჰემოგლობინთან. რის გამოც ერთროცებს დკარგული აქვთ უანგბადის გადაცხის უნარი, რასაც მიყავს ორგანიზმი ციანოზამდე. ასეთი დაავადება გვხვდება მხოლოდ 6 თვემდე ბავშვებში. მათ როგორც სხანს ნიტრატწარმოქმნიელი ბაქტერიები არ ეშლებად კუჭში და ხვდებიან რა ნაწლავებში ისინი ადადგენენ ნიტრატს, იზრდებიან და აგროვებენ შემდგომ ნიტრატს. მოზრდილებში ეს ბაქტერიები იღუპებიან კუჭის წველის შემოქმედებით.

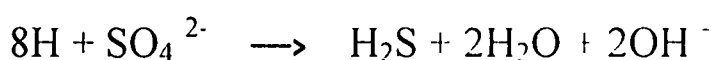
### ნიტრიფიკაცია

აზოტშემცველი ორგანიული ნაერთების აერობული და ანაერობული დაშლისას შესაძლებელია მოხდეს აზოტის გამოყოფა ამიაკის ფორმით. ბაქტერიების თაახ Nitrobacteraceae წარმოადგენლებს შეუძლიათ განახორციელონ ნიტრიფიკაცია ამიაკი ადადგინონ ნიტრატის დონეზე, ანუ მოახდინონ დენიტრიფიკაციის შებრუნებული პროცესი: ბაქტერიები, რომლებიც უანგავენ ამიაკს, ქმნიან სუბსტრატს იმ ბაქტერიებისათვის, რომლებიც ახდენენ შემდგომ დენიტრიფიკაციას. ეს არის ერთ ერთი ნივთიერების – აზოტის, ბაქტერიული წრებრუნვის ერთი მაგალითი.



### გოგირდწყალბადის წარმოქმნა, სულფატის ადადგენა

სულფატის ადადგენა, გულისხმობს წყალბადის გადატანას სუბსტრატისაგან გოგირდზე, ანუ გოგირდი ხდება წყალბადის აქცეპტორი, ამავდროულად ხდება სულფატის სულფიტამდე ადადგენა. რასაკვირველია, ამ პროცესშიც მონაწილეობს ციტოქრომი, ანუ ესეც უანგადადამოკიდებული პროცესია და ამიტომ, ამ პროცესსაც უწოდებენ სულფატურ სენთიქას, რის ძირითად პროდუქტთაც გვევლინება გოგირდწყალბადი:



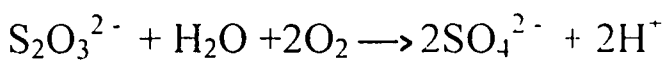
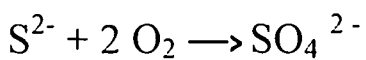
თითქმის ყველა ბაქტერიას, სოკოებს და მწვანე მცენარეებს შეუძლიათ გოგირდის წყაროდ სულფატის გამოყენება. საიდანაც შემდეგ ისინი იღებენ სულფიდს, აუცილებელს გოგირდშემცველი ამინომჟავების სინთეზისათვის.

ენერგია, რომელიც მიიღება სულფატრედუქციონობადი ბაქტერიების მიერ უანგვიტო ფოსფორილირების დროს, შესაძლებელს ხდის ორგანული ნაერთების ასიმილაციას. იგივე ბაქტერიებს ანაერობულ პირობებში შეუძლიათ დედლის განხორციელება ორგანული მკაფების, სპირტების გამოყენებით.

*Desulfuromonas* რიგის ბაქტერიებს შეუძლიათ მოლეკულური გოგირდის თახაობის პირობებში არსებობა, მას იყენებენ კიდევაც წყალბადის აქცეპტორად და წარმოქმნიან გოგირდწყალბადს. ამ პროცესს შეიძლება ვეწოდოთ გოგირდული სენთეზა.

ისევე, როგორც დენიტრიფიკაციის შემთხვევაში, არსებობს შებრუნებულ პროცესი ბუნებრივი ბალანსის შესანარჩუნებლად ნივთიერებათა წრებრუნვაში, ასეთივე ბალანსი არსებობს სულფატ/გოგირდის შემთხვევაშიც.

*Thiobacillus* ის რიგის ბაქტერიებს შეუძლიათ გოგირდი და მისი სხვადასხვა შენაერთები გადააქციონ სულფატად:

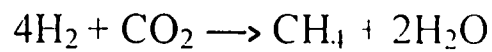


ყველა უმაღლესი ჰეტეროტროფული ორგანიზმებისათვის აუცილებელია ის ბიომასა, რომელიც იქმნება ფოტოსინთეზით. სწორედ ფოტოსინთეზის ალტერნატივას ზღვის სიღრმეებში წარმოადგენს გოგირდის უანგვა და გოგირდწყალბადის არსებობა. იქ, სადაც შუქი ვერ აღწევს, არის ეკოსისტემა, სადაც ბიომასა იქმნება არა ფოტოსინთეზით, არამედ ქემოლიტოავტოტროფით, რომელშიც მონაწილეობს გოგირდი და მისი მომხმარებელი ბაქტერიები.

### მეთანის წარმოქმნა და კარბონული სენთეზა

მეთანი წარმოიქმნება ორგანული ნაერთების დაშლის შედეგად, მისი მარაგი საკმაოდ დიდია, ატმოსფეროში მინერალიზაციის შედეგად  $CO_2$  სახით მოწოდებული ნახშირბადის 1-1,5% მეთანია, რომელიც შემდგომ გარდაიქმნება ნახშირორქახად. მეთანწარმომქმნელი ბაქტერიები დიდი რაოდენობით არიან შინაური პირუტყვის კუჭ-ნაწლავში. მეთანწარმომქმნელ ბაქტერიებს განეკუთვნებიან ნხირის ფორმის *Methanobacterium*, კოკისებური *Methanococcus*, სპირალისებური *Methanospirillum*. ეს ბაქტერიები გასხვავდებიან მეტაბოლიზმის ტიპით, მათ არა აქვთ ტიპური პეპტიდოგლიკანური შრეები, აქვთ მხოლოდ ცილოვანი შრე, უჯრედული კედელი აგებულია პოლისაქარიდებისაგან. მეთანწარმომქმნელი ბაქტერიები მკაცრი ანაერობები არიან. მოლეკულური უანგბადის არსებობის პირობებში ისინი იღუპებიან, არიან ანაერობული ავტოტროფული ბაქტერიები, რომლებიც უანგავენ წყალბადს.

ისინი ააქტიურებენ წყალბადს და უანგავენ მას CO<sub>2</sub> ადგენით. CO<sub>2</sub> ამ პროცესში გამოდის წყალბადის აქცეპტორად:



მეთანის წარმოქმნის ამ პროცესს უწოდებენ კარბონატულ სუნთქვას.

წარმოებაში ეს პროცესი გამოიყენება სათბობის წარმოებისათვის.

### მანათობელი ბაქტერიები და ბიოლუმინესცენცია

ზოგიერთ ბაქტერიას და სოკოს გააჩნიათ ლუმინესცენტიური (მანათობელი) თვისებები. მანათობელი ბაქტერიები უმეტესად ზღვის მიკროორგანიზმები არიან და მიეკუთვნებიან მარილის მაღალ კონცენტრაციებში ბინადარ *ჰალოფილურ ხახეობებს*. ეს ბაქტერიები თავისი თვისებებით ძალიან გვანან Enterobacteriaceae ს. საქონლის და თევზის ხორცზე ისინი დაბად ტემპერატურაზე წარმოქმნიან მანათობელ კოლონიებს. როგორც წესი არ იწვევენ ღპობას, მეტიც, ეს პროცესი (ნათება) ამტკიცებს ამ პროდუქტებში ღპობის პროცესის არარსებობას, ვინაიდან ნათება წყდება ღპობის გამომწვევი მიკროორგანიზმების განვითარებასთან ერთად. ყველა მანათობელი ბაქტერია გრამ(-) ფაკულტატიური მოძრავი, შოლტიანი აერობია. მათ მიაკუთვნებენ რიგ Photobacterium ან Beneca. ანაერობულ პირობებში ეს ბაქტერიები ახორციელებენ ჭიანჭველამუავა ან შერეული ტიპის დუდიღს და ჭიანჭველამუავას გარდა წარმოქმნიან ძმრის, რძის, ქარვის მუავებს, სპირტს, ნახშირორჟანგს და აცეტონს.

თვით ნათებას იხილავენ როგორც აერობული უანგვის პროცესს, როგორც სუნთქვის განსხვავებული გზას, რომლის დროსაც წარმოიქმნება ატფ და შუალედური ლუმინესცენტიური პროდუქტი, რომელიც იწვევს ნათებას.

### მიკროორგანიზმების მიერ ნივთიერებათა ტრანსფორმაცია

მუავების წარმოქმნის, დუდიღის პროცესის წარმოების და სხვა მაღალსპეციფიური კატალიზური აქტივობის უნარის, კერძოდ კი: უანგვის, პიდრირების, პიდროლიზის, ეთერიფიკაციის, მეთილირების, კონდენსაციის, დეკარბოქსილირების, ამინირების, დეჰიდრატიაციის, დეჰამინირების გამო მიკრობები ფართოდ იქნენ გამოყენებული სხვადასხვა ტიპის საწარმოო პროცესებში: დვინის, ლუდის, პურის და ცომის პროდუქტების, რძის პროდუქტების, სასუქი მასალების, კომბინირებული საკვების და სოფლის მეურნეობის სხვა სახის წარმოებაში და რასაკვირველია ფარმაკოლოგიაში.

განსაკუთრებით დიდი წვლილი მიუძღვით მიკრობებს სტეროიდების სინთეზში კორტიზონის (მაგ: პიდროკორტიზონის) წარმოების პროცესი ქიმიურად მოიცავს 30 მდე ეტაპს, სოკო Rhizopus და Streptomyces ბაქტერიების გამოყენებით პროცესი დადის 13 საფეხურამდე.

ბაქტერიებისა და სოკოების მიერ სინთეზირდება სხვადასხვა ტიპის ნივთიერებები, რომლებსაც მცენარეული წარმოშობის მსგავს ნივთიერებების ანალოგიის საფუძველზე უწოდებენ მეორად მეტაბოლიტებს. მათ განეკუთვნებიან: ანტიბიოტიკები, ვიტამინები, მიკოტოქსინები, ეკსოპოლისაქარიდები. ეს ნივთიერებები ასრულებენ წამლების, მასტიმულირებელი პრეპარატების, საკვების დანამატების და სხვ. ფუნქციებს.

### ანტიბიოტიკები

სოკო Penicillium notatum ის მიერ ბაქტერიების ზრდის შემაფერხებელი ფაქტორის სინთეზის უნარმა და ინგლისელი მეცნიერის ფლემინგის მიერ ამ ფაქტის აღმოჩენამ დასაბამი მისცა ანტიბიოტიკების ერას მედიცინაში. ის ფაქტი რომ გარკვეული ტიპის მირობები აფერხებდნენ სხვა მიკრობების ზრდას ცნობილი იყო გაცილებით ადრევიდრე აღმოჩენილი იქნა ანტიბიოტიკები. ამ მიკრობული ანტიგანიზმის მოვლენა გასაგები იყო, თუმცა ბუნება მოვლენისა, გაუგებარი. 1929წ. შოტლანდიელი მეცნიერის ა. ფლემინგის მიერ აღმოჩენილ და გამოყოფილი იქნა სოკო Penicillium notatum იღან ქიმიური ნივთიერება, რომელიც აჩერებდა სტაფილოკოკების ზრდას. ნივთიერებას დაერქვა პენიცილინი, მაგრამ მისი სტაბილური სახით მიღება და გასუფთავება მოხდა მხოლოდ 1940 წ. ინგლისში ხ. ფლორისა და ე. ჩეინის მიერ. მალევე დაიწყო პენიცილინის წარმოება და ფარმაკოლოგიური სახით გაყიდვა. 1945 წ. ფლემინგმა, ჩეინმა და ფლორმა მიიღეს ნობელის პრემია პენიცილინის აღმოჩენისა და მისი წარმოებისათვის. თვით ტერმინი “ანტიბიოტიკი” შემოთავაზებული იქნა გერმანელი მეცნიერის ზ. ვაქსმანის მიერ 1942წ., რომელმაც ამ ტერმინით აღნიშნა მიკროორგანიზმების მიერ პროდუცირებული ბუნებრივი ნივთიერებები, რომელთაც მცირე კონცენტრაციებითაც კი შეეძლოდ მიკრობების ზრდის დათრგუნვა (ბაქტერიოსტატიკური მოქმედება) ან მიკრობების დაღუპვის გამოწვევა (ბაქტერიოციდული მოქმედება).

ანტიბიოტიკებს აწარმოებენ ძირითადად სოკო ასპერგილუსის და აქტინომიცეტების რიგის წარმომადგენლები და ასევე ზოგიერთი ბაქტერია.

უმნიშვნელოვანეს ანტიბიოტიკთა სიაში პირველი ადგილი უჭირავს პენიცილინს. მისი მაწარმოებელია სწორედ სოკო *Penicillium notatum* ი. ის ეფექტურია უმეტესად გრამ (+) ბაქტერიების წინააღმდეგ. დღესდღეობით ცნობილი ანტიბიოტიკებიდან ყველაზე ნაკლებად ტოქსიურია, თუმცა მის მიმართ შესაძლებელია ალერგიული რეაქციების განვითარება და მის მაღალ დოზებს შეუძლიათ ცენტრალური ხერვული სისტემას დაზიანება. კლინიკაში გამოიყენება სტრეპტო, მენინგო, პნევმო, გონოკოკების, აქტინომიცეტების, კლასტრიდიების, სპიროქეტების წინააღმდეგ. პენიცილინის აღმოჩენის და მისი ქიმიური ფორმულის გამოფერის შემდეგ, სხვადასხვა რადიკალების დამატებით მისგან ნაწარმოები იქნა უამრავი სხვა ანტიბიოტიკი, რომელიც დღეს ერთიანდება **β** ლაქტამების კლასის სახელწოდებით და მოიცავს: ყველა ტიპის პენიცილინს, ამოქსაცილინს, ოქსაცილინს და სხვ.

**ცეფალოსპორინები** - სოკო *Cephalosporium* პროდუქტი. მასაც აქვს **β** ლაქტამების მსგავსი აგებულება, დღესდღეობით ბუნებრივი ანტიბიოტიკის გარდა ქიმიურად სინთეზირებულია სხვადასხვა ტიპის (თაობის) ცეფალოსპორინები. რომლებიც აქტიურები არიან როგორც გრამ(+), ასევე გრამ (-) ბაქტერიების წინააღმდეგ. ნატურალურ ცეფალოსპორინს გააჩნია დაბალი ანტიბაქტერიული აქტივობა, მაგრამ სხვადასხვა რადიკალების მიერთების შემდეგ ნატიური ცეფალოსპორინები იძენენ ძლიერ ანტიბაქტერიულ თვისებებს.

**ამინოგლიკოზიდები ანუ სტრეპტომიცინები** - მწარმოებელია ბაქტერია *Streptomyces (Strp) griseus* , ტოქსიურობის გამო დღესდღეობით გამოიყენება მხოლოდ ვეტერინარიაში და მცენარეთა დაავადებებთან საბრძოლველად.

**ქლორომიცეტინი** იგივე ქლორამფენიკალი, იგივე ლევომიცეტინი, მწარმოებელი *Strp. venezuelae* . მოქმედებს გრამ (-) ბაქტერიებზე და გამოირჩევა დიდი სტაბილურობით.

**ტეტრაციკლინები და აქტინომიცინები** – ასევე სტრეპტომიცეტების წარმოებულნი, ბაქტერიოსტატიკური მოქმედების, გამოირჩევიან მოქმედების ფართო სპექტრით და დაბალი ტოქსიურობით.

**მაკროლიდები** – სტრეპტომიცინების წარმოებულნი ძალიან ფართო და ძლიერი ანტიბიოტიკების ჯგუფი (კლინდამიცინი, ერითრომიცინი, აზიტრომიცინი და სხვ). აქტიურები არიან გრამ (-) და გრამ (+) ბაქტერიების წინააღმდეგ.

აღსანიშნავია აგრეთვე პოლიპეპტიდური ანტიბიოტიკები (გრამიცინი, პოლიმიქსინი, ბაკტიტრაცინი). რომლებსაც ასევე აწარმოებენ ბაქტერიები.

მიკოტოქსინები

მიკოტოქსინებს უწოდებენ სოკოვან მეორად მეტაბოლიტებს, ფართო გაგებით ისინიც განეკუთვნება სოკოვანი ბუნების ანტიბიოტიკებს, მაგრამ ესენი ცოქსიურია ადამიანებისა და ცხოველებისათვის და არა თვით სოკოებისათვის. მიკოტოქსინებიდან აღსანიშნავია აფლატოქსინები, რომლებსაც გააჩნიათ კანცეროგენული თვისებები.

### ვიტამინები

მიკროორგანიზმთა მიერ იწარმოება ასევე რიგი ვიტამინები, რომლებიც ცხოველურ ორგანიზმს აუცილებლად სჭირდება ზრდა-განვითარებისათვის. მაგრამ თვითონ მათი სინთეზი არ შეუძლია, ესენია: რიბოფლავინი და ვიტამინი B<sub>12</sub>. მათი პროდუცენტები არიან კლასტრიდიუმები, სტრეპტომიცეტები, სოკო Candida.

მნიშვნელოვანი არიან ასევე ალკალოიდები, რომლებსაც იყენებენ შაკიკის, სისხლძარღვოვანი დაავადებების სამკურნალოდ და ასევე ისინი ცნობილები არიან როგორც ჰალუცინოგენები. მათი მწარმოებელია მიკრობი Claviceps.

### ეკსოპოლისაქარიდები

მიკროორგანიზმთა საშუალებით შესაძლებელია მიღებულ იქნას სხვადასხვა ტიპის პოლისაქარიდები, ფერმენტები, შხამები. სითხეების სიბლანტის მოხამატებლად გამოიყენება მიკრობული ეკსოპოლისაქარიდები – კრემების, პუდინგების, ჩაყინის, კოსმეტიკურ და ტიპოგრაფიულ წარმოებაში. თანდათანობით მკვებარეული წარმოშობის ფერმენტული პრეპარატებიც შეცვალა მიკრობულმა პრეპარატებმა, მაგ: ფერმენტ პეპსინ, პაპაინ და ტრიპსინთან ერთად, ან მათ ნაცვლად, ესლა გამოიყენება ბაქტერიებისა და სოკოების მიერ გამოყოფილი პროტეაზები და სხვა ფერმენტები.

### ბაქტერიული ცოქსინები

ბაქტერიული ცოქსინები იყოფა ეგზო და ენდოტოქსინებად. ეგზოტოქსინები ცილოვანი პროდუქტებია, ხშირად ისინი პათოგენობის ძირითადი ფაქტორებია და სწორედ ისინი აპირობებენ ინფექციური პროცესის წარმართვას. მათი მაღალი ტოქსიურობა განპირობებულია მათი სტრუქტურული მსგავსებით ორგანიზმის ჰორმონებისა და ფერმენტების სუბერთეულებთან. მათ ამის გამო სტერეოქიმიურად შეუძლიათ დააბლოკირონ ბუნებრივი ანალოგების მოქმედება. ენდოტოქსინები წარმოადგენენ ლიპიდებს ან პოლისაქარიდებს და ითვლებიან გრამ (-) ბაქტერიების უჯრედული კედლის კომპონენტებად. მათი უმეტესობა გამოთავისუფლდება უჯრედის

დადუპის შემდეგ. მათი ბიოლოგიური აქტივობა კავს ანთების მედიაციების მოქმედებას – უმეტესად მიმდინარეობს ძლიერი ცხელებით. თუ ტოქსინი მოხვდა სისხლში, ვითარდება ენდოტოქსიური შოკი და ავადმყოფი უმეტესად იღუპება.

### ბიოტექნოლოგიის მიკრობიოლოგიური ასპექტები

ბიოტექნოლოგია არის მეცნიერება, რომელიც კოცხალი ორგანიზმების, ძირითადად მცენარეების, ცხოველების და მიკროორგანიზმების უჯრედების ცხოველქმედების შესწავლის საფუძველზე იყენებს ამ ბიოლოგიურ პროცესებს და ასევე თვით ბიოლოგიურ ობიექტებსაც ადამიანისათვის საჭირო სხვადასხვა ტიპის პროდუქტების წარმოებისათვის. თვით სიტყვა ბიოტექნოლოგია წარმოიქმნა ბერძნული *bios* - სიცოცხლე, *techné* ხელოვნება, *logos* მეცნიერება.

ბიოტექნოლოგია მოიცავს მიკრობიოლოგიას, ბიოქიმიას, მოლეკულურ ბიოლოგიას და სხვ. მეცნიერებებს.

ბიოტექნოლოგიის ისტორიული განვითარება მოიცავს რამდენიმე ეტაპს:

1. ემპირიულს, როცა მიკრობიოლოგიური ტექნოლოგიები ვითარდებოდა ისე, რომ ისინი ადამიანის მიერ გაცნობიერებული არც კი იყო, იგივე ღვინის წარმოება და პურის ცხობა, ტექნოლოგიები, რომლებიც ხვ. წელთაღრიცხვამდე გაცილებით ადრე არსებობდა, მაგრამ არავის იცოდა მათი ბუნება,
2. ფუნდამენტური ბიოლოგიური მეცნიერებების ჩამოყალიბება XV – XVIII საუკუნეებში,
3. მიკრობიოლოგიურ წარმოებაში სამეცნიერო მონაცემების დახერხვის პირველი მცდელობები, XIX საუკუნის მეორე ნახევარი და XX საუკუნის 20-30-იანი წლები, პასტერის, კოხის და სხვათა ეპოქა,
4. თანამედროვე ბიოტექნოლოგიის საფუძვლების შექმნა XX საუკუნის I ნახევარში - ცილების სტრუქტურის გაშიფრვა, ვირუსების გამოყენება უჯრედული ორგანიზმების გენეტიკის შესწავლაში,
5. უახლესი ბიოტექნოლოგიის განვითარება რაც დაკავშირებულია გენური და უჯრედული ინჟინერიების, იმუნობიოტექნოლოგიის დახერხვასთან.

ბიოტექნოლოგიის გამოყენების სპექტრი საკმაოდ ფართოა. იგი მოიცავს მსუბუქ მრეწველობას, სოფლის მეურნეობას, მედიცინას, ექსპერიმენტულ ბიოლოგიას და სხვა. მაგალითად, სხვადასხვა პროდუქტების მისაღებად გამოყენებულია ბიოტექნოლოგიის, განსაკუთრებით კი საწარმო მიკრობიოლოგიის მეთოდები. ეს უკანასკნელი გულისხმობს მიკროორგანიზმების გამოყენებას ძვირფასი პროდუქტების და წამლების

მისაღებად. მიკრობული სინთეზის უმნიშვნელოვანესი პროდუქტებია ფარმაცევტული და საკვები მიზნებით გამოყენებული სპეციალური ნივთიერებები (ანტიბიოტიკები, ფერმენტები, ფერმენტების ინჰიბიტორები, ვიტამინები, კვებითი წარმოებისთვის გამოყენებული დანამატები და სხვა). მეტაბოლიზმის პლასტიკურობა, მიკრობების მაღალი ადაპტაციური უნარი, კულტივირების სიმარტივე და სხვა თვისებები, მიკრობულ ბიოტექნოლოგიას ერთ-ერთ პერსპექტიულ მიმართულებად აქცევს.

მიკრობული სინთეზის ყველაზე უფრო ცხობილ საწარმოო პროდუქტებს მიეკუთვნებიან: აცეტონი, სპირტები (ეთანოლი, ბუთანოლი, იზოპროპანოლი, გლიცერინი), ორგანული მჟავები (ლიმონის, ძმრის, პროპიონის, და სხვ.), არომატიზატორები და სუნის გამაძლიერებელი ნივთიერებები. მცენარეული წარმოშობის არომატული ნივთიერებები შეიძლება იწარმოოს მცენარეების გენების ექსპრესიით მიკროორგანიზმების უჯრედებში.

დედამიწაზე ბაქტერიების 100 000 მდე და 250 000-ზე მეტი სოკოების სახეობებია, ამათ გარდა ვირუსები, უმარტივესები, მაგრამ ბიოტექნოლოგიურ პრაქტიკაში გამოიყენება მიკროორგანიზმთა მხოლოდ 100 მდე სახეობა.

საფუარა სოკოები გამოიყენება პურისა და ღუდის წარმოებაში, ლაქტობაქტერიები - რძის პროდუქტების, ბაცილუსის რიგის ბაქტერიები - ფერმენტების, კლასტრიდიუმები აცეტონის, სპირტების, ვიტამინების, რიგი სოკოებისა და აქტინამიცეტები - ანტიბიოტიკების წარმოებაში. სტრუქტოკოკების წარმომადგენლები არიან მთელი რიგი ფერმენტების ინჰიბიტორების პროდუცენტები, ასევე იმუნომამოძლიერებელი ნივთიერებების მასინთეზირებლები (მაგ. ბესტრაციინის) და მათი ნაწარმოები პროდუქტები, მაგ: ამილასას ინჰიბიტორი, კაპტოპრილი, გამოიყენება მედიცინაში სხვადასხვა სახის დაავადებების სამკურნალოდ: დიაბეტის, ჰიპერტონიის და სხვ.

გარდა მიკრობების მიერ ნაწარმოები პროდუქტებისა და მიკრობების ფერმენტული უნარების გამოყენებისა, მიკროორგანიზმები ასევე ძალიან მნიშვნელოვანი არიან ვაქცინების ტექნოლოგიებში. ცხობილია, რომ ვაქცინების წარმოების ტრადიციული მეთოდები დაფუძნებულია ატენუირებული (დასუსტებული) ან დახოცილი პათოგენების გამოყენებაზე. ამჟამად, მრავალ ახალ ვაქცინას, რომელთაც იყენებენ მაგ, გრიპის, ჰეპატიტების პროფილაქტიკისათვის, იღებენ გენური ინჟინერიის მეთოდების საშუალებით. კერძოდ, ვირუსსაწინააღმდეგო ვაქცინებს იღებენ მიკრობულ უჯრედში მაღალი იმუნოგენურობის მქონე ცილების გენების წარმოებით. კულტივირებისას ასეთი უჯრედები ასინთეზირებენ ვირუსული ცილების დიდ რაოდენობას, რაც შემდგომში წაირთვება ვაქცინური პრეპარატების შემადგენლობაში.

ბოლო წლებში მედიცინის, სოფლის მეურნეობის, კვების მრეწველობის მრავალი პრობლემის გადაწყვეტა შესაძლებელი გახდა მოდიფიცირებული გენომის მქონე ორგანიზმების გამოყენებითაც.

XX საუკუნის 80-იანი წლებიდან ჩამოყალიბდა ახალი ბიოტექნოლოგიური დარგი – გენური ინჟინერია, რომლის არსიც მდგომარეობს მოცემული საკვლევი მასალის გენური აპარატის შეცვლაში. ბიოტექნოლოგიის ამ დარგშიც მიკროორგანიზმებმა დიდი როლი შეასრულეს, ვინაიდან მოდიფიცირებული გენი როგორც მინიმუმი, უნდა ექპრესირდეს უჯრედების რომელიმე ხაზში, რომ შესაძლებელი გახდეს მისი შემდგომი შესწავლა. მოდიფიცირებული ან სინთეზირებული გენის ვექტორის როლს, როგორც წესი ასრულებს პლაზმიდა, ვირუსი ან ფაგი.

გენური ინჟინერიის მეთოდებით გახდა შესაძლებელი ადამიანისათვის აუცილებელი სხვადასხვა ხივთიერებების (ჰორმონების, ანტიბიოტიკების) მიღება. გენური ინჟინერიის შედეგად გახდა შესაძლებელი ინსულინის, სომატოტროპინის, პენიცილინის რიგის ანტიბიოტიკების, ცილა ინტერფერონის ხელოვნურად მიღება და მათი ფარმაკოლოგიაში გამოყენება.

გენური ინჟინერიის მეთოდები ბიოტექნოლოგიური დარგის ერთ-ერთ ყველაზე პერსპექტიულ მიმართულებად ითვლება დღესდღეობით.

## ლექცია 7

### მიკრობთა გენეტიკა

ნებისმიერი ცოცხალი ორგანიზმი თავისი თვისებების უმეტესობით მსგავსია თავისი წინაპრებისა. სპეციფიური ნიშან-თვისებების “შენახვას”, ანუ ამ ნიშან-თვისებების მდგრადობას რიგ თაობებში ეწ. “მემკვიდრეობითობა”. ყოველი თვისების ინფორმაციის მატარებლის როლს შეესაბამება გარკვეული ერთეული - გენი.

*გენი* არის დნმ-ის სტრუქტურული ერთეული, რომელშიც არსებული ტრიპლეტების განლაგება განსაზღვრავს შესაბამისი პოლიპეპტიდური ჯაჭვის პირველად სტრუქტურას.

*გენომი* ქრომოსომაში არსებული ნუკლეოტიდების ერთობლიობაა. გენომის მოცულობა სხვადასხვა არსებებში ძლიერ ვარირებს და სწორედ გენომის მოცულობაზეა დამოკიდებული ამა თუ იმ ინდივიდის სტრუქტურული ორგანიზაციის სირთულე.

*გენოტიპი* ეს არის ამა თუ იმ არსებისათვის დამახასიათებელი ინდივიდუალური გენების ერთობლიობა.

ბაქტერიების გენეტიკურ სისტემას გააჩნია დამახასიათებელი თავისებურებები:

1. ბაქტერიების ქრომოსომები თავისუფლად არიან დოკალიზებული ციტოპლაზმაში, მისგან არ არიან გამოყოფილი რაიმე მემბრანისმაგვარი სტრუქტურებით, არიან სუპერსპირალიზებული, რადგანაც ბაქტერიული ქრომოსომა სიგრძით გაცილებით მეტია თვით ბაქტერიულ უჯრედზე.
2. თუმცა ბაქტერიები კაპლიდური ორგანიზმებია ე.ი მათ გააჩნიათ გენების ერთი კომპლექტი, მათში დნმ-ის შემცველობა ცვალებადობს და შეიძლება მიაღწიოს 2, 4-ს.
3. ბაქტერიებში, ბუნებრივ პირობებში გენეტიკური ინფორმაციის გადაცემას ადგილი აქვს არა მარტო ვერტიკალურად, ანუ დედა-უჯრედიდან შვილურულ უჯრედზე, არამედ ჰორიზონტალურადაც, რასაც ისინი ახორციელებენ სხვადასხვა მექანიზმებით: ტრანსფორმაციით, ტრანსდუქციით და სხვ.
4. გარდა ქრომოსომული გენომისა ბაქტერიებს ხშირად გააჩნიათ დამატებითი პლაზმიდური გენომი, რომელიც მათ ანიჭებს რიგ თვისებებს და ხშირად შეუძლია დამოუკიდებლად რეპლიკირება, ანუ არიან რეპლიკონები .

ბაქტერიები გენეტიკურად ძალიან მონახერხებელი მოდელები არიან, ვინაიდან მათ გენომის მარტივი აგებულება აქვთ, აქვთ სქესობრივი დიფერენციაცია მხოლოდ დონორ/რეციპიენტის დონეზე, აქვთ გამოცადკვევებული და ინტეგრირებული დნმ-ის

ფრაგმენტები, (პლასტიდების, ტრანსპოზონების სახით), მარტივია მათი კულტივირება და პოპულაციების მიღება.

### ბაქტერიების გენეტიკური მასალა

ბაქტერიების, ისევე როგორც უმაღლესი ორგანიზმების გენეტიკური ინფორმაციის მატარებელი არის დნმ-ი, რომელიც ბაქტერიებში ორჯაჭვიანია და არის წრიული ფორმის. უჯრედის გაყოფის წინ დნმ-ი რეპლიცირდება, ანუ ორმაგდება. შემდგომ დნმ-იდან ინფორმაცია გადაიწერება მატრიცულ ანუ ინფორმაციულ რნმ-ზე, რომელთაგანაც შემდგომ რიბოსამებზე ხდება ცილის სინთეზი. ყოველი გენი წარმოდგენილია დნმ-ის გარკვეული უბნით და “ნაწერილია” ამ უბანში გარკვეული ნუკლეოტიდური თანმიმდევრობით. ფერმენტული ცილების სპეციფიურობა, რომელთა სინთეზსაც აკონტროლებს გენი, განისაზღვრება ამინომჟავების თანმიმდევრობით პოლიპეპტიდურ ჯაჭვში. იგივე თანმიმდევრობა საზღვრავს ცილის სივრცობრივ სტრუქტურას – პირველადს, მეორედს, მესამედს.

ბაქტერიული ქრომოსომა შეიცავს  $3 \times 10^8 - 2,5 \times 10^9$  ნუკლეოტიდურ წყვილს და ბაქტერიის სიცოცხლისუზრუნველსაყოფ 4 000 ცალკეულ გენს. მისი სიგრძე გაშლილ მდგომარეობაში დაახლოებით 1მმ. იგი ქმნის ბაქტერიულ ქრომატინულ სხეულაკებს ანუ ნუკლეოიდებს, მას არა აქვს გარსი (მემბრანა) და მოიცავს თითქმის მთელს უჯრედულ დნმს. ზრდად ბაქტერიულ უჯრედებში ნუკლეოიდები აქტიურად იყოფიან და მათი რიცხვი 2 - 4 აღწევს ხოლმე.

ბაქტერიებში განასხვავებენ რეპლიკაციის 3 ტიპს: ვუგერაციურს, რომელიც განაპირობებს ინფორმაციის ვერტიკალურ გადაცემას, კონიუგაციურს, როდესაც გენეტიკური მასალის მიმოცვლა ხდება კონიუგაციური მექანიზმებით და გენეტიკური ინფორმაცია ვრცელდება ჰორიზონტალურად, და რეპარაციულს რომლის მეშვეობითაც ხორციელდება დნმ-ის სტრუქტურული დაზიანებების აღმოფხვრა.

### ბაქტერიული არაქრომოსომული დნმ

ბევრ ბაქტერიაში გვხვდება დნმ-ის არაქრომოსომული მოლეკულები პლასტიდები, ტრანსპოზონები ან ინსერციული (IS) განმეორებები. ისინი ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან მოლეკულური მასით, მათში კოდირებული ინფორმაციის მოცულობით, დამოუკიდებელი რეპლიკაციის უნარით და სხვ. არცერთი მათგანი არ წარმოადგენს ბაქტერიული უჯრედისათვის სასიცოცხლოდ აუცილებელ გენეტიკურ ელემენტებს, ვინაიდან ისინი არ შეიცავენ პლასტიურ და ენერგეტიკულ მეტაბოლიზმში მონაწილე

ფერმენტებს. პლაზმიდებს აქვთ დამოუკიდებელი რეპლიკაციის უნარი, ტრანსპოზონებს და IS ელემენტებს კი არა.

**პლაზმიდები** – 40 - 50 გენიანი დნმ-ის ფრაგმენტები, რომლებიც ასრულებენ რეგულატორულ და მაკადირებელი ფუნქციებს. პირველი ფუნქცია მიმართულია მეტაბოლისტური დეფექტების საკომპენსაციოდ, მეორეს ბაქტერიისში “შეაქვს” ინფორმაცია ახალი ნიშან-თვისებების შესახებ. ბაქტერიების ზრდისათვის ისინი არ წარმოადგენენ საჭიროებას, მაგრამ ბაქტერიას ანიჭებენ უპირატესობას არახელსაყრელ პირობებში მოხვედრის შემთხვევაში.

პლაზმიდების მიერ ბაქტერიული უჯრედისათვის მინიჭებული ფენოტიპური ნიშან-თვისებებიდან გამოყოფენ:

- ანტიბიოტიკებისადმი მდგრადობას,
- კოლიცინების წარმოქმნის უნარს,
- პათოგენურობის ფაქტორების პროდუქციას,
- ანტიბიოტიკების სინთეზის უნარს,
- რთული ორგანული ნაერთების დაშლის უნარს,
- რესტრიქციისა და მოდიფიკაციის ფერმენტების სინთეზის უნარს.

გამოყოფენ გამოცალკევებულ წრიული მოლეკულის სახით არსებულ პლაზმიდებს – ეპისომებს და ქრომოსომაში ჩაშენებულ ინტეგრირებულ პლაზმიდებს. პლაზმიდები აკადირებენ რიგი ეკზოტაქსინებისა, ცილოვანი ცოქსინების (ბაქტერიოცინების) და ფერმენტების სინთეზს, მათ შორის ისეთი ფერმენტებისაც, რომლებიც იწვევენ არაბუნებრივი ნაერთების (ტოლუოლის, ნაფტალენის) დეგრადაციას, აპრობებენ წამლების მიმართ მდგრადობას.

პლაზმიდები არსებობენ შემდეგი სახის:

1. ზოგიერთი პლაზმიდის დნმ-ის გავრმაგება ზრდის ბაქტერიული უჯრედის “ნაყოფიერებას”, იმიტომ რომ იწვევს უჯრედის გაყოფის ინდუცირებას. ასეთ პლაზმიდებს უწოდებენ **F** (fertility – ნაყოფიერება) პლაზმიდებს. ინტეგრირებულ F პლაზმიდებს უწოდებენ **Hfr (high frequency of recombinations)** პლაზმიდებს, ან **Hfr ფაქტორებს**. ინტეგრირებული F ფაქტორები ახდენენ ქრომოსომის გენეტიკური ინფორმაციის მობილიზებას და ახორციელებენ მის გადაცემას სხვა უჯრედში, ამ პროცესს ეწევიან კონიუგაცია.
2. არსებობენ აგრეთვე კონიუგაციური პლაზმიდები, რომლებიც გადაეცემათ კონიუგაციის პროცესში ერთი ბაქტერიიდან მეორეს. ესენი როგორც წესი ან F ან R პლაზმიდებია. **R** პლაზმიდებმა თავიანთი სახელწოდება ხიტევა resistance იდან მიიღეს, რაც მდგრადობას ნიშნავს, და ეს არის ის პლაზმიდები, რომლებიც, სწორედ, აპრობებენ მდგრადობას ანუ რეზისტენტულობას

მედიკამენტების მიმართ, უმეტეს შემთხვევაში, ანტიბიოტიკების მიმართ. R პლასმიდები შეიცავენ ორი ტიპის გენებს: 1. გენებს, რომლების “პასუხისმგებელი” არიან კონიუგაციის გზით პლასმიდის გადაცემაზე RTF (resistance transfer factor) და 2. გენებს, რომლებიც აპირებენ საკუთრივ რეზისტენტობას. ფართო გაგებით ორივე ტიპის R და F პლასმიდები “ინფექციურებია”, ვინაიდან შესაძლებელია მათი გადატანა, ანუ ერთი ბაქტერიიდან მეორესათვის გადაცემა.

3. არსებობენ კიდევ არაკონიუგაციური პლასმიდებიც. არაკონიუგაციური პლასმიდები ძირითადად დამახასიათებელია გრამდადებითი კოკებისათვის, თუმცა გვხვდება გრამუარყოფით ორგანიზმებშიც. არაკონიუგაციური პლასმიდებიც შესაძლოა გადატანილ იქნან ერთი უჯრედიდან მეორეში თუ მათთან ერთად უჯრედში კონიუგაციური პლასმიდაც არსებობს.
4. პათოგენურობის პლასმიდები - ისინი აკონტროლებენ მტამების ვირულენტურ თვისებებს, მაგ. ტოქსინების სინთეზს, განსაკუთრებით ენტერობაქტერიებისას.
5. ბაქტერიოცინოგენის პლასმიდები აკოდირებენ ბაქტერიოცინების სინთეზს. ბაქტერიოცინები - ცილოვანი პროდუქტებია, რომლებიც იწვევენ იმავე ან მონათესავე სახეობის ბაქტერიების დაღუპვას. მაგალითად, ადამიანის ნაწლავში ნაწლავური ჩხირის ბაქტერიოცინები იწვევენ სხვა ენტერობაქტერიების სიკვდილს. ბაქტერიოცინოგენია უმეტესად ახასიათებთ გრამ (-) ბაქტერიებს. იშვიათად გრამ (+) საც. ცხობილია სხვადასხვა ბაქტერიოცინები კოლიცინები (ნაწარმოები ნაწლავის ჩხირისაგან), სტაფილოცინები (ნაწარმოები სტაფილოკოკებისაგან), ვიბრიოცინები (მწარმოებელია ვიბრიო) და სხვ.
6. ბიოდეგრადაციის პლასმიდების მქონე ბაქტერიას შეუძლია სხვადასხვა რთული ორგანული ნაერთების დაშლა, ვინაიდან ამ ნივთიერებების დამშლელი ფერმენტების მაკოდირებელი გენებია სწორედ ბიოდეგრადაციის პლასმიდაში. ბუნებრივია, რომ ასეთ ბაქტერიებს აქვთ სელექტიური ეპირატელობა.

ბევრი ბაქტერია შეიცავს სხვადასხვა ზომის პლასმიდებს. სხვადასხვა პლასმიდების თანაარსებობა ერთ ბაქტერიულ უჯრედში მიგვითითებს იმაზე, რომ სხვადასხვა პლასმიდები თავსებადები არიან ერთმანეთთან. თუმცა მონათესავე პლასმიდებს თანაარსებობა არ შეუძლიათ, მაგ: ორი R პლასმიდა ერთ უჯრედში ვერ იარსებებს.

**მიგრირებადი (მოძრავი) გენეტიკური ელემენტები** – ესენია დნმ-ის ცალკეული უბნები, რომელსაც აქვს თავის თავის გადატანის უნარი ან ერთი ქრომოსომიდან მეორეში, ან ქრომოსომიდან პლასმიდაში და პირიქით. ასეთი ტრანსპოზიცია ანუ ადვილის

ცვლილება განპირობებულია მიგრირებადი ელემენტის მიერ სპეციფიური რეკომბინაციული ფერმენტის ტრანსპოზაზის სინთეზის უხარით.

მიგრირებად გენეტიკურ ელემენტებს განეკუთვნებიან:

- ინსერციული თანმიმდევრობები, ანუ იგივე **IS (insertion sequences)** ელემენტები არიან ყველაზე მარტივი მიგრირებადი ელემენტები, მათი ზომა 800-14000<sup>წ</sup>უკვილ ფუძეს არ აღემატება. ისინი აკოდირებენ რეკომბინაციისათვის საჭირო და ტრანსპოზიციის სინთეზის მაკონტროლირებელ ფერმენტებს. IS ელემენტები გადანაცვლდებიან გენომში, როგორც ერთი მთლიანი გენების მასა და არასდროს არ რეპლიცირდებიან დამოუკიდებლად. ისინი აკოდირებენ პლაზმიდების, ტრანსპოზონების, ზომიერი ფაგების ურთიერთქმედებას, არეგულირებენ ბაქტერიული უჯრედის გენომის აქტივაციას. შეუძლიათ “ნართონ” ან “გამართონ” გარკვეული გენები და შეუძლიათ დელეციური ტიპის მუტაციების გამოწვევა. ინსერციულ ელემენტებს ბაქტერიაში აქვთ ინვერტირებული განმეორებადი უბნები, რომელსაც “გამოსცნობს” ფერმენტი ტრანსპოზაზა და სწორედ იმ ადგილას, სადაც “იწება და მთავრდება” ეს განმეორებითი თანმიმდევრობები იწვევს დნმ-ის ერთჯაჭვიან გახლეჩვას. IS ელემენტის ორიგინალური კოპია რჩება ადგილზე, ხოლო რეპლიცირებული დუბლიკატი გადაინაცვლებს დნმ-ის ახალ უბანზე. აღსანიშნავია, რომ IS ელემენტებს არ შეუძლიათ დამოუკიდებლად რეპლიცირება.
- ტრანსპოზონები - იგივე **Tn** ელემენტები, თვითინტეგრირებადი დნმ ფრაგმენტები, მოიცავენ 2000 -2500<sup>წ</sup>უკვილ სუკლეოტიდს, შეიცავენ დნმ-ის ფრაგმენტს და ორ IS ელემენტს, რომელთაც შეუძლიათ ერთდაიგივე ან სპირისპირო მიმართულებით გადაადგილება. ბაქტერიულ დნმ-ში ნართვისას ისინი იწვევენ დუბლიკაციებს, ამართვის შემთხვევაში კი დელეციებს - ანუ ორივე შემთხვევაში ახდენენ იმ გენების დაზიანებას და ინაქტივაციას, სადაც იქნენ ჩართული ან საიდანაც იქნენ ამართულები. არც მათ არა აქვთ დამოუკიდებელი რეპლიკაციის უნარი და მრავლდებიან მხოლოდ ბაქტერიული ქრომოსომის “შემადგენლობაში” მყოფ პირობებში. ყოველი ტრანსპოზონი შეიცავს გენებს, რომელიც ანიჭებს ბაქტერიას მდგრადობას ქიმიოპრეპარატების მიმართ. ტრანსპოზონების მთავარი თვისებაა რომ მათ შეუძლიათ გადაადგილება ერთი რეპლიკონიდან მეორეში, მაგ, ბაქტერიული ქრომოსომული დნმ-იდან პლაზმიდურში, პლაზმიდურიდან ფაგურში და ა.შ. და ასევე შეუძლიათ გენების გავრცელება ბაქტერიულ პოპულაციაში, რამაც შეიძლება შეცვალოს როგორც

პიოპულაციის, ასევე ინფექციური დაავადების გამომწვევის აგენტის ნიშან-თვისებები.

- **μ ბაქტერიოფაგი** - ზოგიერთ შემთხვევაში ცვალებადობის ფაქტორებად შეიძლება მოგვევლინოს ზომიერი ან დეფექტური ფაგები, რომელთა თვისებები მსგავსია პლაზმიდების თვისებებისა. **μ ბაქტერიოფაგს** შეუძლია “ჩაერთოს” ბაქტერიული ქრომოსომის ნებისმიერ უბანში. “დაამატოს” თავისი გენეტიკური თვისებები და გადმოაწვიოს მუტაგენური ეფექტი. ის შეიძლება გახსნილი იქნეს, როგორც გიგანტური ტრანსპოზონი.

### ბაქტერიების მუტაციები

ტერმინი “მუტაცია” პირველად შემთავაზებული იყო ფრანგი მეცნიერის დე ფრიზის მიერ, როგორც “მემკვიდრული თვისების ნახტამისებური” ცვლილების ცნება. მუტაციები წარმოადგენენ დნმ-ის პირველადი სტრუქტურის ცვლილებებს გამოვლენილს მემკვიდრულად რაიმე ნიშან-თვისების დაკარგვით ან ცვლილებით. მუტაციებს საფუძვლად უდევთ რეპლიკაციის დროს მემკვიდრული ინფორმაციის კოპირების “შეცდამები”. ბაქტერიების შემთხვევაში მუტაციებმა შეიძლება გადმოაწვიოს ბაქტერიული უჯრედის მორფოლოგიის შეცვლა, ზრდის ფაქტორებისადმი ბაქტერიის მომთხოვნელობა, ანტიბიოტიკებისადმი რეზისტენტობა, ტემპერატურისადმი დამოკიდებულების ცვლილება და სხვ.

მუტაციებს ყოფენ ქრომოსომულ (როდესაც იცვლება ქრომოსომის ერთი ან რამდენიმე უბანი) და გენურად (როდესაც იცვლება ერთი გენი ან კისტონი). ფაქტორებს, რომლებიც იწვევენ მუტაციებს, უწოდებენ მუტაგენებს, ისინი არიან ან ქიმიური, ან ფიზიკური ბუნების. წარმოშობის მიხედვით გამოყოფენ:

- **ინდუცირებულ** ანუ ხელახლურად გამოწვეულ მუტაციებს - მიიღწევა ფაქტორების ანალოგების (მაგ. ბრომურაცილის ჩართვა თიმიდინის მაგივრად), ალკილირებადი აგენტების, აზოტის მჟავის და სხვ ქიმ. ელემენტების, ანდა ულტრაიისფერი, რენტგენის ან სხვა გამოსხივების გამოყენებით, რომლებიც ასევე მოქმედებს ნუკლეინის მჟავებზე.
- **სპონტანურს** ანუ ბუნებრივ მუტაციებს - არასწორი კომპლემენტარული წყვილების წარმოქმნა, დნმ-ის სტრუქტურული “დამახინჯება”. სპონტანური მუტაციების სიხშირეა დაახლოებით ერთი მუტაცია ყოველ  $10^6 - 10^7$  უჯრედზე.

თუ ტერმინ “მუტაციაში” ტრადიციულად იგულისხმება ნებისმიერი გენოტიპური ცვლილება, რომელიც შემდგომში გამოიხატება ფენოტიპურადაც, მოდერულურ

დონეზე გენოტიპის ნეპისმიური სტაბილური, მემკვიდრული ცვლილება აღიქმება როგორც მუტაცია. თუმცა, რიგ მუტაციებს შესაძლებელია ფენოტიპური გამოვლენა არც მოყვას. ამას ეწ. “მდუმარე” მუტაციები. ხშირად გენეტიკურ კოდში ტრიპლეტში, მესამე ფუძის ცვლილება ფენოტიპური “შედევების” გარეშე მთავრდება, ანუ, ამას არ მოყვება ხილული ცვლილებები. სწორედ ასეთ შემთხვევებში ლაპარაკობენ “მდუმარე” მუტაციებზე.

არსებობს “შებრუნებული”, უკუ მუტაციები, რომლებიც აბრუნებს სპინტანურად მუტირებულ უჯრედს პირვანდელ გენეტიკურ მდგომარეობაში. ნამდვილი “უკუმუტაცია” ზუსტად აღდგენს პირვანდელ გენოტიპს და შესაბამისად გენოტიპსაც და მას ეწოდება რევერსია. ხილვით თუ აღდგენა მოხდა მხოლოდ ფენოტიპურ დონეზე, და არ აღდგა გენოტიპი, მაშინ ლაპარაკობენ სუპრესორულ მუტაციაზე.

მუტაციების ტიპებში არსევენ: ნუკლეოტიდების მოდიფიკაციურ (როდესაც ხდება ცალკეული ნუკლეოტიდების ცვლილება), “ჩართვით” (როდესაც ხდება დამატებითი ნუკლეოტიდების ჩართვა), დელეციურ (როდესაც ერთი ან რამდენიმე ნუკლეოტიდური წყვილის დაკარგვა ხდება) და დნმ-ის სპირალის დეფორმაციულ მუტაციებს.

მუტაციების გამოვლენა ხდება ლაბორატორიული მეთოდებით. მაგ. თუ ბაქტერია ნორმაში მგრძნობიარეა რაიმე ქიმიკატის მიმართ ხილვით უეცრად იწყებს ამ პრეპარატის არეში არსებობისას წვეულებრივ ზრდას, ანუ ხდება მის მიმართ მდგრადი, ე.ი. ადგილი აქონდა მუტაციის მოვლენას. ანდა, როდესაც ხდება კვების ტიპის შეცვლა. ამ შემთხვევებში მუტაციის “დიაგნოსტიკა” ითვლება.

ასევე არსევენ:

1. წერტილოვან მუტაციებს - როდესაც მუტაცია ეხება ერთი ფუძის ცვლილებას და შედეგად წარმოიქმნება “არასწორი” ამინომჟავა.
2. ფრეიმშიფტ მუტაციები - ათვლის ჩარხის წანაცვლება, რაც იწყებს ყველა მომდევნო კოდონის წანაცვლებას
3. ნონსენს მუტაცია - “უაწრო”, არასრულფასოვანი ცილების წარმოქმნელი მუტაცია,
4. დნმ-ის სპირალის დეფორმაცია - დნმ-ის მოლეკულის სტრუქტურული “დამახინჯება”, რაც ხელს უშლის სწორ რეპლიკაციას.

მუტაციების რეპარაციის მექანიზმები ბაქტერიებში

ნებისმიერ ცოცხალ უჯრედში არსებობს ბიოქიმიური მექანიზმები, რომლებსაც შესწევთ უნარი სრულად ან ნაწილობრივ აღადგინონ დაზიანებული დნმ-ის საწყისი სტრუქტურა. სხვანაირად ქიმიური ან ფიზიკური ფაქტორებით გამოწვეულ მუტაციებს

შეიძლება ბაქტერიული უჯრედი “გადაშენებამდე” მიეყვანა. დაზიანებული დნმ-ის კორექციის რეაქციების მაკატალიზირებელი ფერმენტების ერთობლიობას უწოდებენ რეპარაციულ სისტემას. დნმ-ის დეფექტების კორექციის სამი ძირითადი მიმართულებაა ცნობილი;

1. დაზიანებული დნმ-იდან უშუალო რევერსია ხაჭყისი სტრუქტურისკენ.
2. დაზიანებული ნაწილის ექსციზია (ამოვარდნა).
3. დაზიანებებისადმი მდგრადობის გახმაპრობებელი მექანიზმების აქტივაცია.

არსებობს “სინათლის რეპარაცია” ანუ ფოტორეაქტივაცია და ბნელი რეპარაცია.

პირველი ასწორებს დნმ-ის დაზიანებას მიყენებულს ულტრაიისფერი გამოსხივებით და ამისათვის იყენებს ფერმენტ ფოტოლიაზას, რომელიც ამთელებს თიმიდინის ფუძეებს. სხვა რეპარაციული მექანიზმები მიეკუთვნება ბნელ რეპარაციას.

გარკვეულ ყურადღებას იმსახურებს:

- რეპარაცია რეკომბინაციის პროცესში ანუ პოსტრეპლიკაციური რეპარაცია – განსაკუთრებული რეპარაციული სისტემა, რომელიც ბაქტერიის მიერ გამოიყენება იმ შემთხვევაში, თუ დნმ-ის სპირალის დეფორმაცია ხდება რეპლიკაციური “ჩანგლის” უშუალო სიახლოვეში.
- **SOS** რეპარაცია – მექანიზმი ირთვება თუ ულტრაიისფერი გამოსხივებით მრავალჯერადად დაზიანდა დნმ-ი. ამ დროს წარმოიქმნება თიმიდინის გადაფარვადი დიმერები, რის ექსციზიასაც ახდენს SOS რეპარაციის სისტემა.
- **Mismatch** რეპარაცია – ხშირად ფუძეები არასწორად წყვილდებიან (ინგ mismatch), რეპარაციის ეს სისტემა მიმართულია წყვილების გასწორებაზე.

### მუტაციების სუპრესია ბაქტერიებში

პირველადი მუტაცია შესაძლოა კომპენსირებული იქნას მეორადი მუტაციით, რომელიც წარმოიქმნა დოცემული გენის შიგნით (ინტრაგენურად) ან სხვა გენში (ექსტრაგენურად).

ინტრაგენური სუპრესია განპირობებულია მეორადი მუტაციით, რომელიც ახდენს პირველადი მუტაციის ეფექტის კორეგირებას. მაგ. თუ წერტილოვანი მუტაციის შედეგად მოხდა დეფექტური ცილის სინთეზი, რომელსაც დაკარგული აქვს ბიოლოგიური აქტივობა, სიტუაცია შეიძლება გასწორდეს თუ მეორადი მუტაცია იმავე გენში დააკოდირებს ამინომჟავას, რომელიც ინარჩუნებს ცილის კონფიგურაციას და აქტივობას.

ექსტრაგენური სუპრესია არის ის სიტუაცია, როდესაც მუტაცია ერთ გენში ასწორებს შეცდომას, რომელიც მოხდა სხვა გენში.

## ლექცია 8

### ბაქტერიული დნმ-ის გადაცემის კზები

დიდი ხნის მანძილზე ითვლებოდა, რომ ბაქტერიები იყვნენ იზოლირებული გენეტიკური სისტემები და ყოველ ერთ ბაქტერიას ყავდა მხოლოდ ერთი “მშობელი”. ვინაიდან ბაქტერიულ უჯრედში არის გენების მხოლოდ ერთი “ნაკრები”, ხოლო მუიოზი (რეპლიციული დაყოფა, რომლის დროსაც ხდება ორ მშობელი უჯრედის ქრომოსომების გადაკომბინირება) ბაქტერიულ უჯრედს არ ახასიათებს. ეს ნიშნავდა, რომ მთელი გენეტიკური ცვალებადობა, (თუ კი ასეთი იარსებებდა) ვინაიდან ვერ “დაბრალდებოდა მშობელ უჯრედებს შორის გენეტიკური მასალის მიმოცვლას და ახალი გენეტიკური მასალის შექმნას, უნდა “დაბრალდებოდა” მეტაციკლს.

სინამდვილეში აღმოჩნდა, რომ ბაქტერიულ უჯრედს აქვს გენეტიკური მასალის გაცვლის და გადაცემის მექანიზმები: ესენია კონიუგაცია, ტრანსფორმაცია და ტრანსდუქცია. ამ პროცესების შედეგად ბაქტერიული დნმ-ი გადაიტანება დონორი ბაქტერიიდან რეციპიენტ ბაქტერიაში. ეს პროცესები განსხვავდება ერთმანეთისაგან დნმ-ის ტრანსპორტირების წესით, მაგრამ ნებისმიერ შემთხვევაში, თუკი და როდესაც მოხდება გენეტიკური მასალის გადატანა ერთი უჯრედიდან, დონორი უჯრედიდან რეციპიენტ, მიმღებ უჯრედში, ხდება რეკომბინაცია – ანუ ორი ქრომოსომის კომბინირებული შეხამება და ისეთი გენომის “შექმნა” რომელიც მოიცავს ორივე უჯრედის, დნმ-ის გენებს. უჯრედს სადაც მოხდა რეკომბინაცია უწ. რეკომბინანტს. რეკომბინაცია მიმდინარეობს მხოლოდ რეციპიენტულ უჯრედში და რეკომბინანტი იღებს უმეტესობა თვისებებს რეციპიენტი უჯრედიდან, დონორ-უჯრედიდან კი იღებს მხოლოდ გენომის ფრაგმენტებს.

დღესდღეობით ცნობილია რეკომბინაციის სამი ძირითადი სახე:

1. ზოგადი ჰომოლოგიური რეკომბინაცია – რომლის დროსაც “გარედან შემოსული” დნმ რეკომბინირდება უჯრედულ დნმ-თან შესაბამისი უბნების რეციპროკული გაცვლით. ასეთი რეკომბინაციის დროს პარტნიორ უჯრედებს უნდა ქონდეთ ერთნაირი ნუკლეოტიდური თანმიმდევრობა, ანუ უნდა იყვნენ მაქსიმალურად ჰომოლოგიურები. ითვლება, რომ შეწყვილება ხდება ორჯაჭვიანი დნმ-ების დესპირალიზებულ ერთჯაჭვიან უბნებს შორის.
2. საიტ სპეციფიური რეკომბინაცია – ამ პროცესისათვის არ არის საჭირო ჰომოლოგიურობა, მ დროს “გარე” ორჯაჭვიანი დნმ-ის პატარა ნაწილი ერთვება უჯრედის ორჯაჭვიან სპირალში და კარგავს თავის ავტონომიურობას. კლასიკური მაგალითია **λ** ბაქტერიოფაგის ინტეგრაცია ბაქტერიულ გენომში. ხართვა ხდება კონკრეტულ ადგილში (იმიტომ ეწ. საიტ სპეციფიური რეკომბინაცია) სადაც ცილა

ინტეგრაცია იწვევს როგორც ფაგურ ასევე უჯრედული დნმ-ის გაწვევას და გენომების ჯვარედინ შეერთებას.

3. არაჰომოლოგიური “უკანონო” რეკომბინაცია – ამ რეკომბინაციულ პროცესებს, რომლებშიც მონაწილეობენ დნმ-ის სეგმენტები, რომლებსაც არა აქვთ რეალური ჰომოლოგია, ეწ. არაჰომოლოგიური რეკომბინაცია. ისევე, როგორც საიტ სპეციფიური რეკომბინაციები, რეკომბინაციის ეს ტიპიც გახეკუთვნება ინტეგრაციულს – ანუ, ამ შემთხვევაშიც არ ხდება რეალური გაცვლა ინფორმაციის, ხდება გენომში სხვა, არაუჯრედული მასალის ინტეგრაცია. უძველეს შემთხვევაში ასეთ ინტეგრაციას ასორციელებენ IS თანმიმდევრობები. Tn,  $\mu$  ბაქტერიოფაგი, ანუ მიგრირებადი გენეტიკური ელემენტები.

### კონიუგაცია

ანტიბიოტიკების პრაქტიკაში დანერგვამ დასაბამი მისცა კიდევ ერთ მნიშვნელოვან აღმოჩენას – ანტიბიოტიკებისადმი მდგრადობა შეიძლება ნამოყალიბებულიყო მუტაციების შედეგად, რომლებიც ხდება  $10^6$  ერთ შემთხვევაში. მაგრამ ერთხელ შეცვლილი გენეტიკური ინფორმაცია სწრაფად ვრცელდებოდა ერთი ტიპის ბაქტერიებში. შესაბამისად, გაჩნდა აზრი, რომ ბაქტერიებს შეუძლიათ გენეტიკური მასალის გადაცემა ერთმანეთისათვის. ორ უჯრედს შორის პირდაპირი კონტაქტის შედეგად გენეტიკური მასალის გადატანას ეწ. კონიუგაციას. მასალის გადაცემის დროს ერთი ბაქტერიული უჯრედი ასრულებს გამცემის, დონორის (მამრობითი უჯრედის) როლს, მეორე – მიმღების, რეციპიენტის (მდედრობითი უჯრედის) როლს.

ის ფაქტი, კონკრეტული ბაქტერიული უჯრედი დონორია, თუ რეციპიენტი, განისაზღვრება ამ უჯრედში F (ინგ. fertility – ნაყოფიერება) კონიუგაციური პლასმიდის არსებობით. ის უჯრედები, რომლებსაც აქვთ F ფაქტორი, არიან დონორები და აღინიშნებიან  $F^+$  უჯრედებად, მეორე ტიპის უჯრედები, რომლებსაც F ფაქტორი არ აქვთ, არიან რეციპიენტები და აღინიშნებიან  $F^-$  უჯრედებად. F ფაქტორი აკოდირებს სპეციალური პილების (ან ფიმბრიების) სინთეზს, რომლების უშუალოდ მონაწილეობენ კონიუგაციაში. დონორ უჯრედებს აქვთ პილი, ხოლო რეციპიენტებს კი ამ პილის რეცეპტორები. პილების და მათი რეცეპტორების ურთიერთქმედებით ხდება დონორ-რეციპიენტული უჯრედის უშუალო კონტაქტი და კონიუგაციური ხიდაკის ნამოყალიბება. რისი საშუალებითაც გადაეცემა გენეტიკური მასალა, დნმ-ი რეციპიენტულ უჯრედს. კონიუგაციიდ დროს გადადის თვით F ფაქტორიც, ანუ კონიუგაციის შემდეგ, რეციპიენტი უჯრედი ხდება პოტენციური დონორი, კონიუგაციის შემდეგ, მას უკვე თვითონ გააჩნია F ფაქტორი და შეუძლია ის გადასცეს სხვა უჯრედს.

ბაქტერიული ქრომოსომის გადაცემისათვის აუცილებელია F პლაზმიდის დნმ-ის ერთ-ერთი ჯაჭვის გახლეჩა ენდონუკლეაზების მონაწილეობით, რის შედეგადაც დნმ-ის ეს ერთი ჯაჭვი კონიუგაციური ხიდაკის მეშვეობით გადადის რეციპიენტ უჯრედში. შედეგად, დონორშიც და რეციპიენტშიც პლაზმიდური დნმ-ის თითო-თითო ჯაჭვია, რომელზეც მეორე, კომპლემენტარული ჯაჭვის სინთეზი ხდება დნმ-ის სინთეზის უჯრედული აპარატის მეშვეობით, გამოიყენება რა ეს თითო ჯაჭვი მატრიცად.

ისეთ უჯრედებს, სადაც F ფაქტორი ინტეგრირებულია უჯრედულ ქრომოსომაში უწ. Hfr უჯრედებს, ხწორედ ეს უჯრედები ახორციელებენ ეველასზე ევქციურ კონიუგაციას. პლაზმიდის, ანუ F ფაქტორის ინტეგრაცია შებრუნებადი პროცესია და როგორც მოხდა პლაზმიდის ჩართვა, ანუ ინტეგრაცია ბაქტერიულ ქრომოსომაში, ისევე შეიძლება მოხდეს პლაზმიდის ამორთვა, ანუ ექსციზია ქრომოსომიდან და მასში ასეთი უჯრედი Hfr დან გარდაიქმნება ისევ ჩვეულებრივ  $F^+$  უჯრედად. პლაზმიდის ექსციზია იშვიათად ხდება ზუსტად იმავე უბნიდან, სადაც ის თავის დროზე ინტეგრირდა. უმეტეს შემთხვევაში ამორთვა ხდება მიახლოებული უბნიდან, მაგრამ ეს ნიშნავს, რომ ამორთული პლაზმიდა თან მიიტაცებს ბაქტერიული ქრომოსომის რაღაც ნაწილს. ასეთ F ფაქტორებს, რომელსაც აქვთ ბაქტერიული დნმის ჩანართი, უწოდებენ  $F'$  ს.

საინტერესოა ის ფაქტი, რომ კონიუგაცია, ანუ მასალის გადაცემა იწყება რაღაც კონკრეტული ადგილიდან და გადაცემის დროს დაკეულია გენების თანმიმდევრობა. ანუ რა თანმიმდევრობითაც არის ჩაწერილი ქრომოსომაში, იმ თანმიმდევრობით გადაეცემა უჯრედიდან უჯრედში. რაც უფრო შორს არის კონკრეტული გენი “ათვლის წერტილიდან” მით უფრო გვიან გადაეცემა ის მეორე უჯრედს ან არ გადაეცემა საერთოდ, ვინაიდან კონიუგაციის მაღლიმიტირებელი ფაქტორები პილების მიერთების მდგრადობაა და თუ რაიმე მიზეზით პილის და მისი რეცეპტორის კონტაქტი დაირღვა. კონიუგაცია შეწყდება, რაც ბუნებრივია ძალზე ხშირად ხდება. ბაქტერიულ უჯრედში სრული გენეტიკური მასალის გადაცემას სჭირდება დაახლოებით 2 საათი.

### ტრანსდუქცია

ტრანსდუქციას უწოდებენ დნმ-ის გადაცემას დონორი უჯრედიდან რეციპიენტში ბაქტერიოფაგის მონაწილეობით. როგორც წესი, ამ დროს ფაგს გადაეცემა დნმ-ის მხოლოდ მცირე ფრაგმენტი. გამოყოფენ:

- არასპეციფიურ ტრანსდუქციას – რომლის დროსაც დონორ უჯრედის დნმ-ის ნებისმიერი ფრაგმენტი შეიძლება იქნას გადატანილი რეციპიენტში. ბაქტერიული დნმი ფრაგმენტირდება ფაგით ინფიცირების შედეგად. ბაქტერიოფაგის შეიღვეული თაობების აწყობის დროს ფაგის “თავში” ხვდება ბაქტერიული უჯრედის დნმ

ფრაგმენტი ვირუსული დნმ-ის მაგივრად. სწორედ ასეთი დეფექტური ფაგები იწვევენ ტრანსდუქციას. ასეთი ფაგები შეიცავენ უჯრედულ ან პლაზმიდურ დნმს, მათ არა აქვთ რეპლიკაციის უნარი და მოიცავენ დონორ უჯრედის დნმ-ის “შემთხვევით” ნაწილს.

- **სპეციფიურ ტრანსდუქციას** – ახორციელებს უმეტესად **λ** ბაქტერიოფაგი. რომელიც ეოველთვის ერთვება ბაქტერიული უჯრედის კონკრეტულ უბანში. ექსციზიის დროს, იგი, (როგორც ეს იყო F<sup>+</sup> პლაზმიდის შემთხვევაში) ხშირად მიიტაცებს ბაქტერიულ დნმ-ის ნაწილებს და შემდგომ გადააქვს ის სხვა უჯრედში. ვინაიდან **λ** ბაქტერიოფაგის ჩართვის ადგილი ბაქტერიულ ქრომოსომაში უცვლელია, მას ეოველთვის გადააქვს მხოლოდ კონკრეტული გენები, ის გენები, რომლების გახლავთბულია მისი ჩართვა-ამართვის ადგილთან ახლოს. ასეთ ფაგს არ შეუძლია რეპლიკაცია და აქვს ჰიბრიდული დნმ-ი (ნაწილი თავისი, ნაწილი ბაქტერიული)
- **აბორტული ტრანსდუქციას** – ზოგიერთ შემთხვევებში ფაგებით გადატანილი გენური მასალა არ რეკომბინირებს რეციპიენტული უჯრედის გენურ მასალასთან. იგი არც კი ერთვება უჯრედ რეციპიენტის ქრომოსომაში, არამედ რხება ხაზოვანი დნმ-ური ჩანართის სახით რაღაც პერიოდი, ხოლო შემდგომ უჯრედის გაყოფისას გადაეცემა მხოლოდ ერთ შვილეულ უჯრედს, მომდევნო გაყოფისას კიდევ მხოლოდ ერთ შვილეულ უჯრედს და ასე შემდეგ. ვინაიდან მას რეპლიკაციის უნარი არა აქვს, იგი “იკარგება” თაობებში.

### ტრანსფორმაცია

მე-20ე საუკუნის პირველ ნახევარში გრიფიტის, ევერის, მაკლედის ცდების საფუძველზე დამტკიცდა, რომ გენეტიკური ინფორმაციის მატარებელი (ანუ მატრანსპორტირებელი) შეიძლება იყოს თვით დნმ-ი. ხშირად დადუპული, დიფერენციალური ბაქტერიებისაგან გამოთავისუფლდება დნმ. აღმოჩნდა, რომ მისი მიღება ასეთი სხვადასხვა სახით სხვა ბაქტერიებს შეუძლიათ. როგორც წესი, ნებისმიერი “უცხო” დნმ უჯრედში მოხვედრისთანავე იხლინება ფერმენტებით, ანუ ხდება მისი გაუვნებელიყოფა. მაგრამ რიგ შემთხვევებში ასეთი უცხო დნმ შესაძლოა ინტეგრირებული იქნას ბაქტერიის გენომში. წარმოშობის მიხედვით ეს შეიძლება იყოს როგორც ბაქტერიული ქრომოსომა, ასევე პლაზმიდა.

ტრანსფორმაცია მიმდინარეობს სამ ეტაპად:

1. დნმ-ის ადსორბცია ბაქტერიული უჯრედის კედელზე,
2. დნმ-ის ფერმენტული გახლეჩვა და მისი პატარ პატარა ფრაგმენტებად დაყოფა

3. ამ ფრაგმენტების შედგენა უჯრედში და დნმის ერთ-ერთი ჯაჭვის დაშლა. ყოველ ეტაპს აქვს თავისი შემზღუდავი მომენტები. უპირველეს ყოვლისა აღსორბცისა. ბაქტერიულ უჯრედთან ვერ მოხდება დნმ-ის დაკავშირება თუ უჯრედის მემბრანასზე არ არის სპეციალური მადალაფინური რეცეპტორები, რომლებიც იკავშირებენ დნმ-ის მოლეკულას. ასეთი მადალაფინური რეცეპტორები არა აქვს ყველა ბაქტერიას. უძველესად ბაქტერიული უჯრედი იღებს იმ სხვა ბაქტერიის დნმ-ს, რომელიც მისთვის ჰომოლოგიურია და რეკომბინაციაც ხდება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც ადგილი აქვს ჰომოლოგიას. ასეთ არსებობას ეწ. კომპეტენცია. უჯრედის კედელთან დაკავშირების პროცესი შექცევადია და დამოკიდებულია იონურ ძალებზე. პრინციპში, მაკროორგანიზმში ასეთი დაკავშირება ხდება მუდმივად, იმიტომ რომ, სახიციოცხლო არეში ბევრია როგორც მომქმედი, ასევე დაშლილი ბაქტერიები. მაგრამ თუ უჯრედი არ არის კომპეტენტური, აღსორბცია ვერ მოხდება და დროებით დაკავშირებული დნმ ისევ მოსწყდება უჯრედს. კომპეტენცია დამოკიდებულია უჯრედის ფიზიოლოგიურ მდგომარეობაზეც. ის ყველაზე მაღალია ბაქტერიის ექსპორტენციულური ზრდის შუა პერიოდში, შემდეგ კი სწრაფად დადის მინიმუმამდე. უჯრედის კომპეტენციის ხელოვნურად გამოწვევა შეიძლება მისი კალციუმის ქლორიდით დამუშავების შემთხვევაში.

იმის შემდეგ, რაც დნმ გადაიტანება უჯრედის შიგნით, წარმოიქმნება შეუქცევადი კავშირი შიდა მემბრანასა და დნმს შორის. დნმი აღწევს უჯრედში ერთჯაჭვისა ხაზით და ასეთივე ხაზით ინტეგრირდება ბაქტერიულ ქრომოსომაში, “გამოადიკვებს”, რა კონკრეტული უბნის დნმ-ის ნატიურ ერთ ჯაჭვს.

ნებისმიერი ტიპის “უცხო” სახის დნმ-ს ბაქტერიული უჯრედი ებრძვის თავისი თავდაცვის სისტემით - ფერმენ ენდონუკლეაზით, რომელიც ბაქტერიის მიერ სინთეზირდება დნმ-ის მოლეკულის გასახლეჩად (ამით იგი აუვნებელყოფს დნმს). ამ ფერმენტებს ასევე უწოდებენ *რესტრიქციულ (შემზღუდავ) ენდონუკლეაზებს*, ხოლო მოვლენას კი – *რესტრიქციას*.

ასევე ბუნებრივია, რომ ბაქტერიულმა უჯრედმა თავისი დნმ უნდა დაიცვას ამავე ფერმენტების ზემოქმედებისაგ და ამას ახერხებს კიდევ საკუთარი დნმ-ის კონკრეტული ფუძეების მეთილირებით ან გლუკოზილირებით. ამ მოვლენას კი ეწ. *მეთილირაცია*.

## ლექცია 9

ქველა ის “აგენტი”, რომლებიც იწვევენ ადამიანის ინფექციურ დაავადებებს მიეკუთვნება ორგანიზმების 5 ძირითად ჯგუფს, ესენია: პრონები, ვირუსები, ბაქტერიები, სოკოები და უმარტივესები და ჰელმინთები, რომელთაც სწორად აერთიანებენ ერთი სახელწოდების – პარაზიტების ჯგუფად.

**პრონები (proteinaceous infectious particle)** – ინფექციური აგენტების შედარებით ახალი კლასი. ცილისმაგვარი ინფექციური ნაწილაკები, რომლებსაც არა აქვთ ნუკლეინის მუცა, ამიტომ მდგრადები არიან ნუკლეაზების, მგრძნობიარეები კი პროტეაზების მიმართ. იწვევენ ლეტალურ ნევროლოგიური ეთიოლოგიის დაავადებებს: არიან სკრეპის, კურუს, ძროხის ცოფის და სხვა დაავადებების გამომწვევები.

**ვირუსები** - უმცირესი არაუჯრედული ნაწილაკები, რომლებსაც აქვთ გენომი. მაგრამ არა აქვთ დამოუკიდებლად გამრავლების უნარი, მათი რეპროდუქცია შესაძლებელია მხოლოდ ცოცხალი უჯრედის შიგნით. ვირუსები შეიცავენ მხოლოდ ერთი ტიპის ნუკლეინის მუცას – ან დნმს ან რნმს. არასდროს ორივეს!

**ბაქტერიები** – ვირუსებზე უფრო დიდ ზომის, შედარებით რთული გენომური ორგანიზაციის, მცირე, პრიმიტიული უბირთვო უჯრედები, რომლებიც შეიცავენ როგორც დნმს ასევე რნმს, რიბოსომებს და ხანდახან მარტივ ორგანელებს. მრავლდებიან ბინარული გაყოფით.

**სოკოები** – რთული უჯრედული ორგანიზაციის, ბირთვიანი მიკრობები, რომლებიც უკვე ეკუთვნიან ეუკარიოტებს, შეიცავენ ორგანელებს, ახასიათებთ სქესობრივიც და უსქესო გამრავლებაც. აქვთ დამახასიათებელი ზრდა და რთული მეტაბოლიზმი.

### **პარაზიტები**

- **უმარტივესები** – მიკროსკოპული ერთუჯრედიანი დამოუკიდებელი ეუკარიოტული ორგანიზმები, წარმოდგენილი მრავალფეროვანი მიკრობებით, რთული სასიცოცხლო ციკლით და ძლიერი ინფექციური ტვისებებით
- **ჰელმინტები** – მრავალუჯრედიანი ორგანიზმები, რომელთა ზომები ვარირებს მიკროსკოპულიდან რამდენიმე მეტრამდე, რომლებსაც ახასიათებთ ძაღზე რთული სასიცოცხლო ციკლი და აქვთ სრულად ეუკარიოტული უჯრედები, რთული გენომით და ა. შ.

ტერმინი ვირუსი (ლათ. Virus შხამი) თავდაპირველად გამოიყენებოდა სხვადასხვა დაავადებების გამომწვევი შეუსწავლელი აგენტების მიმართ, რომლებიც იოლად გადიოდნენ ბაქტერიულ ფილტრებში.

ვირუსები ბაქტერიებისაგან განსხვავდებიან რიგი თავისებურებებით:

1. ისინი შეცავენ მხოლოდ ერთი ტიპის ნუკლეინის მჟავას ან რნმს, ან დნმს და არასდროს ორივეს!
2. მათი რეპროდუქციისათვის აუცილებელი და საკმარისია მხოლოდ ნუკლეინის მჟავა,
3. მათ არა აქვთ დამოუკიდებელი გამრავლების უნარი, არ გააჩნიათ ცილის მასინთეზირებელი სისტემები, მათი ცხოველქმედებისათვის აუცილებელია ცოცხალ პატრონ უჯრედში არსებობა,
4. მათ არა აქვთ უჯრედული აგებულება.

უჯრედული მექანიზმები საჭიროა როგორც ვირუსული ნუკლეინის მჟავის რეპლიკაციისათვის, ასევე ვირუსული გარსის ცილების სინთეზისათვის. ვირუსის განვითარება იწვევს პატრონ უჯრედის დაღუპვას. უჯრედის გარეთ ვირუსი არსებობს ვირუსული ნაწილაკის – ვირიონის სახით, რომელიც შედგება ნუკლეინის მჟავისა და ცილოვანი გარსის – კაპსიდისაგან. ამიტომ, ვირუსულ ნაწილაკს ასევე ეწოდებენ ნუკლეოკაპსიდს.

ვირუსები წარმოადგენენ ცოცხალი მატერიის უმცირეს ფორმებს. გარკვეული გაგებით ისინი არიან არა ცოცხალი ორგანიზმები, არამედ ნუკლეოპროტეიდები, რომლებიც იჭრებიან უჯრედში და იქ წარმოქმნიან შეიღვეულ თაობებს.

ვირუსები აინფიცირებენ და აზიანებენ პრაქტიკულად ყველა ცოცხალ ორგანიზმებს:

- ბაქტერიებს – მათ ვირუსებს ბაქტერიოფაგები ეწოდებად
- მცენარეებს – ფიტოვირუსები
- ცხოველებს

### ვირუსების მორფოლოგია

ტიპიური ვირიონი შედგება ნუკლეინის მჟავისა და ცილოვანი გარსის - კაპსიდისაგან

### ვირუსული ნუკლეინის მჟავა

ვირუსები ჰაპლოიდური ორგანიზმებია, ანუ ისინი შეიცავენ გენების ერთ ნაკრებს. გამონაკლისებია რეტროვირუსები, რომლებიც არიან დიპლოიდურები. ვირუსული დნმ-ი შეიძლება იყოს ერთ ან ორჯაჭვიანი, უმეტესად ცირკულარული ფორმის (თუმცა შეიძლება ხაზოვანი ფორმითაც იყოს წარმოდგენილი ან იყოს

ფრაგმენტირებული), რასაც ხელს უწყობს დნმ-ის მოლეკულის ორივე ბოლოზე არსებული ინვერტირებული განმეორებითი თანმიმდევრობები. რამდენადაც საშუალებითაც ვირუსული დნმ “იკვრება”. დნმ-ი ყოველთვის ერთ მოდულს მოლეკულად არის წარმოდგენილი.

ვირუსული რნმ-ი წარმოდგენილია ერთ ან ორჯაჭვიანი მოდულიანი ან დიფერენცირებული მოლეკულებით. ერთჯაჭვიან რნმ-ებში არსებობს (-) და (+) პოლარობის მქონე მოლეკულებს.

რნმ-ის + ჯაჭვი, ანუ პოზიტიური გენომი გულისხმობს იმას, რომ რნმ-ის ასეთ მოლეკულას შეუძლია უშუალოდ მოახდინოს გენეტიკური მასალის ტრანსლირება რიბოსომებზე ანუ ასრულებს ინფორმაციული/მატრიცული რნმ-ის ფუნქციას. ასეთი +რნმ-ები გამოირჩევიან სახასიათო Cap სტრუქტურებით ბოლოებზე.

ხოლო – რნმ კერ ფუნქციონირებს როგორც ინფორმაციული რნმ-ი და ძირითადად “გამოიყენება” როგორც მატრიცა + ჯაჭვის სინთეზისათვის. ე. ი. აქვს სინთეზირდება რნმ-ის + ჯაჭვი, ხოლო მერე ხდება ტრანსლაცია რიბოსომებზე.

ბევრი ვირუსული ნუკლეინის მუკავა “ინფექციურია” თავისთავად ეს იმას ნიშნავს, რომ ის შეიცავს სრულ გენეტიკურ ინფორმაციას საკმარისს ახალი ვირუსული ნაწილაკების სინთეზისათვის.

უმეტეს შემთხვევაში ასეთი ინფექციურები არიან + რნმ -იანი და დნმ შემცველი ვირუსები.

## კაპსიდი

ვირუსების კაპსიდი წარმოადგენს ცილოვან კაპსულას, შემდგარს განმეორებადი სუბერთეულების გარკვეული რიცხვისაგან, ხშირად გარშემორტყმულს გარსით.

კაპსიდის ძირითადი ფუნქციაა დაიცვას ვირუსული გენომი სხვადასხვა ზემოქმედებისაგან, უზრუნველყოს ვირუსის პატრონ უჯრედზე ადსორბცია და მასში შეღწევა რეცეპტორული მექანიზმების საშუალებით.

კაპსიდს ქმნიან აგებულებით იდენტური სუბერთეულები კაპსომერები, რომლებიც ორგანიზებული არიან სიმეტრიულ კონსტრუქციებად. არსებობს ორი ტიპის სიმეტრია: იკოსაედრული (მას ხშირად კუბურსაც უწოდებენ) და სპირალური.

სპირალური სიმეტრიის ნუკლეოკაპსიდის შემთხვევაში კაპსომერებიც და ნუკლეინის მუკავაც “მიყვება” და “იხვევა” ერთი როტაციული ღერძის სიმეტრიის მიხედვით და

ვირუსს უმეტესად ჩხირის ფორმა ეძლევა, ხოლო იკოსაედრული სიმეტრიის დროს ნუკლეინის მუკავა მოუწესრიგებლად არის დაპრესილი კაპსიდის შიგნით და თვით ვირუსს კი სფერული, დილისებური ანდა სხვა ფორმები ეძლევა.

## გარსი

ზოგიერთი ვირუსის ნუკლეოკაპსიდები გარშემორტყმულია გარსით, რომელიც შედგება ლიპიდების ორმაგი შრისაგან, ვირუსსპეციფიური ცილებისაგან და მაკროორგანიზმების პატრონ უჯრედების უჯრედული მემბრანისაგან მიცაწყებული ნაწილაკებისაგან. პატრონ უჯრედის კომპონენტები უერთდება ვირუსულ ნაწილაკს მის მიერ უჯრედის ბირთვის მემბრანის, ენდოპლაზმატური ბადის, გოლჯის კომპლექსის ან ციტოპლაზმური მემბრანის გავლის შემდეგ.

ვირუსსპეციფიური ცილებიდან აღსანიშნავია:

- გლიკოპროტეინები, რომლებიც ურთიერთქმედებენ უჯრედულ რეცეპტორებთან და მათ დიდი როლი ენიჭებად ვირუსის ინფექციურობაში.
- მატრიქსული M ცილებისაგან, რომლებიც წარმოადგენენ სტრუქტურულ შრეს, “ამოგებულები” არიან გარსის შიგნითა მხრიდან და დაკავშირებული არიან ნუკლეოკაპსიდთან.

გარსი ვირუსს გარკვეულ “არასტაბილურობას” ანიჭებს, ვინაიდან გარსიანი ვირუსები უფრო მგრძობიარენი არიან ტემპერატურის, დეტერგენტის, სპირტების მიმართ.

## ვირუსული ცილები

ძალიან ბევრ ვირუსს აქვს უნარი გამოიწვიოს ერთროციტების აგლუტინაცია. ასეთი ჰემაგლუტინაციის უნარი განპირობებულია კაპსიდის ან გარსის ცილების მოქმედებით.

ბევრ ვირუსს ასევე გააჩნია ფერმენტები, მათ შორის არხევენ:

1. ფერმენტებს, რომლებიც მონაწილეობენ რეპლიკაციასა და ტრანსკრიპციაში
2. ფერმენტებს, რომლებიც უზრუნველყოფენ ვირუსული ნუკლეინის მჟავების უჯრედში შეღწევას ან/და შვიდგეული პოპულაციების პატრონ უჯრედიდან გამოღწევას
3. არსებობენ ვირუსული პოლიმერაზები – ნუკლეინის მჟავების რეპლიკაციის უმთავრესი ფაქტორები
4. და ვირუსული პროტეაზები – რომლების ახორციელებენ დიდი მოლეკულების გახლეჩვას.

ზოგიერთ ვირუსს აქვს უნარი გამოიყენოს აგრეთვე პატრონ უჯრედის ფერმენტული სისტემა თავის სასარგებლოდ.

## ვირუსმაკვარი აციპიური აგენტები

არსებობს 4 ძირითადი “გამონაკლისი” ტიპური ვირუსებისაგან:

1. **დეფექტური ვირუსები** – ისინი, როგორც ტიპიური ვირუსები, შედგებიან ნუკლეინის მჟავისა და ცილებისაგან, მაგრამ მათ უჯრედის შიგნითაც არ შეუძლიათ გამრავლება “დამხმარე” (helper) ვირუსის გარეშე, რომელიც “ავსებს” ფუნქციურად დეფექტურ ვირუსს. როგორც წესი, დეფექტური ვირუსები არიან დელეციის ან მუტაციის შედეგი. ასეთი ვირუსების შეფარდება ხორმალურ ვირუსებთან 100:1 – ზეა. ასეთი დეფექტური ვირუსის კლასიკური მაგალითია **δ** ჰეპატიტის ვირუსი, რომელიც თუ უჯრედი არ არის მასთან ერთად ინფიცირებული B ჰეპატიტის ვირუსით, ვერ მრავლდება და ვერ იწვევს ინფექციურ პროცესს.
2. **ფსევდოვირიონები** – შეიცავენ ვირუსული დნმ-ის ნაცვლად პატრონ უჯრედის დნმ-ს. ეს “შეცდომა” ხდება ინფექციის დროს, როდესაც პატრონ უჯრედის დნმ-ი ფრაგმენტირებულია და “შემთხვევით” ხდება ასეთი ფრაგმენტების კაპსიდის შიგნით მოხვედრა. ფსევდოვირიონებს შეუძლიათ უჯრედის ინფიცირება, ამაგრამ არ შეუძლიათ რეპლიცირება.
3. **ვიროიდები** – შეიცავენ ერჯაჭვიანი ცირკულარული რნმ-ის სუპერსპირალიზებულ ერთ მოლეკულას, რომელიც არ კოდირებს ცილებს. ისინი ხშირად იწვევენ მცენარეების დაავადებებს.
4. **პრიონები** – ინფექციური ცილისმაგვარი აგენტები, რომლებიც არ შეიცავენ არანაირ ნუკლეინის მჟავას, ამის გამო საკმაოდ მდგრადები არიან ტემპერატურის, გამოსხივების და სხვ ფიზ. – ქიმ მოქმედებების მიმართ. პრიონების მიერ გამოწვეული ინფექციების ყველაზე პოპულარული მაგალითია “ძროხის ცოფი”. საინტერესოა, რომ პრიონები, ანუ პრიონული ცილები-კოდირდება ისეთი გენებით, რომლებიც წარმოდგენილია ხორმალურ ცხოველურ უჯრედებში და გარკვეულ რეგულატორულ ფუნქციებსაც ასრულებენ. შესაძლოა, ამით არის განპირობებული ის ფაქტი, რომ იმუნური სისტემა ხშირ შემთხვევებში ტოლერანტულია პრიონული ცილის მიმართ.

### ვირუსების გამრავლება

ვირუსის მასპინძელ უჯრედთან ურთიერთქმედება რთული მრავალსაფეხურიანი პროცესია. უმეტესობა ვირუსების რეპლიკაციური ციკლის რეაღიზაცია განისაზღვრება ინფექციურ აგენტსა (ამ შემთხვევაში ვირუსს) და მგრძობიარე უჯრედს (რომელსაც აქვს შესაბამისი რეცეპტორები კონკრეტული ვირუსის მიერთებისა და შეღწევისათვის) შორის გარკვეული ბაღანის პირობებით. ურთიერთქმედება ვირუსი – უჯრედი მიმდინარეობს ან ლითიური გზით, რის

შედგებადაც უჯრედი იღუპება ან სტაბილური ურთიერთობების გზით. შედეგი ამ ურთიერთობებისა არის ან პროდუქციული, ან აბორტული, ან ინტეგრაციული. პროდუქციულის დროს ადგილი აქვს ვირუსის გამრავლებას, რეპროდუქციას, ხოლო ინტეგრაციული ფორმის დროს – ვირუსის ნუკლეინის მუავის ინტეგრაციას უჯრედის გენომში, შენახვას და მის გადაცემას შთამომავლობაში. აბორტული ფორმისას ადგილი აქვს ვირუსის რეპროდუქციის დარღვევას. ძვირფასი რუსული ლიტერატურა დასაბუთება გვ 70

უმეტეს შემთხვევაში უჯრედ – ვირუსის ურთიერთქმედებას არის პროდუქციული, აქვს ლითიური ხასიათი და მთავრდება პატრონ უჯრედის დაღუპვით. ეს ციტოპათოგენური ეფექტი რეალიზდება მხოლოდ მას შემდეგ, როდესაც უჯრედის შიგნით მოხდება ვირუსების შეიღვეული თაობების სრული ნუკლეოკაპსიდების აწეობა. ვირუსის გამრავლებაში იგულისხმება ვირუსის “ჩანერგვა” მის მიმართ მგრძობიარე უჯრედებში, ვირუსებს ახასიათებთ “ტროპიზმი”, ანუ მიდრეკილება გრაკვეული ტიპის უჯრედებისადმი ან ქსოვილებისადმი. ვირუსის “ჩანერგვის” შემდეგ ხდება მისი გენეტიკური მასალის და ცილების რეპროდუქცია, ვირუსის შეიღვეული თაობის აწეობა და ინფექციის გამომწვევეუნარიანი თაობის გამოთავისუფლება უჯრედიდან.

ვირუსის ლითიური ციკლის მიმდინარეობისას არხევენ რამდენიმე ფაზას:

- ვირუსის აღსორბცია უჯრედზე – ეს არის შექცევადი პროცესი და წარმოადგენს ვირუსისა და უჯრედის შემთხვევით “შეჯახების” შედეგს.  $10^3$  -  $10^4$  შემთხვევიდან მხოლოდ ერთ შემთხვევაში ხდება უჯრედისა და ვირუსის დაკავშირება ერთმანეთთან. დაკავშირება ხდება მხოლოდ სპეციფიური რეცეპტორების არეობის შემთხვევაში უჯრედის ზედაპირზე. მაგ: ცოფის ვირუსის შემთხვევაში ეს აცეტილქოლინის რეცეპტორია ხერვულ უჯრედებზე, ეპშტეინ – ბარის ვირუსის შემთხვევაში – კომპლემენტის რეცეპტორი B ლიმფოციტებზე. აღსორბციის პროცესი იონდამოკიდებელია უჯრედსა და ვირუსს შორის ხდება იონური მიზიდულობა, რომლის შედეგადაც ვირუსი ფიზიკურად უერთდება უჯრედზე სპეციფიურ რეცეპტორს. აღსორბციის პროცესს ასევე ახასიათებს ქსოვილოვანი სპეციფიურობა, მაგ; პოლიოვირუსები აღსორბირდება მხოლოდ ადამიანისა და პრიმატების კუჭ-ნაწლავის ტრაქტის ან ცენტრალური ნერვული სისტემის უჯრედებზე.
- შეჭრა და “გახლა” – აღსორბციის შემდეგ ვირუსი აღწევს უჯრედში, სადაც ხდება მისი ნაწილობრივი დეპროტეინიზაცია. პროცესი დამოკიდებულია ტემპერატურაზე და შეიძლება მიმდინარეობდეს პინოციტოზის გზით ან ვირუსისა და უჯრედის მემბრანების შერწყმით. როგორც წესი უჯრედში

გადაიტანება ან მოელი ვირუსი, ან მისი სუბსტრუქტურა, რომელიც შეიცავს ვირუსულ გენომს და რამდენიმე ვირუსულ ცილას, საჭიროს და საკმარისს პირველადი ტრანსკრიპციისათვის. იმისათვის, რომ ვირუსმა მთავრის უჯრედში შეჭრა, საჭიროა, რომ არც უჯრედის ციტოპლაზმაში და არც შემდგომ ბირთვში არ იყოს ვირუსის დამშლელი ფერმენტები. ვირუსის ნუკლეინის მუკისაგან კაპსიდის ცილების მოშორებას უწოდებენ ვირუსის “გახდას”.

- ვირუსის “გახდიდან” მის პირველად რეპლიკაციამდე გადის გარკვეული პერიოდი, ფარული ანუ ეკლიპს პერიოდი, რომელიც ეთმობა ვირუსის ნუკლეინის მუკის ინტეგრირებას უჯრედის გენომში. უჯრედის ტრანსკრიპციული სისტემის “გადაწყობას” ვირუსის ტრანსკრიპციაზე და ა. შ. იმის და მიხედვით ვირუსი დნმ შემცველია თუ რნმ შემცველი. რნმ-ის + თუ – ჯაჭვია წარმოდგენილი, რეპლიკაცია სხვადასხვანაირად მიმდინარეობს. ხშირად პატრონ უჯრედის დნმ ან რნმ პოლიმერაზას გამოყენებით. ხოლო კი თვით ვირუსის პოლიმერაზას საშუალებით.
- ვირუსის აწეობა – ტრანსლაციის დროს პირველად წარმოიქმნება პროდუქტები, რომლებიც არეგულირებენ რეპროდუქციას ფერმენტები და რეგულატორული ცილები. უფრო გვიან სინთეზირდება, ის ცილები, რომლებიც უზრუნველყოფენ შვილეული პოპულაციების აწეობას. ვირუსის გენომის აწეობის ადგილი უჯრედში შეიძლება სხვადასხვა იყოს. ჯერ ნუკლეინის მუკა უკავშირდება კაპსიდის ცილებს, შემდგომ, კი, თუ ვირუსი გარსიანია, ნუკლეოკაპსიდი უკავშირდება უჯრედის ციტოპლაზმურ მემბრანაში სპეციფიურ ლოკუსებს, რომლებიც უზრუნველყოფენ ვირუსის გარსის წარმოქმნას.
- გამოყოფა ხდება რამდენიმენაირად - თუ ვირუსი “შიშველია”, ანუ უგარსო, მისი ნაწილაკები გროვდება უჯრედში და უჯრედის დაშლის შედეგად გამოიყოფა. უჯრედი კი თავის მხრივ იღუპება, იმიტომ რომ, ხდება მისი ნუკლეინის მუკების, ცილების და ლიპიდების სინთეზის დათრგუნვა, უჯრედის ციტონიჩის დეზორგანიზაცია, მემბრანის სტრუქტურის შეცვლა. მემბრანის გახლეჩვის შემდეგ იზრდება უჯრედის განვლადობა და ლიზოსომიდან გამოთავისუფლდება პროტეოლიტური ფერმენტები. ხოლო თუ ვირუსი გარსიანია, მაშინ გამოყოფა ხდება “დაკვირვით”.

ვირუს/უჯრედის ინტეგრაციული ურთიერთქმედების დროს დნმ და რნმ შემცველი ვირუსები სხვადასხვაგვარად მოქმედებენ. თუ დნმ-ის შემცველი ვირუსის შემთხვევაში ვირუსული დნმ მარტივად ერთვება უჯრედის გენომში, რნმ შემცველ ვირუსებთან

სხვა ვითარებაა. უჯრედულ გენომში ვერ ჩაერთვება რნმ-ი. საჭიროა დეზოქსირიბო ნუკლეინის მუავის არსებობა და არა რიბონუკლეინის მუავისა, დნმ და რნმ მნიშვნელოვნად განსხვავდება ერთმანეთისაგან როგორც ქიმიურად, ასევე მორფოლოგიურად. 1970წელს ამერიკელმა მეცნიერებმა ბალტიმორმა და ტემინმა დაადგინეს, რომ რნმ შემცველ ვირუსებს აქვთ ფერმენტი რნმ დამოკიდებული დნმ პოლიმერაზა (იგივე რევერტაზა, ანუ უკუტრანსკრიპტაზა), რომელიც ვირუსულ რნმ-ს იყენებს მატრიკად, მასზე ასინთეზირებს დნმ-ის მოლეკულას, რომელიც ინკორპორირდება უჯრედულ გენომში. ვირუსსა და უჯრედს შორის ინტეგრაციული ტიპის ურთიერთქმედების ბიოლოგიური არსი მდგომარეობს უჯრედულ გენომში ვირუსული ინფორმაციის შენახვასა და ამ ინფორმაციის შთაძიძველობით გადაცემაში.

უჯრედებზე ვირუსების ზემოქმედება შეიძლება დამთავრდეს:

1. უჯრედის დაღუპვით, ვინაიდან ვირუსით ინფიცირების და მისი რეპროდუქციული ციკლის განხორციელებისას წყდება უჯრედული ცილებისა და სხვა მაკრომოლეკულების სინთეზი, ვირუსების აწეობის შემდეგ კი საერთოდ ირღვევა უჯრედის სტრუქტურა,
2. აშკარა მორფოლოგიური ცვლილებების გარეშე. ასეთ შემთხვევებში ვირუსით ინფიცირებული უჯრედები ინარჩუნებენ სიცოცხლისუნარიანობას და მრავლდებიან კიდევ,
3. უჯრედების შერწყმით და გიგანტური ორ და მრავალბირთვიანი უჯრედების წარმოქმნით, რაც განპირობებულია უპირველეს ყოვლისა უჯრედების პლაზმური მემბრანების რღვევით და პერფორაციით. ესეთი პროცესი დამახასიათებელია ისეთი ვირუსული ინფექციებისათვის, როგორცაა: ჰერპესვირუსები, პარამიქსოვირუსები, რეტროვირუსები,
4. სიმსივნური ტრანსფორმაციით – განსაკუთრებით ხშირად ეს ხდება ორბირთვიანი უჯრედების, დიკარიონების წარმოქმნის შემთხვევაში. სიმსივნური ტრანსფორმაცია ხასიათდება უჯრედის უკონტროლო პროგრესული ზრდით და კონკრეტული მორფოლოგიური ცვლილებებით.

## ლექცია 10

### ბაქტერიოფაგი

თავდაპირველად მე19ე საუკუნის ბოლოს და მე20ე საუკუნის დასაწყისში, როდესაც პირველად იქნა აღმოჩენილი ბაქტერიოფაგი, ამ ტერმინს “ბაქტეოფაგი” ანუ “ფაგი” ხმარობდნენ შეუსწავლელი უხილავი ბაქტერიული ანტიგონისტის აღსაწერად, რომელიც იწვევდა ბაქტერიული უჯრედების ლიზირებას. ბაქტერიოფაგების აღმოჩენებად ითვლებიან ინგლისელი მეცნიერი ტუორტი და ფრანგი ფ. დ'ერელი. ბაქტერიოფაგების კვლევაში დიდი წვლილი მიუძღვის ქართველ მიკრობიოლოგს გ. ელიავას, ვის სახელსაც ატარებს ქ. თბილისში მდებარე ბაქტერიოფაგის სკ ინსტიტუტი.

როგორც ავნიშნეთ, ბაქტერიოფაგი არის ბაქტერიის ვირუსი. ფაგების კლასიფიკაციისადმი მიდგომა იდენტურია ვირუსების კლასიფიკაციისა და ეყრდნობა ფაგების მორფოლოგიას, ანტიგენურ სტრუქტურას, მოქმედების სპექტრს და სხვ. ვირუსებთან შედარებით ფაგები უფრო გამძლენი არიან სხვადასხვა ფიზიკურ ქიმიური ფაქტორების მიმართ. უმეტესობა უპრობლემოდ უძლებს დეზინფექტანტების (ფორმალინის გარდა), ულტრაიისფერი გამოსხივების და მაღალი ტემპერატურების ზემოქმედებას.

ინტეგრაციული ინფექციის მოვლენა პირველად სწორედ ფაგებისა და ბაქტერიული უჯრედის სისტემაში იქნა აღმოჩენილი და ლიზოგენიის სხელწოდება მიიღო.

უმეტესობა ფაგების გენეტიკურ მასალას წარმოადგენს ან ორჯაჭვიანი დნმ (უმეტესობა ფაგებში), ან ერთჯაჭვიანი დნმ, ანდა ერთჯაჭვიანი რნმ-ი. მოქმედების სპექტრის მიხედვით ასხვავებენ ტიპურ ფაგებს - T ფაგებს, რომლებიც იწვევენ ბაქტერიების სახეობის შიგნით ცალკეული ტიპების (ვარიანტების) ლიზისს, მონოვალენტურ ფაგებს, რომლებიც იწვევენ ერთი სახეობის ბაქტერიების ლიზისს, და პოლივალენტურ ფაგებს, რომლებიც იწვევენ რამდენიმე სახეობის ბაქტერიის ლიზისს.

### ფაგების მორფოლოგია

ფაგების სტრუქტურას უმეტესად იხილავენ ხოლმე T ბაქტერიოფაგის მაგალითზე. ფაგი შედგება თავისა და კუდისაგან.

ფაგის თავი წარმოიქმნება ცილოვანი მოლეკულებისაგან, რომლებიც კონსტრუირებულნი არიან იკოსაედრული სიმეტრიის ტიპზე. მისი ზომა დაახლოებით 100 ნმ-ია აქვს, იგი რიგიდულია და მასში მოთავსებულია დნმ-ური კესიმი

ორჯაჭვიანი დნმ, რიგი ფერმენტები და ცილები, რომლების პასუხს აკებენ დნმ-ის სუპერსპირალიზაციაზე.

ფაგის კუდი – ეს არის ასევე 100 – 250 ნმ სიგრძის წანახარდი, რომელიც შედგება თვით კუდის “ღერძისაგან” და მასზე შემოხვეული კუმშვადი შაღითისაგან. შაღითა მოიცავს 120 -140 ცილოვან მოლეკულას, რომელთაგანაც ყოველი, თავის მხრივ, შეიცავს 1 ატფ-ის მოლეკულას და კალციუმის იონებს. კუდის ბოლოში მოთავსებულია ექვსკუთხოვანი ბაზალური გირფიტა 6 – 6 წანახარდით (ფიბრილით) და შვერილებით, და ფერმენტ ლიზოციმის მარაგით.

მორფოლოგიისა და გენეტიკური მასალის არსებობის მიხედვით არჩევენ 5 ტიპის ფაგებს:

- I – ლიზოგენურ, დნმ შემცველ ფაგებს, რომლებიც ურთიერთქმედებენ პლაზმიდშემცველ ბაქტერიებთან,
- II – რნმ შემცველ რუდიმენტული კუდის მქონე ფაგებს
- III – მოკლე წანახარდის მქონე ფაგებს
- IV – არაკუმშვადი კუდის მქონე ორჯაჭვიანი დნმ-ის მქონე ფაგებს
- V – დნმ შემცველ, კუმშვადი კუდის და ბაზალური ფირფიტის მქონე ფაგებს.

ფაგების მორფოლოგიას უმეტესად იხილავენ ამ უკანასკნელი ჯგუფის მაგალითზე.

ბაქტერიოფაგის ურთიერთქმედება ბაქტერიულ უჯრედთან ძალზე სპეციფიურია. ფაგების მიერ ბაქტერიული უჯრედის ინფიცირება ძირითადად ხასიათდება იმავე სტადიური თანმიმდევრობით, რაც განხილული იყო ვირუსების შემთხვევაში:

1. ადსორბცია – ისევე როგორც ნებისმიერი ვირუსის შემთხვევაში, ფაგიც უხდა ადსორბირდეს შესაბამის ბაქტერიულ უჯრედზე. ადსორბცია დამოკიდებულია ბაქტერიულ უჯრედზე შესაბამისი ზედაპირული სტრუქტურების არსებობაზე, რომლებიც მოქმედებენ როგორც რეცეპტორები ფაგებისათვის. ეს რეცეპტორები განლაგებულია ან ლიპოპრეტინულ ან ლიპოპოლისაქარიდულ შრეში. საყურადღებოა, რომ ბაქტერიებზე, რომლებსაც არა აქვთ უჯრედული კედელი (L ფორმები, პროტოპლასტები) ფაგები ვერ ადსორბირდებიან. ზოგიერთი ფაგი რეცეპტორად იყენებს F პილებს, წარმოდგენილს ბაქტერიულ უჯრედზე. გარდა რეცეპტორებისა ფაგის ადსორბცია ბაქტერიულ უჯრედზე დამოკიდებულია pH , ტემპერატურაზე და სხვა ფაქტორებზე. ერთ ბაქტერიულ უჯრედზე შეიძლება ადსორბირდეს 200-300 ფაგი. ადსორბცია ხორციელდება ბაზალური მემბრანისა და მასზე არსებული წანახარდებისა და შვერილების დაკავშირებით ბაქტერიული უჯრედის კედელთან. ფაგი ამ შვერილით და წანახარდებით ეჭიდება ბაქტერიულ უჯრედს, ხოლო ბაზალური მემბრანით კი “ფიქსირდება” ზედაპირზე.
2. ვირუსული (ფაგური) დნმ-ის შესვლა უჯრედში – ადსორბციის შემდეგ ხდება ბაზალური მემბრანიდან ფერმენტ ლიზოციმის გამოთავისუფლება, რომელიც

იწვევს უჯრედის კედლის იმ უბნის დაშლას სადაც მიერთებულია ფაგი. ამავდროულად ხდება კუდის შალითიდან კალციუმის იონების გამოთავისუფლება, რაც ააქტივებს ფერმენტ ატფ-აზას და მისი მოქმედებით შალითა ატფ-ის (ანუ ენერჯის) გამოყენებით იკუმშება და შეჰყავს კუდის “ღერძი” უჯრედის კედელში. ამის შემდეგ კუდის გავლით ფაგური დნმ შეიყვანება ბაქტერიულ უჯრედში. როგორც შპრიცით ორგანიზმში შეგვყავს რაიმე წამალი.

3. ფაგის რეპროდუქცია – ინექცირებული ფაგის დნმ უჯრედში მხოვედრისთანავე იწვევს მთელი უჯრედის მეტაბოლიზმის გადართვას თავის თავზე. შესვლიდან 2-30წთ განმავლობაში ფაგი არანაირად არ ვლინდება ბაქტერიულ უჯრედში ეს არის ეკლიპსური ანუ ლატენტური პერიოდი. ამის შემდგომ იწყება ფაგის დნმ-ის რეპლიკაცია და ფაგის ცილების სინთეზი.
4. აწყობა – ფაგის თავი, კუდი, დნმ და სხვა ნაწილები სინთეზირდება ბაქტერიული უჯრედის სხვადასხვა უბნებში, ამიტომ შემდგომში ფაგის შვილეული თაობების აწყობას სჭირდება გარკვეული დრო, სანამ ყველა ნაწილი “იპოვის” და მიუერთდება ერთმანეთს.
5. ფაგების აწყობის შემდეგ ხდება მათი გამოსვლა, ანუ გამოთავისუფლება ბაქტერიული უჯრედიდან, რასაც რასაკვირველია თან მოყვება ამ უჯრედის დაღუპვა. ახალი ვირიონების რაოდენობა მეტ ნაკლებად სტაბილურია ფაგების სხვადასხვა სახეობებისათვისაც კი და მას უწოდებენ ფაგის “გამოსავლიანობას”.

აღწერილი ციკლი რასაკვირველია მიეკუთვნებოდა ლითიურს, პროდუქტიულს, მაგრამ ასეთი ციკლის გარდა არსებობს როგორც აღინიშნა ზომიერი, ლიზოგენური ციკლი, რომლის დროსაც ხდება ფაგის რედუქცია – ანუ ფაგის დნმ-ი არ იწვევს ვირუსსპეციფიური ცილების და ნუკლეინის მუჯის სინთეზს, არამედ იგი ერთვება ბაქტერიულ ქრომოსომაში და ხშირად გადაეცემა ასეთ მდგომარეობაში ბაქტერიულ შვილეულ თაობებს – ამ ლატენტური ბაქტერიოფაგების მდგომარეობას ეწ. პროფაგი ან პროვირუსი. სწორედ ასეთ ზომიერ ფაგებს განეკუთვნება **A** ბაქტერიოფაგი.

კონკრეტული სპეციფიური ზემოქმედების შედეგად ასეთ ზომიერ ფაგში შეიძლება მოხდეს ვირულენტური თვისებების ინდუქცია და ის გადაიქცეს ლითიურ ფაგად, ამ მოვლენას ეწ. ფაგის ინდუქცია. მაინდუცურებელ ფაქტორებს განეკუთვნება: დასხივება, ზეჟანგების მოქმედება და სხვ.

ფაგური დნმ-ის ასოციაცია ბაქტერიის განომთან რასაკვირველია იწვევს რიგი გენეტიკური თვისებების შეცვლას. ამ მოვლენას, გენეტიკური თვისებების შეცვლას, განპირობებულს ფაგებით უწოდებენ ლიზოგენურ კონვერსიას.

**A ბაქტერიოფაგი**

**■** ბაქტერიოფაგი წარმოადგენს ვირუსს, რომელიც ღიზოგენურია ხაჭაპურის ჩხირის *Escherichia coli* –სათვის. იგი კარგი მოდელია ზომიერი, ღიზოგენური ციკლის განსახილველად. **■** ბაქტერიოფაგის ქრომოსომის სიგრძე ბაქტერიული ქრომოსომის სიგრძის მხოლოდ 2%-ია. ფაგურ ნაწილაკებში დნმ წარმოადგენილია ხაზოვანი ორმაგი ჯაჭვის სახით, რომლის ორივე ბოლოში დუბლექსის დაწვეილებული უჯრუტის გაგრძელებაზე არის 12 დამატებითი არადუბლექსირებული ნუკლეოტიდი, რომლებიც კომპლემენტარულია ერთმანეთისა და ამ ორი, ქრომოსომის დაწვეილებული სიგრძიდან “გასული” წარგძელებების საშუალებით ფაგის დნმ იკვრება წრიულ ფორმად. ამიტომ ამ ბოლოებს ეწოდებიან წებოვან ბოლოებს. ასეთ წრიულ ფორმას ფაგის დნმ იღებს ბაქტერიული უჯრედის ინფიცირებისას, რომ თავი დააღწიოს ბაქტერიული ფერმენტების ზემოქმედებას, სახამ წაერთვება ბაქტერიულ ქრომოსომაში.

**■** ბაქტერიოფაგის ჩართვა ქრომოსომაში ხორციელდება ფაგის ფერმენტ(ებ) ლამბდა ინტეგრეზას საშუალებით, რომელიც გამოსცნობს ორ სხვადასხვა არაკომპლექსურ ნუკლეოტიდურ თანმიმდევრობებს, ერთს ბაქტერიულ ქრომოსომაში, მეორეს ფაგურ ქრომოსომაში, აახლოებს ორივე ორმაგ სპირალს ერთმანეთთან სახამ ისინი არ გაიხლინებიან და ჯვარედინად არ შეერთდებიან. თითქმის ყოველთვის ეს ხდება ბაქტერიული ქრომოსომის ერთი და იგივე უბანში. ამიტომ ამ მოვლენას ეწოდება საიტ სპეციფიური რეკომბინაცია. ინტეგრირებულ მდგომარეობაში ფაგური ქრომოსომა რეპლიცირდება ბაქტერიულთან ერთად და არანაირად არ გამოვლინდება თუ არ მოხდა ფაგის ინდუქცია. ფაგური დნმ-ის ამორთვისას უმეტესად პროცესი ხორციელდება ძალიან ზუსტად, 99% შემთხვევაში გამოთავისუფლებული ფაგური ნაწილაკები აბსოლუტურად იდენტურია თავდაპირველი (ინფიცირებამდე და ქრომოსომაში ჩართვამდე) ფაგებისა. იშვიათად ამორთვა ხდება ანალოგურად და ფაგის ქრომოსომა მიიტაცებს ბაქტერიული უჯრედის ქრომოსომულ მასალას, რაც საფუძვლად უდევს სპეციფიური ტრანსდუქციის მოვლენას.

ბაქტერიოფაგების სპეციფიურობა და მათი ბაქტერიული ანტიგენის(ებ)ურობა იხლება ამ ნაწილაკების სამკურნალოდ გამოყენების საშუალებას. დღესდღეობით სტაფილოკოკების, სტრეპტოკოკების, ეშერიხიოზების, სალმონელაზის, ქოლერის, ჩირქოვანი ინფექციებისა და სხვა უამრავი ბაქტერიული დაავადების სამკურნალოდ გამოიყენებიან ფაგები, იანდახან ანტიბიოტიკების სახაცვლოდ, ძალზე ხშირად კი ანტიბიოტიკებთან ერთად. ანტიბიოტიკებისაგან განსხვავებით ფაგორეზისტენტულობას ბაქტერიული უჯრედი თითქმის ვერ იძენს, რაც ფაგებისადმი ინტერესს აძლიერებს და მას ანტიბიოტიკოთერაპიის ერთადერთ ალტერნატივად მთავრებს.

## ლექცია 11

ბაქტერიები, როგორც ავღნიშნეთ, არიან პროკარიოტული ორგანიზმები. ზოგიერთი გამონაკლისის გარდა ყველა ბაქტერიული უჯრედი ფორმის მიხედვით შეიძლება დაიყოს სფერული (კოკები), ცილინდრული (ჩხირები) და „მოხრილი“ ცილინდრული (მოხრილი ჩხირები) ფორმის მქონეებად. შესაბამისად, ძირითად ფორმებად ითვლება კოკები, ჩხირები ანუ ბაცილები და მოხრილი ჩხირები ანუ სპირალური ბაქტერიები.

კოკებს ჩვეულებრივ გააჩნიათ სწორი სფეროს, ბურთის ფორმა. თუმცა შეიძლება ჰქონდეთ ლანცეტისებური, ყავის მარცვლისებური ან ელიფსოიდური ფორმაც. განლაგების მიხედვით შეიძლება გავარჩიოდ:

- მიკროკოკები – ცალკეულად განლაგებული კოკები
- დიპლოკოკები – როდესაც წყვილი კოკია წარმოდგენილი (მაგ. Neisseria ს შემთხვევაში)
- ტეტრაკოკები – 4 - 4 ად, კვადრატულად განლაგებისას
- სარცინები – “სართულებად” განლაგების შემთხვევაში
- სტრეპტოკოკები – ძეწკვისებურად განლაგების დროს
- სტაფილოკოკები – ყურძნის მტევნისებურად განლაგების შემთხვევაში

ჩხირები განსხვავდება ერთმანეთისაგან ზომით, უჯრედის დაბოლოების ფორმით და ურთიერთგანლაგების მიხედვით. შეიძლება ქონდეთ სწორი (მაგ: ნაწლავის ჩხირი), არასწორი (მაგ: კორინებაქტერიები) ან დატოტვილი ფორმები (მაგ: აქტინომიცეტები). უჯრედის ბოლოები შეიძლება “წაკვეთილი” იყოს, როგორც ციმბირის წყლულის ბაცილას აქვს, მომრგვალებული – როგორც ნაწლავის ჩხირის შემთხვევაშია და მახვილი, როგორც მაგ. ფუზობაქტერიებს. განლაგების მიხედვით არსევენ:

- ერთეულ ჩხირებს – მაგ. ენტერობაქტერიები
- დიპლობაცილებს – წყვილად, ერთ ხაზზე განლაგებისას
- სტრეპტობაცილებს – ძეწკვისებურად განლაგებული, მაგ. ციმბირის წყლულის გამომწვევის შემთხვევაში

სპირალურ ბაქტერიებს ეოფენ:

- ვიბრიონებად – მსუბუქად მოხრილი ბაქტერიების შემთხვევაში, რომელთაც აქვთ მხოლოდ ერთი ხვეული, რომელიც არ აღემატება სპირალის ბრუნვის 1/4 ს, როგორც, მაგ. ქოლერის ვიბრიონია,
- სპიროქეტებად – სპირალურად დახვეული ბაქტერიები 2-3 ხვეულით, მაგ. სიფილისის გამომწვევი.

## სისტემატიკური მიმოხილვა

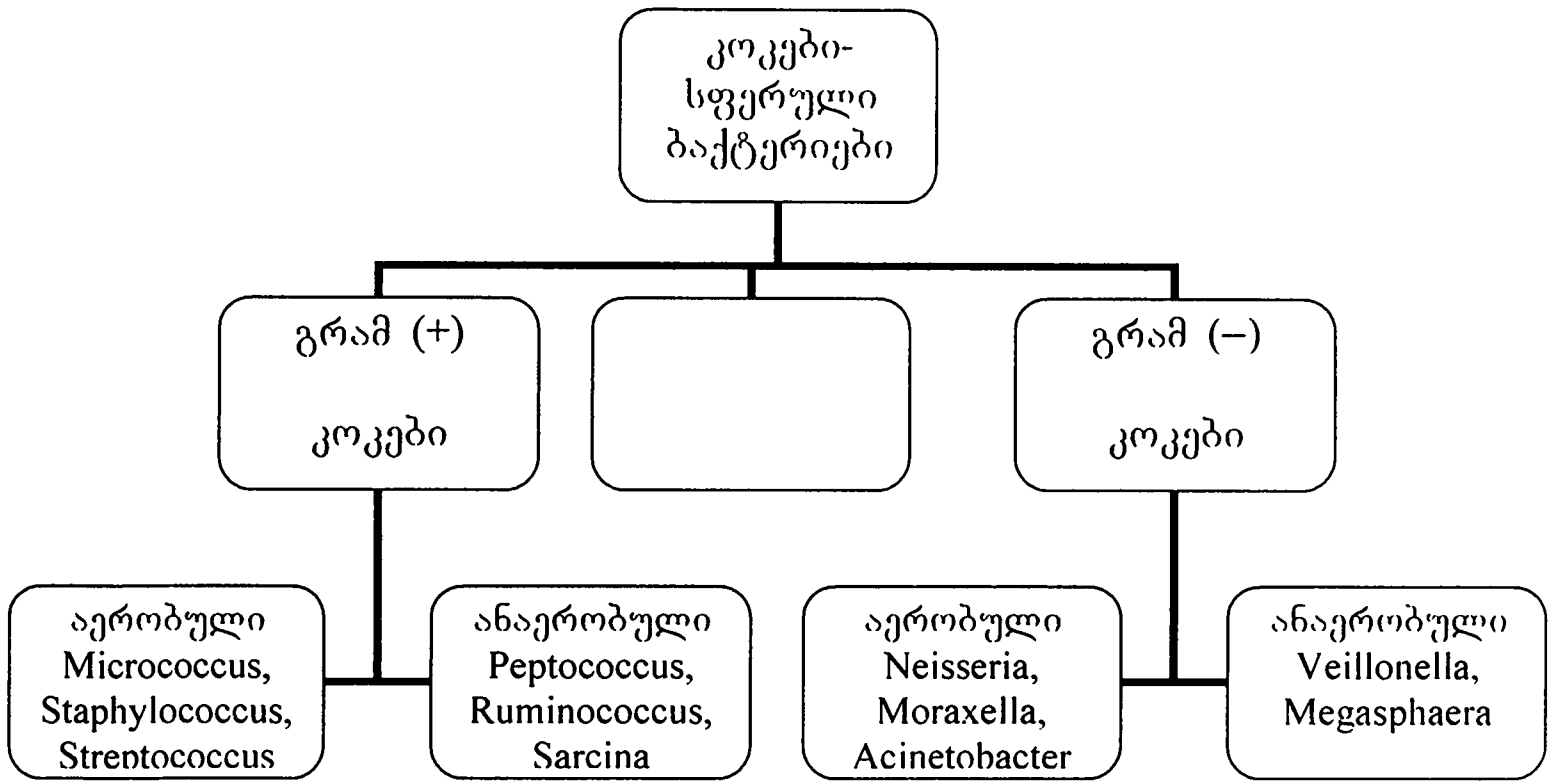
ბაქტერიების დახასიათებისას გათვალისწინებული უნდა იქნას მათი მორფოლოგიური თვისებები, უნდა მიეთითოს მათი ფორმა: კოკი, ჩხირი, მოხრილი ჩხირი; აქვთ თუ არა კაფსულა, უჯრედები არიან გამოცალკევებული თუ არიან წარმოდგენილი კონგლომერატების (ძეწკვისებურად, მტკვნისებურად, და ა.შ.) სახით. აქვთ თუ არა შოლტები და თუ აქვთ როგორ არიან ისინი განლაგებული, წარმოქმნიან თუ არა ბაქტერიები ენდოსპორებს და იღებებიან თუ არა გრამის წესით. მორფოლოგიური აღწერის გარდა, მნიშვნელოვანია მთელი რიგი ფიზიკური – ქიმიური მახასიათებლები:

1. უანგბადთან დამოკიდებულება – აერობია თუ ანაერობია.
2. ენერჯის მოიღების საშუალება – სუნთქვა, ფოტოსინთეზი, დუდილი.
3. ზრდის დამოკიდებულება ტემპერატურასა და pH ზე,
4. აუცილებელი საკვები ნივთიერებები,
5. არსებობის არეალი, ეკოსისტემა,
6. სიმბიოზური ან პარაზიტული ურთიერთქმედებების არსებობა,
7. უჯრედული ჩანართების, პიგმენტაციის, კაფსულის არსებობა,
8. უჯრედული კედლის კომპონენტები,
9. სეროლოგიური დიფერენციაცია უხედაპირული ანტიგენები, კომბოლოგიური ცილები,
10. დმნ-ის ფუძეების შემცველობა %-ში,
11. ანტიბიოტიკების მიმართ მგრძობელობა

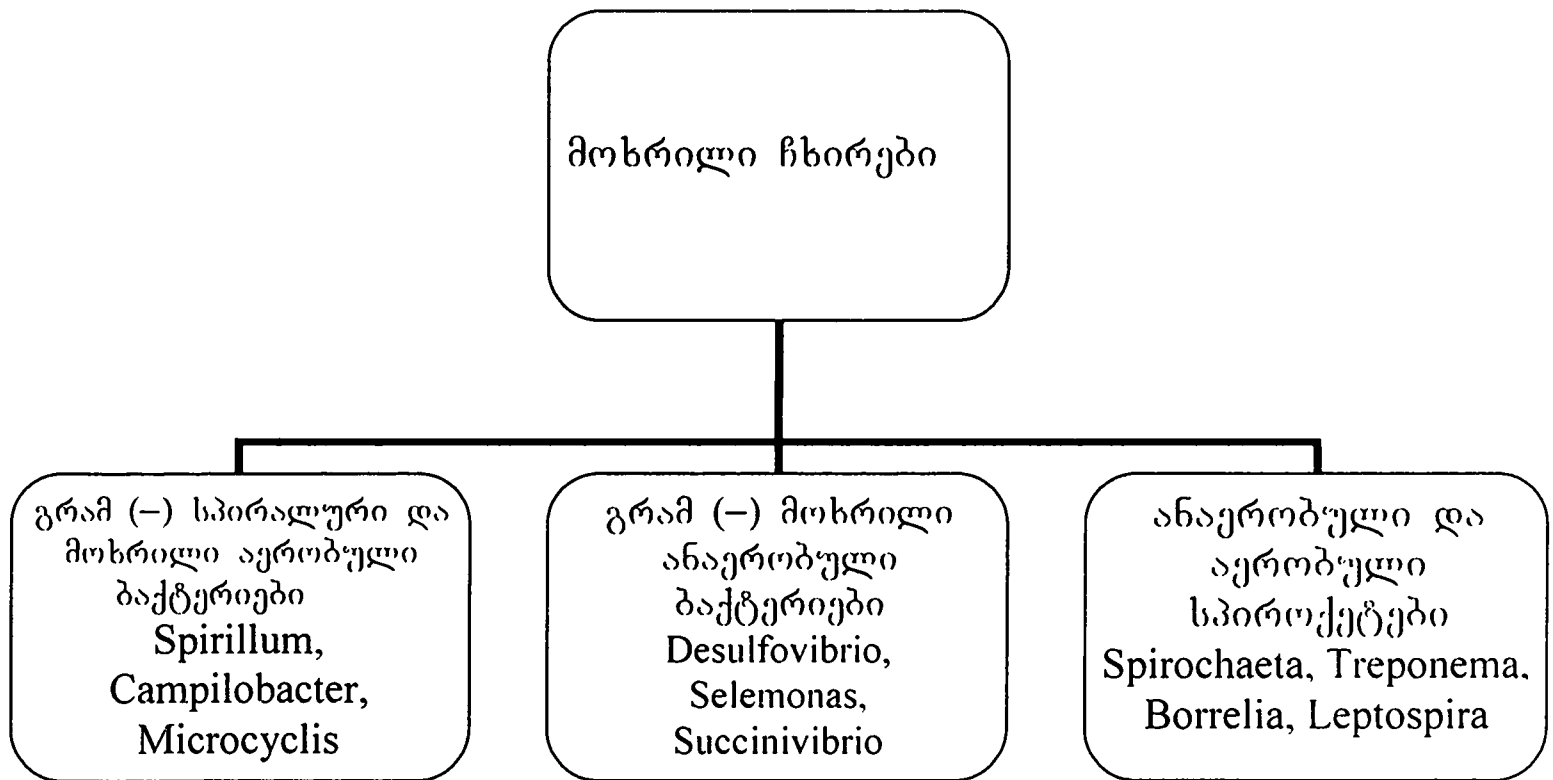
არსებობს ბუნებრივი (ფილოგენეზური) და ხელოვნური კლასიფიკაციები. ფილოგენეზური ადგენს წარმოშობით მონათესავე ბაქტერიების ჯგუფებს, რომ შექმნას ბაქტერიების ფილოგენეზური სურათი, ხოლო ხელოვნური კლასიფიკაცია ორგანიზმებს აერთიანებს გარკვეულ ჯგუფებში მათი მსგავსების მიხედვით და გამოიყენება მიკრობთა იდენტიფიკაციისათვის. უმრავლეს შემთხვევებში გამოიყენება სწორედ ხელოვნური კლასიფიკაცია.

დღესდღეობით ყველაზე პოპულარული და გავრცელებული კლასიფიკაცია ეყრდნობა ბაქტერიების სისტემატიზაციას მიკროსკოპულად ყველაზე გარსევად ფორმებად, გრამის წესით შეღებვისა და უანგბადთან დამოკიდებულების გათვალისწინებით.

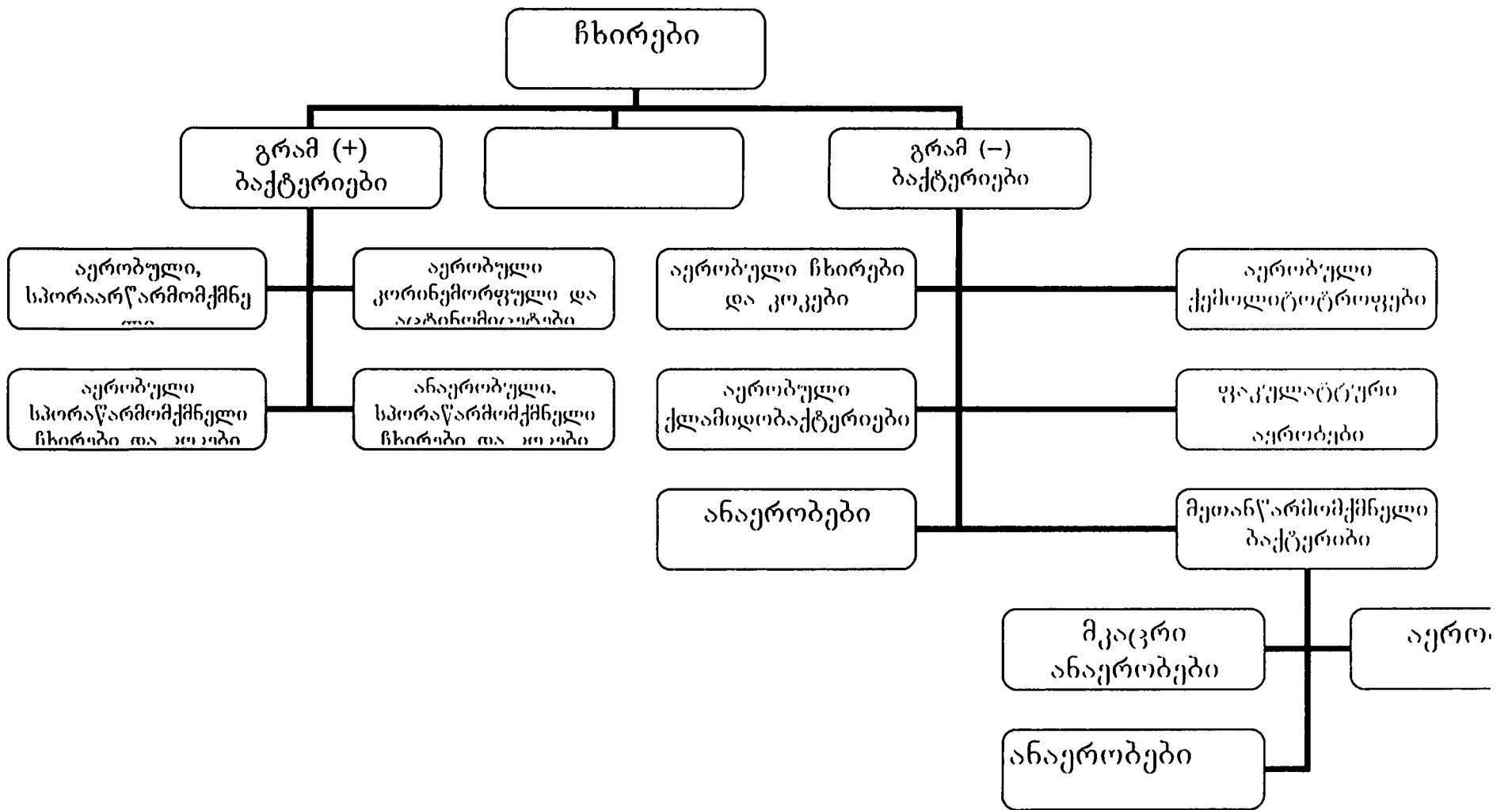
ასე, რომ ყველაზე მარტივი კლასიფიკაცია მოიცავს:



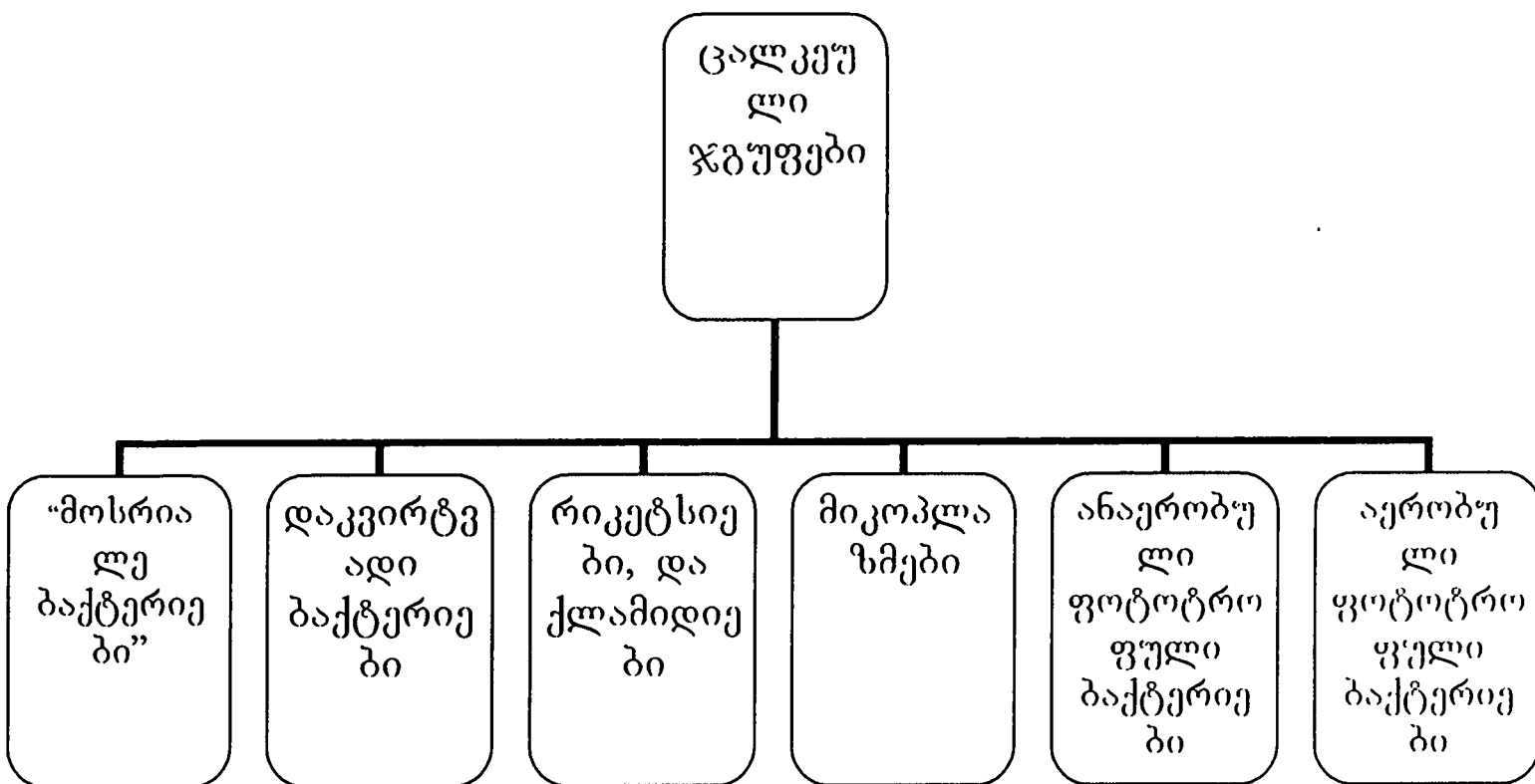
2.



3.



4.



როგორც ვხედავთ კოკებიც თავისთავად იყოფა გრამ (+) და გრამ (-) კოკებად და ამ ორი ჯგუფის “შიგნით” კიდევ აერობულ და ანაერობულ ბაქტერიებად.

- გრამ (+) აერობული კოკები

გვარ **Micrococcus** განეკუთვნებიან პიგმენტირებული ბაქტერიები, რომელთა ყველაზე ან ნარინჯისფერი კოლონიები ხშირად გვხვდება პეტრის თასებზე კაერის დათესვისას. ეს კოკები ქმნიან ტეტრადებს, ანუ წარმოდგენილი არიან ოთხ-ოთხი კოკის “პაკეტის” სახით, ძალზე მგრძობიარენი არიან ფერმენტ ლიზოციმის მიმართ. არიან ობლიგატური აერობები და გამოირჩევიან GC მაღალი შემცველობით (66-72%).

ამ ჯგუფიდან სამედიცინო თვალსაზრისით ყველაზე მნიშვნელოვანი არიან Strepto და Staphylococcus ები.

**Staphylococcus** – აერობული, გრამ (+), კოკები, რომლებიც უმეტესად განლაგებული არიან ყერძის მტევნისებურ კლასტრებად, თუმცა შეიძლება შეგვხვდეს ცალკეული კოკების, წყვილების ანუ დიპლოკოკების ან ტეტრადების (ოთხ-ოთხად განლაგებული კოკების) სახითაც. სტაფილოკოკები არ წარმოქმნიან სპორებს, მდგრადი არიან გამოშრობის მიმართ, უძლებენ მაღალ, 50°C ტემპერატურას 30 წთ-ის მანძილზე. წარმოქმნიან ციტოქრომებს, ე.ი.სუნთქავენ, აქვთ სხვადასხვა პიგმენტები: თეთრი, ყვითელი, ნარინჯისფერი და ასინთეზირებენ რიგ ფერმენტებსა და ტოქსინებს. ხშირად არიან რეზისტენტულები პენიცილინების, ამპიცილინის და ნაფცილინის მიმართ და ეს რეზისტენტობა განპირობებულია პლაზმიდები მიერ. სტაფილოკოკები არიან ადამიანის ნორმალური მიკროფლორის წარმომადგენლები, მაგრამ ზოგიერთი შტამი არის პათოგენური და იწვევს საკვებისმიერ მოწამვლას, სხვადასხვა ჩირქოვან პროცესს. შეუძლიათ სისხლის ჰემოლიზი და ა.შ. სტაფილოკოკების 30-მდე წარმომადგენელია ცნობილი, მაგრამ აქედან კლინიკურად მნიშვნელოვანია 3 – Staph. epidermidis, Staph. saprophyticus, Staph. aureus.

სტაფილოკოკები კარგად იზრდებიან აერირებულ პირობებში, 37°C და ქმნიან პიგმენტირებულ კოლონიებს - Staph. epidermidis მოთეთრო-მონაცრისფრო, პრიალა, გლუვ კოლონიებს, Staph. aureus – ასევე პრიალა, გლუვ, მაგრამ მოყვითალო-მონარინჯისფრო კოლონიებს, საიდანაც წარმოსდგა მისი სახელი aureus ანუ, ოქროსფერი სტაფილოკოკი.

Staph. epidermidis - არის ადამიანის კანის, რესპირატორული და გასტონტერსტიხალური ტრაქტის ნორმალური მიკროფლორის წარმომადგენელი,

*Staph. aureus* – არის სტაფილოკოკების ყველაზე პათოგენური წარმომადგენელი. აღბათ ყველა ადამიანს თავისი სიცოცხლის მანძილზე ერთხელ მაინც აქონია “კონტაქტი” ამ ბაქტერიასთან – ან კვებისმიერი მოწამვლის ან კანის უმნიშვნელო გამოხეარის ან სეპტიური მომენტების სახით.

სტაფილოკოკები ასინთეზირებენ ფერმენტებს:

კატალაზას – რომელიც წყალბადის ზეჟანგს შლის წყლად და უახგზადად,

კოაგულაზას – რომელიც იწვევს სისხლის კოაგულაციას,

ჰიალურონიდაზას – რომელიც შლის უჯრედშორის სითხეებს,

ფიბრინოლიზინს – რომელიც შლის ფიბრინს.

და ტოქსინებს:

ლეიკოციდინს – რომელიც იწვევს ლეიკოციტების დაღუპვას,

ენტეროტოქსინებს – რამდენიმე ტიპის სხვადასხვა ტოქსინს, რომლების რეზისტენტულები არიან ნაწლავური ფერმენტების მიმართ და იწვევენ დიარეას და ღებინებას,

ტოქსიური შოკის სინდრომის ტოქსინებს – რომლებიც იწვევენ ცხელებას, მულტისისტემურ დაზიანებებს, შოკს, კანის სიწითლეს.

## **Streptococcus**

აერობული, გრამ(+) კოკები, განლაგებული დიპლოკოკებად (ორ-ორად) ან ძეწკვისებურად, ფართოდ არიან გავრცელებული ბუნებაში. სტაფილოკოკებისა და სტრეპტოკოკებისა ერთობლივად წარმოადგენენ ადამიანის ნორმალურ მიკროფლორას. წარმოადგენს, მაგრამ არიან პათოგენური სტრეპტოკოკებიც. უმეტესობა სტრეპტოკოკებისა აპროდუცირებს კაფსულას, აქვთ პილები, კარგად იზრდებიან  $37^{\circ}\text{C}$  და  $10\% \text{ CO}_2$  თანაარსებობისას, ქმნიან მოთეთრო-რძისფერ გაუმჭვირვალე კოლონიებს.

სტრეპტოკოკებიდან ნორმალურ მიკროფლორას წარმოადგენენ:

*Str. agalactiae* – წარმოდგენილია ქალების გენიტალურ ტრაქტში, არის ნორმალური მიკროფლორის წარმომადგენელი, მაგრამ შეუძლია გამოიწვიოს ხეხატალური სეფსისი, და მენინგიტი.

*Str. faecalis* ასევე ნორმალური ნაწლავური მიკროფლორის წარმომადგენელია.

*Str. mitis*, *Str. mutans*, *Str. salivarius* – პირის ღრუს ფლორის წარმომადგენლებია, მაგრამ ხშირ შემთხვევაში მათთვის ხელსაყრელ პირობებში იწვევენ კარიესს, პარადონტალს.

Str. bovis – ნაწლავური ფლორის წარმომადგენელი, ხანდახან იწვევს ბაქტერიემიას, ენდოკარდიტს.

Str. pyogenes – ყველაზე პათოგენური ჩირქბადი სტრეპტოკოკი. იწვევს მრავალ დაავადებას – ანგინებს, სინუსიტებს, ფრონტიტებს, აბსცესებს და ა. შ.

სტრეპტოკოკები ასინთეზირებენ ფერმენტებს:

სტრეპტოკინაზას (ფიბრინოლიზინს) – რომელიც იწვევს პლაზმინოგენს ტრანსფორმაციას პლაზმინად,

სტრეპტოდორნაზას - იწვევს დნმ-ის დეპოლიმერიზაციას,

ჰიალურონიდაზას – შლის ჰიალურონის მუკოსს, რომელიც წარმოადგენს შემავრთებელი ქსოვილის უჯრედშორისს ნივთიერებას,

და ტოქსინებს:

პიროგენულ (ერიტროგენულ) ტოქსინს – იწვევს სიწითლეს და ცხელებას,

ჰემოლიზინებს – ერიტროციტების ღიზისის ფაქტორებს,

სტრეპტოლიზინებს – რომლებიც ასევე წარმოადგენენ ჰემოლიზის უხარის მქონე ტოქსინებს.

სტრეპტოკოკები იწვევენ მრავალფეროვანი სახის დაავადებებს ჩირქოვანი გამონაყარიდან ენდოკარდიტებამდე, გლომერულონეფრიტებს, ტოქსიურ შოკს, რევმატიულ დაავადებებს.

გრამ (+) ანაერობული და გრამ (-) ანაერობული კოკებიდან სამედიცინო თვალსაზრისით დიდ ყურადღებას არცერთი წარმომადგენელი არ იმსახურებს, მაგრამ გრამ(-) აერობული კოკებიდან კი Neisseria ს რიგი საკმაოდ მნიშვნელოვანია კლინიკურად.

Neisseria – აერობული, გრამ (-) დიპლოკოკები, კარგად იზრდებიან ორგანული ნივთიერებების შემცველ არეებზე და ქმნიან უფერო, ღია ყვითელ ან ღია ვარდისფერ კოლონიებს. აქვთ ციტოქრომი, უნთქავენ, თუმცა მატი ზრდისათვის სასურველია 5% CO<sup>2</sup> თანაარსებობა. იოდად იღუპებიან გამოსხივების, გამაშრობის ან ტემპერატურის ზემოქმედებით. მგრძობიარეა პენიცილინის მიმართ.

სამედიცინო თვალსაზრისით ყველაზე პოპულარული წარმომადგენლები არიან Neisseria gonorrhoeae და Neisseria meningitidis. შესაბამისად გონორეის და მენინგიტის გამომწვევები.

მენინგოკოკები ქმნიან კაპსულას, მათ იშვიათად აქვთ პლასმიდები და “ბინადრობენ” რესპირატორულ ტრაქტში, ხოლო გონოკოკები არ ქმნიან კაპსულას, აქვთ პილი, პლასმიდები და იწვევენ გენიტალურ ინფექციებს.

## ლექცია 12

### ნხირები

ნხირების ჯგუფი იყოფა:

- გრამ (+) ნხირებად
  1. ნხირები, რომლებიც არ წარმოქმნიან სპორებს -
  2. კორინემორფული ბაქტერიები და აქტინომიცეტები
  3. ენდოსპორების წარმომქმნელი ნხირები და კოკები - Bacillus
  4. ანაერობული ენდოსპორების წარმომქმნელი ნხირები და კოკები Clostridium
- გრამ (-) ნხირებად
  1. აერობული ნხირები და კოკები – კლინიკურად მნიშვნელოვანია წარმომადგენლებია Pseudomonas, Brucella, Legionella
  2. აერობული ქემოლიტოტროფული ბაქტერიები,
  3. აერობული ქლამიდობაქტერიები
  4. ფაკულტატიურ-ანაერობული ნხირები – წარმომადგენლებია: Escherichia, Klebsiella, Enterobacter, Salmonella, Shigella, Proteus, Yersinia, Vibrio.
  5. ანაერობული გრამ (-) ბაქტერიოიდები Bacteroides, Fusobacterium, Leptotrichia
  6. ანაერობული და აერობული მეთანწარმომქმნელი და ახვა არქეაბაქტერიები.

აერობული, გრამ(+), უსპორო ბაქტერიები, რომლებიც ნახშირწყლებს უმეტესად გარდაქმნიან რძის მაჟაგად, იწოდებიან რძემჟავა ბაქტერიებად, მათ მიეკუთვნებიან Lactobaccillus, Bifidobacterium ები. ესენი სწორი ფორმის ნხირები არიან. ლაქტობაქტერიები და ბიფიდობაქტერიები არიან ნაწლავური ფლორის წარმომადგენლები და მათი არსებობა/არარსებობა და თანაფარდობა განსაზღვრავს ნაწლავების სწორ მოქმედებას. როდესაც ლაპარაკია ნაწლავურ დისბაქტერიოზზე, 70-80% შემთხვევაში იგულისხმება ამ ორი ტიპის ბაქტერიის თანაფარდობის დარღვევა და მკურნალობაც მიმართულია ამ თანაფარდობის აღდგენაზე. თუ ბიფიდობაქტერიები წარმოდგენილნი არიან ძირითადად ადამიანის ნაწლავებში (წარმოადგენენ ნაწლავური ფლორის 40-50%), ლაქტობაქტერიები ხშირად გვხვდება საშინაო და პირის ღრუში, სადაც ისინი განაპირობებენ pH დაბალ მანველებლებს და ხშირად გვევლინებიან კარიესის მიზეზად, თუმცა ნორმაში ისინი არ ავლენენ პათოგენურ თვისებებს და პირიქით, მონაწილეობენ ლორწოვანი გარსის ჰომეოსტაზის შენარჩუნებაში და

აბრკოლებენ პათოგენური მიკროორგანიზმების კოლონიზაციის პროცესს პირის ღრუში. გარდა ამისა, ლაქტობაქტერიები მონაწილეობენ ადამიანის ორგანიზმში მიმდინარე მრავალ ფერმენტულ პროცესში, აწარმოებენ რძის ძეახას ამინომჟავებს, ვიტამინებს, ლიზოციმს და სხვ.

ლაქტობაქტერიები წარმოქმნიან მოკლე “ძეწკვებს”, განსაკუთრებით ლოგარითმული ზრდის გვიან ფაზაში, მათი უმრავლესობა არ არის მოძრავი, სპორებს არ წარმოქმნიან, არიან აერობები ან აბლიგატური ანაერობები, აწარმოებენ ნახშირწყლების დუდიღს, არიან ქემოორგანოტროფები და ძალზე მამოხეხები საკვები არეების მიმართ. არიან მეხოფილები, სისხლიან აგარზე წარმოქმნიან მონაცისფრო S ფორმის კოლონიებს.

ბიფიდობაქტერიები უმოდრაო, ჩხირისებრი ბაქტერიებია, რომლებსაც ბალოებზე შეიძლება ჰქონდეთ შესქელებები ან განშტოებები. ხაცხებში ბაქტერიები არიან განლაგებული თითო-თითოდ ან V ს მსგავსად, არიან მეხოფილები, კარგად იზრდებიან ვიტამინიზირებულ არეებზე. ასინთეზირებენ B<sub>6</sub> აგუვის ვიტამინებს თრგუნავენ პათოგენური მიკროორგანიზმების ზრდას.

კორინემორფული ბაქტერიების სახელი წარმოსდგა მათი ფორმისა და coryne ნიშნავს ქინძისთავს. ბაქტერია ჩხირისებურია, მაგრამ მისი ერთ-ერთი ბალო განსქელებულია (იშვიათად ორივე) ვოლუტინის მარცვლების ხარჯზე, რაც მას ქინძისთავს ამსგავსებს. კორინებაქტერიები არიან აერობები, იძლევიან პატარა გრანულირებულ ნაცრისფერ კოლონიებს, იყოფიან სწრაფად და მრავალჯერადად, სხვადასხვა მიმართულებით და ამიტომ, ხშირად შეიძლება თაობების უჯრედების კედლები ერთმანეთის მიმართ ქმნიან კუთხეს, რის შედეგადაც უჯრედი, გაყოფის დროს ერთგვარ ტკაცუნის “ხმას” გამოხცემს. კორინებაქტერიები აზიანებენ ხასას, ნუშისებს ჯირკვლებს, მაგრამ მათი ყველაზე პოპულარული წარმომადგენელია დიფტერიის გამომწვევი ბაქტერიაა *Corynebacterium diphtheriae*. ეს მიკრობი იწვევს რთულ დაავადებას, რომლის ძირითადი პათოგენური ფაქტორი არის სპეციფიური ეგზოტოქსინი, რომელსაც ეს ბაქტერია გამოიმუშავებს მხოლოდ პატრონ უჯრედების რკინის ელემენტით სუბოპტიმალური მომარაგების შემთხვევაში. დიფტერიის ჩხირი სწორი ან ოდნავ მოღუნული ფორმისაა, მომრგვალებული ბალოებით, გარემოცულია კაფსულით და აქვს პილები (ფიმბრიები), რაც აადვილებს მის პატრონ უჯრედთან ადგეზიის პროცესს. კაფსულის გამო იგი შედარებით მდგრადია გამოქრობისა და დაბალი ტემპერატურის მიმართ. კარგად იზრდება სისხლიან და შრატთან ხიდაგებში. კაფსულა და პილები წარმოადგენს დიფტერიის ვირულენტობის ფაქტორებს.

კორინემორფულ ბაქტერიებს როგორც მორფოლოგიური, ისე ფიზიოლოგიური კეთხით შუალედური ადგილი უჭირავთ რძემჟავა და მიკობაქტერიებს შორის. რძემჟავა ბაქტერიებს აქვთ მარტივი ფორმა, კორინებაქტერიებს ეს ფორმა ცოტა ურთულდებათ. ხოლო მიკობაქტერიები წარმოქმნიან “დატოტვილ” სტრუქტურებს.

მიკობაქტერიები არიან აერობული, “მსუნთქავი” ბაქტერიები. რომლებიც წარმოქმნიან დატოტვილ უჯრედებს, არიან მუავაგამძლეები, სპორებს არ წარმოქმნიან. ნელა იყოფიან, ხშირად იძენენ რეზისტენტობას ამა თუ იმ ქიმიური ნივთიერების, მათ შორის ანტიბიოტიკების მიმართაც. მიკობაქტერიების პოპულარული ინფექციური წარმომადგენლები არიან Mycobacterium tuberculosis – ტუბერკულოზის გამომწვევი და Mycobacterium leprae – კეთრის გამომწვევი ბაქტერიები. მიკობაქტერიები გავრცელებულები არიან ნიადაგშიც და პათოგენური წარმომადგენლებისგან განსხვავებით, რომლებიც ზრდისათვის ითხოვენ სელექტიურ საკვებ არეებს, ნიადაგის მიკობაქტერიები კარგად იზრდებიან მარტივ საკვებ არეებზეც. მყარ საკვებ არეებზე მიკობაქტერიები წარმოქმნიან ნაოჭებიან მშრალ კოლონიებს უსწორმასწორო კედლებით. თხევად საკვებ არეებში კი წარმოქმნიან ნახ აპკს, რომელიც თანდათანობით სქელდება და ფსკერზე ეშვება.

ტუბერკულოზის გამომწვევ მიკობაქტერიას აქვს რთული ქიმიური შემადგენლობა, კერძოდ ლიპიდებისა და მიკოლის მუავის მაღალი შემცველობა, რაც მას ანიჭებს გამძლეობას მუავების ტუტეებისა, სპირტებისა და გარემო ფაქტორების და სხვადასხვა სადენზიფიკაციო საშუალებების მიმართ. განმასხვავებელი ნიშანთვისებაა ნიკოტინის მუავის (ნიაცინის) მნიშვნელოვანი რაოდენობით სინთეზის უნარი, რაც გამოიყენება ტუბერკულოზის ბაქტერიის სადიფენციაციოდ სხვა მიკობაქტერიებისაგან.

კეთრის მიკობაქტერიაც მდგრადია სპირტების, მუავებისა და ტუტეების მიმართ, ზოგჯერ ბაქტერიში აღინიშნება წვრილი, მარცვლოვანი გრანულაცია. კეთრის მიკობაქტერია არ იზრდება ხელოვნურ საკვებ არეებზე.

აქტინომიცეტებს დიდ ხნის განმავლობაში განაკუთვნიებდნენ სოკოებს, ვინაიდან ესენიც სოკოებივით ქმნიან მიცელიუმს - სუბსტრატულს ან კაეროვანს. მაგრამ მათი მორფოლოგიისა და ბიოლოგიური თვისებების დეტალური შესწავლისას აღმოჩნდა, რომსოკებისაგან განსხვავებით აქტინომიცეტები უჯრედის კედელში არ შეიცავენ ქიტინს ან ცელულოზას, ისინი რეზისტენტულები არიან სოკოს საწინააღმდეგო საშუალებებისადმი. ბაქტერიებთან მათ აერთიანებთ უგარსო ხუკლეული, უჯრედის კედლის აგებულება და მგრძობელობა ანტიბიოტიკებისა და ფაგებისადმი. ისინი

მთელი რიგი ნიშან-თვისებებით ახლას ღვანას კორინებაქტერიებთან და მიკობაქტერიებთან, მაგრამ მატგან გასხვავებით წარმოქმნიან გრძელ, დაყოფილ ფილამენტებს, რითაც ემსგავსებიან სოკოების ჰიფებს.

აქტინომიცეტები გრამ (+), ფაკულტატიური ანაერობი, ნიადაგში მობიხადრე ბაქტერიები არიან, იწვევენ მსხვილი წლიქოსანი პირუტყვის დაავადებებს. პროაქტინომიცეტები (*Nocardia*) არიან აერობები, კარგად იზრდებიან ნვეულებრივ საკვებ ნიადაგებში, აწარმოებენ ფერმენტ ურეაზას, წარმოქმნიან როგორც პაეროვან, ასევე სუბსტრატულ მიცელიუმებს, რომლებიც იშლება წხირისებრ უჯრედებად. მათგან განსხვავებით სტრეპტომიცეტებს მიცელიუმი უნარჩუნდებათ, განსაკუთრებით პაეროვანი, რომელიც კარგად აქვთ განვითარებული და წარმოქმნის ჰიფებს, ახე სპოროფორებს და რომლისგანაც გამოცვალკევებული უჯრედების ერთობლიობები, ახე კონიდიები სახეობის გავრცელებაში გადამწვევებ როლს ასრულებს. ეს სპოროფორები აგებულების მიხედვით შეიძლება იყოს სპირალური, ტაღლოვანი, სწორი, კონებად შეკრული. მათი აგებულების, ბაქტერიების კოლონიების ფორმის, ფერის და ზომის მიხედვით გამოყოფენ სხვადასხვა სახეობებს. სტრეპტომიცეტები წარმოქმნიან სპორებს. პაეროვანი ჰიფების ბოლოებში მათავსებულია ხოლმე სპორანგიომები, სპორების ღოკალიზაციის ადგილები. აქტინომიცეტების სპორები არ არიან თერმოსტაბილურები, მაგრამ მდგრადები არიან გამოშრობის წინააღმდეგ. თავიანთი აგებულებით და დიპლიკონის მეავას შემცველობით, ეს სპორები ემსგავსებიან ბაცილუსების და კლოსტრიდიუმების სპორებს. აქტინომიცეტები ზოგადად და სტრეპტომიცეტები კერძოდ, საინტერესო არიან კლინიკური თვალსაზრისით ანტიბიოტიკების სინთეზის უნარის გამო.

აერობული და ანაერობული ენდოსპორაწარმომქმნელი წხირები და კოკები

აერობულ, გრამ (+), სპორაწარმომქმნელ ბაქტერიებს განეკუთვნებიან **Bacillus** ები, ძეწკვისებურად განლაგებული წხირისებრი ბაქტერიები, რომლებიც ძირითადად ენერგიას იღებენ სუნთქვით, თუმცა შეუძლიათ დუდილის წარმოებაც, აქთ პერიტრიქალურად განლაგებული შოლტები. ზოგჯერ წარმოქმნიან კავსულებს. სპორების წარმოქმნის მიხედვით მათ არსევენ:

ოვალურ ან ცილინდრულ სპორას, რომელიც დედისეულ უჯრედზე პატარაა, ოვალურ სპორას, რომელიც უფრო დიდია ვიდრე დედისეული უჯრედი და მრგვალ სპორას. სპორის წარმოქმნის უნარის გამო ეს ბაქტერიები მდგრადი არიან მშრალი სტერილიზაციის და რიგი ქიმიური აგენტების მიმართ, დიდხანს ინარჩუნებენ

ცხოველქმედებას ნიადაგში. ბაცილუსები იშვიათად, მაგრამ მასიც იწვევენ ადამიანებში რიგ დაავადებებს: კონიუქტივიტებს, მენინგიტებს, ეხლოკარდიტებს.

ანაერობულ, გრამ(+), სპორაწარმოქმნელ ბაქტერიებს მიეკუთვნება **Clostridium** რიგის ბაქტერიები. ყველაზე პოპულარული წარმომადგენელია *C. tetani*, *C. perfringens* და *C. botulinum*. პირველი იწვევს ტეტანუსს, მეორე აიროვან გახგრებას, ხოლო მესამე ბოტულიზმს. მათთვის დამახასიათებელია ტოქსინების წარმოქმნა და მწვავე ინფექციური პროცესების წარმართვა. კლოსტრიდიუმებს უჯრედებს შეიძლება სხვადასხვა ფორმა ქონდეთ იმის და მიხედვით სად არის განლაგებული სპორა. აქვთ პერიტრიქალურად განლაგებული შილტები. მეტაბოლიზმის ტიპის მიხედვით არსებობს შაქრების, პეპტიდების და შარდოვანას დამშლელ კლოსტრიდიებს. მკაცრად ანაერობები არიან, ვინაიდან შეიცავენ ფლავინურ ფერმენტებს, რომლების უახგადათა კავშირის შემთხვევაში გარდაიქმნიებიან წყალბადის ზეუანგად, რაც დამღუპველად მოქმედებს კლოსტრიდიების უჯრედებზე.

გრამ (-) აერობული ჩხირები და კოკები

ფსევდომონადებს უწოდებენ ყველა გრამ (-) ჩხირისებურ ბაქტერიებს პოლარულად განლაგებული შილტებით. Pseudomonadaceae ს ოჯახის წარმომადგენლები არ წარმოქმნიან სპორებს, იზრდებიან აერობულ პირობებში არიან ქემოორგანოტროფები, აქვთ წყალში ხსნადი პიგმენტები. ხშირად მაფლუორესცენციური (მანათობელი) და გარცველებულები არიან თითქმის ყველგან – წყალში, ნიადაგში, მცენარეებში და ცხოველებში. ყველაზე პოპულარული წარმომადგენელია *Pseudomonas aeruginosa* – ღურჯ-მწვანე ჩირქის ჩხირი. წარმოდგენილი უმეტესად ვალკეული, ხანდახან წყვილ ჩხირებად, იშვიათად ძეწვისებური სახით, ივითარებს კავსულისმაგვარ გარსს. წარმოქმნის პიგმენტებს: პიცოციახინებს, რომლებიც ჩირქს აძლევენ ღია ღურჯ შეფერილობას და პიოვერდინს მიეკუთვნება მომწვანო პიგმენტს, რომელსაც აქვს ფლუორესცენციური უნარი. ზოგიერთი, იშვიათი სახეობა წარმოქმნის მოშავო-მოყავისფრო მელანინის პიგმენტს. პსევდომონებს აქვთ ფერმენტი ოქსიდაზა, ნეირამინიდაზა და ასინთეზირებს მთელ რიგ ტოქსინებს. იწვევენ რესპირატორული ტრაქტის და შარდ-სასქესო გზების დაავადებებს.

ბრუცელები და ლეგიონელები მიეკუთვნებიან ამავე ჯგუფს.

ბრუცელები არიან ძირითადად ცხოველების ობლიგატური პარაზიტები. მთავლ. კოკობაცილების ფორმის, გრამ (-), აერობული, იშვიათად, მაგრამ მასიც ჩინფიცირებენ ადამიანს. არ წარმოქმნიან სპორებს, არა აქვთ შილტები და კავსულა. ბრუცელებს გააჩნიათ უძლიერესი ალერგიული თვისებები.

**ლეგიონელები** – იწვევენ რესპირატორული ტრაქტის დაავადებებს. არიან აერობული, გრამ (-), მოძრავი ბაქტერიები, უჯრედშიდა პარაზიტები, არ წარმოქმნიან სპორებს, აქვთ რთული ფერმენტული სისტემა, უჯრედშიდა ცხიმოვანი ვაკუოლები და რიბოსომების დიდი რაოდენობა.

**Bordetella** – გრამ (-), უმოძრაო, აერობული ბაქტერიებია, აქვთ მიკროკაფსულები და პილი, არიან მეზოფილები, ნაკლებმგრძნობიარეები არიან მზის სხივებისა და მადენზიფიცირებელი ნივთიერებებისადმი. საკვებ ნიადაგში ზრდისათვის საჭიროებს 3 ამინომჟავას: პროლინს, გლუტამინს და ცისტეინს. პოპულარული წარმომადგენელია *Bordetella pertussis* – ყვიანახველის გამომწვევი.

**Haemophilus** გვარში გაერთიანებული არიან მცირე ზომის სფერული, თვლიდური ან ჩხირისებრი, გრამ(-) ქემოორგანოტროფული ბაქტერიები, რომლებიც იზრდებიან მხოლოდ მთლიანი ან ღიზირებული სისხლის ან მისი კომპონენტების შექცევულ საკვებ არეებში, იძლევა S ფორმის ფერად კოლონიებს. გახლავთ არიან წვეილებად ან მოკლე ძეწკვების სახით, გაანზიანთ პილები, სპორებს არ წარმოქმნიან. ხშირად წარმოადგენენ ადამიანის სასუნთქი გზების ნორმალურ მიკროფლორას. პოპულარული ინფექციის გამომწვევია *Haemophilus influenzae*, რომელსაც დიდ ხნის განმავლობაში გრიპის გამომწვევად თვლიდნენ.

გრამ (-) ფაკულტატიური ანაერობი ჩხირები

ამ ჯგუფს მიეკუთვნებიან თითქმის ყველა **ენტერობაქტერიები** – ნაწლავის ჩხირი, შიგელა, სალმონელა, პროტეუსი და სხვ. ზოგიერთი მათგანი, როგორც ნაწლავის ჩხირი არის ნორმალური ფლორის წარმომადგენელი, და იშვიათად იწვევენ დაავადებებს, მაგრამ შიგელა, სალმონელა და სხვები არიან პათოგენური მიკრობები.

ყველა ენტერობაქტერია არის მოკლე გრამ (-) ჩხირი, რომლებსაც წარმოქმნიან “ძეწკვებს”. ნებისმიერი ენტერობაქტერიის მიერ გამოწვეული ინფექცია მიმდინარეობს მხოლოდ მწვავე ფორმით. უმეტესობა ენტერობაქტერიებისა წარმოქმნის ბაქტერიოცინებს და აზიანებს ძუძუმწოვრებს. წარმოქმნიან კაფსულას, არ გაანზიანთ პროტეოლიზური თვისებები, არიან აერობები ან ფაკულტატიური ანაერობები, კარგად იზრდებიან ჩვეულებრივ საკვებ არეებზე, ადადგენენ ნიტრატებსა და ნიტრიტებს, არიან ქემოორგანოტროფები.

**Escherichia coli** წარმოქმნის მეტაბოლიტურ კოლონიებს, გამოყოფს ინდოლს, არის მოძრავი, ბრტყელი ბაქტერია, კონკრეტულ პირობებში შეუძლია ინფექციური პროცესის გამოწვევა: კუჭ-ნაწლავის, შარდ-სასქესო სისტემის მწვავე ანთებითი

ინფექციების გამოწვევა, აქვს ადჰეზიისა და კოლონიზაციის ფაქტორები, ინვაზიის ფაქტორები, ენდო და ეგზოტოქსინები.

**Klebsiella, Enterobacter** –გრამ (-). ზრდის პერიოდში გამოყოფენ ბევრ ლორწოს, წარმოქმნიან კაფსულებს, არიან უძრავი, საკვებ არეებზე კლებსიელები წარმოქმნიან გუმბათისებურ კოლონიებს.

**Proteus** - არიან მოძრავი, მოძრაობენ პერიტრიქალურად გახდაგებულ შიშის საშუალებით, აქვთ ფერმენტი ქსილოზა და ურეაზა, არიან უფრო მგრძობიარე ანტიბიოტიკების მიმართ, ვიდრე სხვა ენტერობაქტერიები. პროტეუსი არის საშის და მსხვილი ნაწლავის ფაკულტატიური ფლორის წარმომადგენელი.

**Shigella, Salmonella** – პირველი უძრავი ბაქტერიაა, მეორე მოძრავი, შიგულა არ წარმოქმნის გოგირდწყაღბადს, საღმონელა წარმოქმნის, შლის გლუკოზას და მანოზას აირების წარმოქმნით. ორივე არის ქემოორგანოტროფი, იწვევს ნაწლავურ დაავადებებს:

საღმონელები – ტიფს, პარატიფს, შიგულეები კი დიზენტერიას.

**Yersinia** – უძრავი, ცილინდრული ფორმის, არ წარმოქმნის სპორებს, საკვებ არეებზე წარმოქმნის მანაცრისფერო ლორწოვან ან ხორკლისებურ კოლონიებს, ასინთეზირებს სხვადასხვა ტოქსინებს, ფერმენტ კოაგულაზას და პროტეინაზას, ბაქტერიოცინ - პესტიცინს. აქვს ადჰეზიისა და კოლონიზაციის უნარი.

### ანაერობული გრამ (-) ბაქტერიოიდები

ვიბრიონის სახეობის გრამ (-) ჩხირები და ბაქტერიები ფართოდ არიან გავრცელებული ანაერობულ ეკოსისტემებში. ისინი წარმოდგენილი არიან ნაწლავებში, მგრძობიარე არიან უანგბადის მიმართ და საჭიროებენ თავიანთი განვითარებისათვის ნახშირორჟანგს.

**Bacteroides** დომინირებადი რიგია, ამ სახეობის მიკროორგანიზმები დიდი რაოდენობითაა ადამიანის განავალში, ლაქტობაცილებთან ერთდ. მეტაბოლიზმის ტიპი დუქლილია.

**Fusobacterium** – თითისტარისებური ფორმის ბაქტერიებია, მოგრძო ფორმის, მათი მეტაბოლიზმის პროდუქტი ბუტირატი. მოიპოვებიან ნაწლავებში, განავალში, იშვიათად პირის ღრუში.

ქემოლიტოტროფული ბაქტერიები, მეთანწარმოქმნელი და ქლამიდობაქტერიები არიან ამიაკის, ნიტრიტის, გოგირდისა, ნახშირორჟანგის, მეთანის და რკინის მწარმოებელი ბაქტერიები, რომელთაც დიდი როლი აქვთ ეკოსისტემების ჩამოყალიბებში, მაგრამ უმნიშვნელო არიან სამედიცინო თვალსაზრისით.

## ლექცია 13

### მოხრილი ჩხირები: სპირილები და ვიბრიონები

მოხრილი ჩხირების ჯგუფში შედის:

- აერობული გრამ (-) სპირალური და მოხრილი ბაქტერიები: Spirillum, Aquaspirillum, Azospirillum, Oceanospirillum, Campylobacter, Pelosigma და სხვ.
- ანაერობული გრამ (-) მოხრილი ჩხირები: Desulfovibrio, Vibrio, Succinivibrio, Seimonas
- ანაერობული და აერობული სპიროქეტები.

სამედიცინო თვალსაზრისით სწორედ ეს უკანასკნელი ქვეჯგუფი წარმოადგენს ინტერესს.

სპირილები და ვიბრიონები გრამ (-) წყლის ბაქტერიები არიან, რომლებსაც აქვთ შილტები და შეუძლიათ გადაადგილება.

სპირილები - გამოირჩევიან უჯრედის სპირალური აგებულებით, და უმეტესად შილტების ბიპოლარული განლაგებით. ენერგიას ისინი იღებენ სუნთქვით, თუმცა კარგად არსებობენ არეში ენგობადის მხოლოდ 5-10%-იანი შემცველობის დროს. სამედიცინო თვალსაზრისით ამ ქვეჯგუფში ყველაზე მნიშვნელოვანი წარმომადგენელია Campylobacter, რომელიც იწვევს ნაწლავურ დაავადებებს, ვრცელდება საკვებით, სასმელით ინფიცირებულ ცხოველებთან კონტაქტით. აქვს ლიპოპოლისაქარიდები ენდოტოქსინური აქტივობით და ციტოპათიური ეფექტის მქონე ექსტრაუჯრედული ტოქსინები. Campylobacter ები მგრძობიარეები არიან მაკროლიდების მიმართ.

Campylobacter ის გვარს მიეკუთვნება აერობული და მიკროაეროფილური მოძრავი, ვიბრიონის მსგავსი, გრამ (-) ბაქტერიები. გვარი მოიცავს 13 მდე სახეობას. ყველა მათგანი სპირალურად მოღრული უჯრედებია, შეიძლება გააჩნდეთ S ან C ფორმა, სპორებს და კაფსულებს არ წარმოქმნიან, აქვთ ერთი ან ორი პოლარულად განლაგებული შილტი 2-3 ჯერ უფრო გრძელი ვიდრე თვით ბაქტერიული უჯრედი, რომელიც მათ მოძრაობის უნარს ანიჭებთ. მგრძობიარეები არიან მზის პირდაპირი სხივების, გამოშრობის, სხვადასხვა სადენზიფექციო საშუალებებისადმი. მათ ვირულენტობის ფაქტორებს მიეკუთვნებათ შილტები და ფერმენტი მუცინაზა, რომელიც Campylobacter ების ნაწლავის ღორწოვან გარსში შეჭრაში ხელს უწყობს.

☞ Campylobacter ებს აქვთ ენტერო და ციტოტოქსინები. ენტეროტოქსინები არღვევენ ნაწლავების წყალ-მარილოვან ბალანსს, ხოლო ციტოტოქსინები იწვევენ ბაქტერიის მიმართ მგრძობიარე უჯრედების დაღუპვას.

Helicobacter ები არიან Campylobacter ებზე უფრო დიდ ზომის S სხეულოვანი ფორმის მიკროაეროფილები. 5-7 დღის ინკუბაციის შემდეგ უჯრედები იღებენ ოვოიდურ ფორმას. ლოფო ან მონოტრიქალური დაშოლტვა ახასიათებთ. ცოქსიერობას განაპირობებს რამდენიმე ტიპის ცოქსინი და სითბური შიკის ცილები. Helicobacter pylori გამოიყოფა კუჭისა და თორმეტგოჯა ნაწლავის წყლულოვანი დაავადებულ პირებს 80%-ში.

**ვიბრიონები** – არიან ფაკულტატიური ანაერობები, მეტაბოლიზმი - შერეული ტიპის მქონე დუდილი. ყველაზე პოპულარული წარმომადგენელია Vibrio cholerae ქოლერის გამომწვევი. ვრცელდება წყლის საშუალებით, “იზრდება” ნაწლავებში. გამოიყოფს ცოქსინს და იწვევს ლორწოვანი გარსის ფერმენტულ ღიზისს, რასაც ორგანიზმი გაუწყლოებამდე მიყავს. ვიბრიონები მოკლე, მოხრილი ან სწორი გრამ(-) უჯრედებია, არ წარმოქმნიან სპორებს, აქვთ ერთი, ორი ან მეტი პოლარულად განლაგებული შოლტი, ქემოორგანოტრი ფებია, მათი ზრდის ტემპერატურული ოპტიმიუმი 37<sup>0</sup>.

ქოლერის ვიბრიონს ყველა შემთხვევაში ნამოთველილი ნიშან-თვისების გარდა გააჩნია მძლავრი პათოგენურობის ფაქტორები - აქტიური მოძრაობისა და ქემოტაქსისის უნარი, ადჰეზიისა და კოლონიზაციის ფაქტორები, რომელთა დახმარებით ვიბრიონი ეწებება წვრილი ნაწლავის მიკროხალებს და ახდენს ლორწოვანი გარსის დასახლებას. აქვს ფერმენტები; მუცინაზა, პრეტეაზები, ნეირამინიდაზა და სხვ. რომლებიც ხელს უწყობენ ადჰეზიას და მკოლონიზაციას, რადგანაც სლიან ლორწოს შემადგენლობაში შემავალ ნივთიერებებს. პათოგენურობის მთავარი ფაქტორია ეგზოტოქსინი ქოლეროგენი - თერმოლაბილური ცილა, რომელსაც ძლიერ ენტეროტოქსინური თვისებები გააჩნია.

**სპიროქეტები** – ქემოპეტეროტროფული ბაქტერიების ჯგუფი, რომელსაც აქვთ ძალიან სახასიათო მორფოლოგია. მათი უჯრედი სპირალურია, როგორც სპირილისა, მაგრამ არის არა რიგიდული, არამედ ძალიან პლასტიური, თხელი და კარგად გადის წვრილფორიან ფილტრებში. ყველა სპიროქეტა გრამ (-). სპორებს არ წარმოქმნიან. სპიროქეტების უჯრედებში განირჩევა სამი ძირითადი კომპონენტი: პროტოპლაზმური ცილინდრი, გარშემორტყმული პლაზმატური მემბრანის კომპლექსითა და უჯრედული კედლით, რომელიც შეიცავს პეპტიდოგლიკანს, ლერძული ფიბრილები, რომლებიც იხვევა ცილინდრის ირგვლივ და ეწოდება აქსოსტილი (ფიბრილები ერთი ბოლოთი უჯრედის “ბოლოს” უერთდება, ხოლო მეორე ბოლო თავისუფალი აქვთ, უჯრედის ბოლოდან წამოსული ფიბრილები ბაქტერიას მთელ სიგრძეზე მიყვება ორივე

ბოლოდან და ცენტრალურ ნაწილში ერთმანეთს ფარავენ), და *კარეოა კარხი*, ახე მრავალშრიანი გარეგანი მემბრანა.

სპიროქეტებს არა აქვთ შიშვები, მათ არ შეუძლიათ “ცურვა”, მაგრამ კარგად დასრიალებენ მყარ ზედაპირზე. ამ ბაქტერიების გველისებურ, კლაკვით გადაადგილებაში საფიქრელია, რომ მონაწილეობენ ფიბრილები. ახასიათებთ ან თავისი ღერძის ირგვლივ სწრაფი ბრუნვა, ან სწახსოვანი მოძრაობა ან ხრახნისებური ტრაექტორიით მოძრაობა. სუნთქვის პიტის მიხედვით სპიროქეტები ანაერობები, ფაკულტატიური ანაერობები, მიკროაეროფილები ან აერობებია. მრავლდებიან ბინარული გაყოფის გზით. გარემოს არახელსაყრელი პირობების შემთხვევაში სპიროქეტები შეიძლება ტრანსფორმირდნენ სპიროქეტულ ცისტებად..

სპიროქეტები მოიცავენ 5 რიგს (გვარს):

1. Spirochaeta – მტკნარი და მარილიანი წყალსატევების მობინადრეები არიან.
2. Cristispira – მთლუსკების ნაწლავის მობინადრეები
3. Borellia – სხვადასხვა ძუძუმწოვრების (მათ შორის ადამიანის) ნაწლავური დაავადებები - ს გამომწვევი. Borellia ს რიგიდან ცნობილია აგრეთვე ლაიმის დაავადება.
4. Leptospira – ეველასე თხელი აერობული სპიროქეტები, რომლების სხვა სპიროქეტებისაგან განირჩევა აპრეხილი ბოლოებით. ახასიათებს ხრახნისებრი მოძრაობა. მგრძნობიარეა მზის სხივების, ტემპერატურის და გამოშრობის მიმართ. ვრცელდება წყლის საშუალებით.
5. Treponema – ამ ჯგუფის წარმომადგენლის T. pallidum ის მიერ გამოწვეული დაავადებაა სიფილისი, სისტემური, ქრონიკული, კონტაგიოზური დაავადება, რომელიც ხასიათდება თანდათანობითი კლინიკური სტადიებით და რამდენიმე წლიანი უსიმპტომო ლატენტიური პერიოდით. ტრეპონემა ტიპური სპიროქეტაა, მგრძნობიარე გამოშრობის, ტემპერატურის და ანტიბიოტიკების მოქმედების, განსაკუთრებით პენიცილინის ჯგუფის პრეპარატების მიმართ. მისი ციტოპლაზმა გარშემორტყმულია პლაზმატური მემბრანით. რომელსაც თავის მხრივ არტყია ლორწოვან – პეპტიდური გარსი – პერიპლასტი, რომლის შიდა შრე რიგიდულია, მაშინ როდესაც გარედან იგი ხელექციურად განვლადია - ოსმოსურად მგრძნობიარე. უჯრედის ორივე ბოლოში აქვს სამ-სამი ფიბრილა, რომლებიც მონაწილეობენ უჯრედის “შეკუმშვასა” და მის “ხახტამისებურ” გადაადგილებაში. მიკროაეროფილია, ხელოვნურ საკვებ ნიადაგებში ცუდათ იზრდება.

1

ეს ჯგუფები მოიცავს:

- ანაერობულ და აერობულ, ანოქსიგენურ და ოქსიგენურ ფოტოტროფულ ბაქტერიებს, ციანობაქტერიებს - ფოტოსინთეზური პიგმენტების მქონე ფართოდ გავრცელებული სხვადასხვა ფორმის ბაქტერიები: კოკები, ძაფისებური. წარმოქმნიან კაფსულებს, აქვთ უჯრედული ჩანართები და ქლოროფილი, რითაც ემსგავსებიან წყალმცენარეებს. ასევე აქვთ სპეციალიზირებული უჯრედები: ჰეტეროცისტები, სადაც ხდება აზოტის ფიქსაცია, აკინეტები - მოსვენებულ მდგომარეობაში მყოფი უჯრედები, კორმოგონიები და ბეოციტები უჯრედები, რომლებიც მონაწილეობენ გამრავლებაში,
- მოსრიადე ბაქტერიებს - გოგირდამგროვებელ (Beggiatoa, Thiotrix), ჩიადაკის (Myxococcus), წელის (Flexibacter), ცელულოზის დამშლელ (Cytophaga) და სხვ.
- დაკვირტვად და "ღეროს" მსგავს ბაქტერიებს - დეხიტრიფიკაციის გამომწვევ (Hyphomicrobium), რკინაშემკველ (Gallionella) და სხვ.
- ობლიგატურ უჯრედშიდა პარაზიტებს - რიკეტსიებს და ქლამიდიებს
- მიკოპლაზმებს.

ამ უკანასკნელ ორ ჯგუფს დიდი კლინიკური მნიშვნელობა აქვთ.

ობლიგატურ უჯრედშიდა პარაზიტებს ჩვეულებრივი ბაქტერიებისაგან განსხვავებს ის ფაქტი, რომ მათი გამრავლებისათვის აუცილებელია ფუნქციონირებად უჯრედში არსებობა. ასეთი უჯრედშიდა პარაზიტის საფუძველი აღბათ გამარტივებული ნივთიერებათა ცვლაა. ბაქტერიებს შორის ყველაზე კარგად შესწავლილი უჯრედშიდა ობლიგატური პარაზიტები არიან რიკეტსიები და ქლამიდიები. ეს ორივე ადამიანისა და ცხოველების დაავადების გამომწვევი გრამ (-) ორგანიზმებია.

### რიკეტსიები

რიკეტსიებმა თავისი სახელი მიიღეს ამერიკელი მეცნიერის რიკეტსის პატივსაცემად, რომელმაც პირველად აღწერა ლაქოვანი ციებ-ცხელება, დაავადება, რომელსაც იწვევენ რიკეტსიები. რიკეტსიების ბუნებრივ პატრონებს განეკუთვნებიან ფეხსახსრიანები (ტკიპები, რწიდელები, ტიღები), რომლებშიც ეს მიკრობები ბინადრობენ, როგორც სიმბიონტები. სხვა პატრონებთან მოხვედრის შემთხვევაში (მაგ. ადამიანის ორგანიზმში) რიკეტსიები იწვევენ მძიმე დაავადებებს, ციებ-ცხელებებს და სხვადასხვა ტიპის ტიფებს.

რიკეტსიები იმდენად პატარა ზომის არიან, რომ გვანახ ვირუსებს, მათსავით ცოცხალ უჯრედში მრავლდებიან, მაგრამ მათგან რასაკვირველია განსხვავდებიან.

უპირველეს ყოვლისა იმით, რომ შეიცავენ როგორც დნმ-ს ისევე რნმ-ს, მათი უჯრედი გარემოცულია უჯრედული კედლით, რომელიც შეიცავს მურამის მკვას და ლიზოციმის მოქმედებით ისევე იშლება, როგორც ნებისმიერი სხვა ბაქტერიის უჯრედული კედელი. რიკეტსიები საჭიროებენ ჟანგბადს, არიან პოლიმორფული კოკობაცილები – შეიძლება წარმოადგენი იყვნენ კოკების ან პატარა, მოკლე სხირების სახით. ახასიათებთ ციკლური განვითარება, რომელიც მოიცავს გადაძვინის როლში მწერს, ხოლო რეზერვუარის როლში ცხიველს. რიკეტსიებს აქვთ საკუთარი მეტაბოლიზმი, გააჩნიათ მეტაბოლიტური ფერმენტები, მაგრამ მეტაბოლიზმის რეგულაცია დამოკიდებულია პატრონ უჯრედის შემოქმედებაზე. მეტაბოლიზმის გზა მათთვის – დუდილია, ახასიათებთ მწვავე ინფექციების წარმართვა.

რიკეტსიების სხვადასხვა სახეობები იზრდებიან უჯრედის სხვადასხვა ადგილას. ერთნი, მაგ ტიფების გამომწვევეები იზრდებიან ციტოპლაზმაში. ცხილების გამომწვევეები კი ბირთვში. საერთოდ რიკეტსიები კარგად იზრდებიან თუ პატრონ უჯრედის მეტაბოლიტური აქტივობა დაბალია.

რიკეტსიები მგრძობიარენი არიან გამოშრობის, ტემპერატურის, სადენზიფიკაციო საშუალებების, ტერაციკლინის და ქლორამფენიკოლის მიმართ.

მათი პათოგენური იბის ფაქტორებია ფიმბრიები, ლიპოპოლისაქარიდები და ზოგიერთი ზედაპირული ცილა. ფიმბრიებისა და ზედაპირული ცილების საშუალებით რიკეტსიები ემაგრებიან სამიზნე უჯრედებს, ფერმენტებით აფაშარებენ უჯრედულ ლიპიდურ შრეს და იჭრებიან მასში. თავიანთი საციკოცხლო ციკლის განხორციელების შემდეგ უჯრედიდან გამოთავისუფლდებიან “გამოკვირტვით”. აზაინებენ მაკროფაგებს, ერითროციტებს, ენდოთელიუმის უჯრედებს.

რეტსიებიდან ციებ-ციხილებას იწვევენ *R. burnetii*, *R. conorii*, *R. sibirica*. ხოლო ტიფებს იწვევენ *R. prowazeki*, *R. typhi*. რადგან რიკეტსიების უმეტესობა გვხვდება განსაზღვრულ გეოგრაფიულ ადგილებში, იმის ცოდნას, თუ სად ცხივრობს ან სად იმყოფებოდა უახლოეს წარსულში დაავადებული სადიაგნოსტიკო მხიშხელობა აქვს.

## ქლამიდიები

ქლამიდიების შემთხვევაში ობლიგატური უჯრედშიდა პარაზიტიზმი რეგრესიული ევოლუციის შედეგია. პატრონ უჯრედი ქლამიდიას სჭირდება იმიტომ, რომ მას თვითონ დაკარგული აქვს რიგი სინთეზური პროცესების წარმოების უნარი. მათ არ შეუძლიათ ატფ-ის რეგენერაცია და არა აქვთ სრული მეტაბოლიზმის წარმოების უნარი. ამიტომ ქლამიდიები ვითარდებიან მხოლოდ ცოცხალ უჯრედში. მათთვის აუცილებელი კოფაქტორების დამატებისას არეში ქლამიდიები

ახორციელებენ გლუკოზის, პირუეურძნის მჟავისა და გლუტამინის მჟავების მეტაბოლიზირებას.

ქლამიდიებს ადრე განაკუთვნიებდნენ ვირუსებს თავიანთი ზომების გამო. ზომებიდან გამომდინარე მათ გენომიც ძალზე პატარა აქვთ, თუმცა, როგორც რიკეტსიები, ესენიც შეიცავენ როგორც დნმ-ს, ასევე რნმ-ს, გამოიმუშავენ მურამის და ფოლის მჟავას, რომელსაც ნორმაში არ აწარმოებს ეუკარიოტული უჯრედი, აქვთ უჯრედის კედელი, რიბოსომები და არიან გრამ (-) ბაქტერიები. სხვადასხვა ფორმის ბაქტერიები: შეიძლება ჰქონდეთ ოვალური, ჩხირისებრი ან ჩახევიარძოვარისებრი ფორმა. მგრძობიარე არიან ტეტრაციკლინის რიგის ანტიბიოტიკების მიმართ.

ქლამიდიებისათვის დამახასიათებელია უნიკალური რეპროდუქციული ციკლი, რომელშიც მთონაწილობს მიკროორგანიზმის ორი ფორმა: უჯრედგარე - ელემენტარული სხეულაკი და უჯრედშიდა - ბადისებრი სხეულაკი. ელემენტარული სხეულაკი ადაპტირებულია უჯრედგარე არსებობასთან და ინფექციურ ფორმას წარმოადგენს, ისინი უკავშირდებიან მგრძობიარე უჯრედ სამიზნეებს სპეციფიური რეცეპტორების საშუალებით (როგორც წესი დამაკავშირებელ უჯრედებს წარმოადგენენ ცილინდრული ან გარდამავალი ეპითელიუმი) და ოკრებიან უჯრედში ფაგოსომის წარმოქმნის გზით. 8 საათის განმავლობაში ელემენტარული სხეულაკები გარდაიქმნიებიან (რეორგანიზდებიან) ბადისებს სხეულაკად, ეს ფორმები კი ადაპტირებულია უჯრედშიდა არსებობისა და გამრავლებისათვის.

ქლამიდიები აერთიენებს სამ სახეობას: *Chlamydia trachomatis*, *C. psittaci*, *C. pneumoniae*. პირველი იწვევს ტრახომას ანუ ეგვიპტურ კონიუქტივიტს და ასევე კენერიულ დაავადებას – კენერიულ ლიმფოგრანულემატოზს, მეორე იწვევს ორნიტოზს, ფილტვების დაავადება, რომლის გამავრცელებელიც არიან ფრისველები და მესამე იწვევს პნევმონიას, ბრონქიტს, სინუსიტს.

### **მიკოპლაზმები (Mollicutes)**

ვალკე გამოყოფილი დიდი ჯგუფებიდან ბაქტერიების ეს ჯგუფი ყველაზე მცირე ზომის პროკარიოტები არიან, რომელსაც შესწევთ დამოუკიდებლად გამრავლების უნარი. მათ ადრე უწოდებდნენ pleuropneumonia like organisms (PPL.O), რომლებიც იწვევდნენ პნევმონიის მაღალკონტაგიოზურ ფორმებს. დღესდღეობით მათ განაკუთვნიებენ Mollicutes, ანუ “რბილკანიანთა” ჯგუფს. ცნობილია ამ ჯგუფის 150-ზე მეტი წარმომადგენელი, მაგრამ კლინიკურად მნიშვნელოვანი აქედან რამდენიმეა: *Mycoplasma pneumoniae* – იწვევს სასუნთქი გზების დაავადებებს,

M. hominis – იწვევს შარდსასქესო გზების დაავადებებს,

M. genitalium – იწვევს საშარდე გზების დაავადებებს,

Ureaplasma urealyticum – იწვევს შარდსასქესო გზების დაავადებებს.

მიკოპლაზმები არიან ძალიან პატარა ზომის, , თავისუფლად გადიან უმეტესობა ბაქტერიულ ფილტრში, მათი გენომი დაახლოებით ორი ვირუსული გენომის ტოლია. არიან ძალზე პლეომორფული, იმის გამო, რომ არ გააჩნიათ მყარი უჯრედული კედელი, მის ნაცვლად აქვთ სამშრიანი “გაერთიანებული მემბრანა”, რომელიც შეიცავს სტეროიდებს, აქედან წარმოსდგება მათი “რბილკანიანი” სახელწოდება. უჯრედული კედლის არქონების გამო უჯრედები არიან ობოსურად ძალიან ლაბილურები, არ იღებებიან გრამის წესით და მათზე არ მოქმედებს პენიცილინები. რომელთა მოქმედება ზოგადად დამყარებულია სწორედ უჯრედული კედლის დაშლაზე. მიკოპლაზმებს აქვთ დნმ- რნმ, მრავლდებიან მარტივი დაყოფით, არიან ფაკულტატიური ანაერობები, ახასიათებთ მაღალი აფინობა ძუძუმწოვრების უჯრედული მემბრანების მიმართ. მგრძობიარეები არიან მექანიკური, ფიზიკური და ქიმიური ფაქტორების მიმართ, შეუძლიათ ხელოვნურ საკვებ არეებზე ზრდა. უჯრედული კედლის არარსებობის გამო აბსოლუტურად მდგრადი არიან პენიცილინების მიმართ.

მიკოპლაზმების უმეტესობა იწვევს ერთროციტების კემოლიზს და იყენებს გლუკოზას ენერჯის წყაროდ, თუმცა ურეაპლაზმები იყენებენ შარდოვანას. მიკოპლაზმები არიან პარტონ და უჯრედსპეციფიურები, აზიანებენ უმეტესად მეზოთელიურ უჯრედებს (ფილტვში, პერიტონიუმში), მათი გამოყოფა შეიძლება ადამიანის ქსოვილებიდან, განსაკუთრებით შარდსასქესო და რესპირატორული ტრაქტებიდან.

## ლექცია 14

### სოკოები

სოკოები წარმოადგენენ მიკროორგანიზმების ერთ-ერთ ყველაზე დიდ და მრავალფეროვან ჯგუფს, მათ განეკუთვნება 80 000 მდე სახეობა. ისინი განეკუთვნებიან სამეფოს Fungi (Myces, Mycota), გაერცვლებულები არიან ყველაზე: წყალშიც და ხმელეთზეც. მათ ბიოტექნოლოგიებში დიდი როლი ენიჭება, ვინაიდან ისინი გამოიყენება ადამიანების მიერ სხვადასხვა სამედიცინო და სამკურნელო წარმოებებში: ანტიბიოტიკებისა და აქტიური ნივთიერებების სინთეზის, დუდილის უნარისა და საფუარა სოკოების გამო.

სოკოებს განეკუთვნებიან სხვადასხვა ობის სოკოები, რომლების იზრდებიან უმ. ნედლ ორგანულ მასალაზე (პურზე, კანზე, ხორცზე), ერთუჯრედიანი საფუარები, რომლებიც იწვევენ დუდილს და მრავალუჯრედიანი პარაზიტული სოკოები, რომლებიც იწვევენ სხვადასხვა ტიპის დაავადებებს.

სოკოებს შეისწავლის მიკოლოგია (ბერძ. mykes – სოკო), მიკრობიოლოგიის ერთ-ერთი დარგი ვინაიდან, სოკოების კვლევაში გამოყენებული მეთოდების უმრავლესობა პრაქტიკულად არ განსხვავდება მიკრობიოლოგიური მეთოდებისაგან.

სოკოები (ლათ. fungi) განეკუთვნებიან ეუკარიოტულ ორგანიზმებს. მათ შეაღებური ადგილი უჭირავთ მცენარეულ და ცხოველურ სამყაროს შორის. მცენარეებთან მათ ანათესავენ უჯრედული კედლის და ვაკუოლების არსებობა, პროტოპლაზმის მოძრაობა, აქტიური გადაადგილების უნარის უქონლობა, მაგრამ მათ არა აქვთ ქლოროპლასტები, როგორც მცენარეებს, არა აქვთ მორფოლოგიურად მკვეთრად დიფერენცირებული აგებულება (როგორც მაგ, მცენარეებს ფესვები, ღერო, ფოთლები), სოკოების მორფოლოგია სუსტად არის გამოხატული. კვების ტიპი მცენარეებს ავტოტროფული აქვთ, ხოლო სოკოებს, კი ცხოველებით ჰეტეროტროფული. სოკოები ცხოველებით წარმოქმნიან შარდოვანას და გლიკოგენს და მათ აქვთ ცხოველური პიგმენტი მელანინი, რომელიც არ მოიპოვება მცენარეებში. ეს თვისებები მათ ამსგავსებს ცხოველებს.

### სოკოების აგებულება

1) სოკოებს აქვთ გარსიანი ბირთვი, ორგანელებიანი ციტოპლაზმა, ციტოპლაზმატური მემბრანა და მრავალშრიანი, რიგდული უჯრედული კედელი, რომელიც შედგება პოლისაქარიდების რამდენიმე ტიპისაგან (მანანების, გლუკანების,

(ველულოზის, ქიტინისაგან), ასევე, ცილების ლიპიდებისა და სხვ. ციტოპლაზმური მემბრანა კი შეიცავს გლიკოპროტეინებს, ფოსფოლიპიდებს და ერგოსტეროლებს (ძუძუმწოვრების მთავარი სტეროლის – ქოლესტეროლის ანალოგს). აგებულების მიხედვით არსებობს ორი პიტის სოკოებს: ჰიფურ და საფუარისებურს

### ჰიფური (ობის სოკოები)

სოკოს ვეგეტატიური სხეული, რომელსაც თაღოვან უწოდებენ შედგება თხელი, 5 მკმ-იანი სისქის ღრუიანი “ძაფებისაგან”, რომლებსაც ჰიფებს უწოდებენ. ჰიფების მთელი მასის ერთობლიობას უწოდებენ მიცელიუმს. ასხვავებენ მიცელიუმის სუბსტრატულ ზრდას, ანუ როდესაც ჰიფები იზრდება სუბსტრატში. ასეთი ტიპის მიცელიუმი არის ვეგეტატიური და ჰიფები პასუხისმგებელია სოკოს კვებაზე და ასევე, არსებობს ჰაეროვანი ზრდას, როდესაც ჰიფები იზრდება სუბსტრატის ზედაპირზე. ამ შემთხვევაში ჰიფებს უწოდებენ ჰაეროვანს და ისინი პასუხისმგებლები არიან სოკოს გამრავლებაზე. ანუ, სოკოს ნაწილი ნაზრდილია სუბსტრატში და ასაზრდაებს სოკოს მთელს მიცელიუმს, ხოლო ნაწილი კი სუბსტრატის ზედაპირზე იზრდება.

ყოველი ჰიფი გარშემორტყმულია მტკიცე კედლით, რომლის ძირითად კომპონენტს წარმოადგენს ქიტინი – აზოტშემცველი პოლისაქარიდი. ჰიფებს არა აქვთ უჯრედული აგებულება, თუმცა შეიცავენ ციტოპლაზმას და სოციერთ მათგანს აქვთ განივი ტიხრები – სეპტები. სეპტებით გადატიხრული ჰიფებს, უწოდებენ სეპტირებულს და ისინი მოგვაგონებს მარტივ უჯრედებს, თუმცა რეალურად ეს უჯრედები არ არის, ეს არის ცალკეული კომპარტმენტები – განყოფილებები, რომელთა შორისაც ფორების საშუალებით მიმოივლება ციტოპლაზმა. ფორები ტიხარის ცენტრში მდებარეობს. ყოველ განყოფილებაში, ანუ კომპარტმენტში შეიძლება იყოს ერთი, ორი ან რამდენიმე ბირთვი, განლაგებული ჰიფის გასწვრივ. ჰიფების ციტოპლაზმაში განლაგებულია მიტოქონდრიები, გოლჯის აპარატი, ენდოპლაზმატური რეტიკულუმი და რიბოსომები ვაკუოლები და ეუკარიოტებისათვის დამახასიათებელი სხვა ორგანოები.

ჰიფებს, რომლებსაც არა აქვთ ტიხრები და არიან დაუნაწევრებელი, უწოდებენ არასეპტირებულს, ასეპტირებულს ან ცენოციტებს და ახასიათებთ ძირითადად უმდაბლეს სოკოებს.

### საფუარისებური სოკოები

1 საფუარა სოკოები წარმოადგენილი არიან ცალკეული, თავალური ფორმის უჯრედებით. თუმცა შეუძლიათ ფსევდოპიფების და ფსევდომიცელიების წარმოქმნაც, რომლებიც წარმოადგენს წაგრძელებული უჯრედების “ძეწკვებს”. საფუარები

მრავლდებიან ძირითადად დაკვირვებით. დაკვირვების პროცესს წინ უხსრებს უჯრედის კედლის ერთ-ერთი უბნის ლიზისი და ციტოპლაზმის ერთ-ერთი ფრაგმენტის ამობურცვა. შემდეგ, დედა-უჯრედის ბირთვში იწყება მიტოზი და წარმოქმნილი ახალი ბირთვი გადაიტანება ციტოპლაზმის გამოკვირვულ ფრაგმენტში. ამის შემდეგ, დედა-უჯრედსა და კვირტს შორის წარმოიქმნება ტიხარი, რომელიც ადადგებს უჯრედის კედლის მთლიანობას და აცალკევებს შვილულ უჯრედებს. საკვებ ხიდაგებში საფუარები და საფუარისმაგვარი სოკოები წარმოქმნიან ბაქტერიების კოლონიების მსგავსს ამობურცულ კოლონიებს.

სოკოების ზრდა, გამრავლება და კვება

ბევრ სოკოს ახასიათებს დიმორფიზმი – ანუ, მათ შეუძლიათ ორივე ტიპის: ჰიფური ან საფურისებური ტიპის ზრდა, კულტივირების პირობების მიხედვით. მაგ. ინფიცირებულ ორგანიზმში ისინი იზრდებიან როგორც საფუარები, ხოლო საკვებ არეებზე კი ჰიფურად და წარმოქმნიან მიცველიუმებს.

სოკოების უმრავლესობა ობლიგატური აერობები არიან, თუმცა გვხვდება ფაკულტატური ანაერობებიც.

სოკოების ჰიფები იზრდება დაბოლოებების, წვეროების დაგრძელებით, ამას ეწ. აპიკალური ზრდა. სოკოების უმრავლესობაში მიცველიუმის ხებისმიერ საწიღს აქვს ზრდის და “დაგრძელების” უნარი. დათესვისათვის საკმარისია მიცველიუმის პატარა “ნაგლეჯი”, მისგან უპრობლემოდ წარმოიქმნება სრული თაღამი. გამრავლების უზრუნველყოფი სტრუქტურები და მექანიზმები ძალზე მრავალფეროვანია სოკოებში და ამაზე დაფუძნებული სოკოების კლასიფიკაცია.

ასხვაგვარ ორი ტიპის გამრავლებას – სქესობრივს და უსქესოს.

**უსქესო გამრავლება** – ხორციელდება სპორების საშუალებით, დაკვირვებით ან ფრაგმენტაციით.

ყველაზე გავრცელებული და დიფერენცირებული სპორის წარმოქმნის პროცესია. სპორები წარმოიქმნება სხვადასხვა ადგილებში, თუ ეს ჰიფის ბოლოა, მაშინ მას უწოდებენ **ეკზოგენურ** სპორას, ანუ კონიდიას. ამ შემთხვევაში ჰიფის თანაბარი სექტირების და დანაწევრების შედეგად, ჰიფის ბოლოდან წედება ერთ-ერთი, ყველა ორგანელის შემცველი კომპარტმენტი და ეს კომპარტმენტი ყალიბდება სპორად. ასეა პენიცილინის და ასპერგილუსის სოკოს შემთხვევაში. ხშირად, სპორას შეუძლია გადაადგილება, იმიტომ, რომ აქვს შოლტი, ასეთ მოძრავ სპორებს ზოოსპორებს უწოდებენ. ჰიფი, ასევე, შეიძლება გადატიხვრის ადგილებში “დატყდეს” მრავალ “უჯრედად” – ოდიებად ანუ ართროსპორებად და ეს “უჯრედები” ასევე

გამოყენებული იქნენ გასამრავლებლად. თუ სპორას აქვს სქელი გარსი და არის ძალიან მდგრადი გარემო ფაქტორების მიმართ, ლაპარაკობენ ქლამიდოქსპორებზე.

საფუარა სოკოები კი მრავლდებიან დაკვირვებით და ამ შემთხვევაში დაკვირვებით წარმოქმნილ სპორებს უწოდებენ ბლასტოსპორებს.

სქესობრივი გამრავლება სოკოებში, კი ისევე, როგორც სხვა ეუკარიოტებთან, გულისხმობს ორი ბირთვის შერწყმას. სქესობრივ გამრავლებაში არსებობს სამ ფაზას:

- **პლაზმოგამია** – ორი პროტოპლასტის შეერთება. ორი უჯრედის შეერთების შედეგად წარმოიქმნება ორბირთვიანი ერთი უჯრედი. ასეთი დიკარიონი (წყვილი ბირთვი) ერთმანეთს უცხად არ ერწყმის. შემდგომი გაყოფის დროსაც კი უჯრედები შეიძლება დარჩნენ დიკარიონულ ფაზაში. ეს ორივე ბირთვი იყოფა ერთდროულად. მხოლოდ მოგვიანებით ხდება ამ ბირთვების, კარიოგამების შერწყმა დიპლოიდური ზიგოტის წარმოქმნით.
- ეს უკვე არის მეორე ფაზა – კარიოგამია. კარიოგამიას თან მოხდევს
- მეოზი ანუ რედუქციული დაყოფა, მესამე ფაზა, რომლის დროსაც ხდება ქრომოსომთა რიცხვის შემცირება კაპლოიდურამდე.

უმდაბლეს სოკოებში სქესობრივი გამრავლება იწყება სქესობრივი უჯრედების, გამეტების წარმოქმნით. გამეტები წარმოიქმნება მორფოლოგიურად განსხვავებულად დიფერენცირებულ უჯრედებში – გამეტანგიებში. თუ, მამრობითი და მდედრობითი გამეტები მორფოლოგიურად ერთმანეთის მგავსია მათ იზოგამეტებს უწოდებენ. თუ განსხვავებულია, მდედრობით გამეტას უწ. ოოგონიას, ხოლო მამრობითს ანტერიდიას. გამეტები სხვადასხვანაირად შეიძლება იქნენ გადატანილი - მაგ. წყლის სოკოებს ორივე გამეტა მოძრავი აქვთ, ცილიცებებში მოძრავი მხოლოდ მამრობითი გამეტაა, რომელიც აღწევს ოოგონიაში და ახაყოფიერებს მას. ზიგამიციტებში ხდება გამეტანგიოგამია – მთლიანი გამეტანგიების შერწყმა ერთმანეთთან ცენოზიგოტის წარმოქმნით.

თუ, მდედრობითი და მამრობითი გამეტები წარმოიქმნება სოკოს ერთი და იგივე ვეგეტატიურ სხეულში, ლაპარაკობენ ჰომოთალამურ (ანუ ჰერმაფროდიტულ) სოკოებზე, ჰეტეროთალამუსურ სოკოებში (ანუ, სადაც მდედრობითი და მამრობითი გამეტები წარმოიქმნიან სხვადასხვა სხეულში) თალამუსები ერთმანეთისაგან განსხვავდება. ჰომოთალამუსურ სოკოებში შესაძლებელია თვითგანაყოფიერებაც ანუ აუტოგამია.

სოკოები არიან ჰეტეროტროფები, ანუ ისინი მოიხმარებენ ორგანულ სასმირბადს. ამის გარდა, მათ ასევე სჭირდებათ აზოტი, არაორგანული იონები, მიკროელემენტები, და ზრდის ორგანული ფაქტორები ვიტამინების სახით. პარაზიტარულ სოკოებს

ორგანული კომპონენტების უკვე მზა ნაერთები სჭირდებად. სოკოები საკვებს ითვისებენ თავიანთი ზედაპირის მიერ შეწოვის გზით – დიფუზიით. კვების ტიპი (ჰეტეროტროფული) სოკოებს ცხოველური აქვთ, ხოლო საკვების შეთვისების ეს გზა კი მცენარეულია. საკვების მონელება ხდება ფერმენტების საშუალებით.

სოკოები შეიძლება იყვნენ:

- საპროფიტები რომლებიც გამოიმუშავენ მრავალფეროვან ფერმენტებს. შესაბამისად ზრდისათვის შეუძლიათ მრავალნაირი სუბსტრატის გამოყენება. საპროფიტი სოკოებისათვის დამახასიათებელია ქემოტროპიზმი ანუ საკვების არსებობის მიმართულებით ზრდა. საპროფიტები წარმოქმნიან სპორებს და იოლად მრავლდებიან. საპროფიტი სოკოები და ბაქტერიები ერთად წარმოქმნიან ე.წ. რედუცენტების ჯგუფს, რომელთა გარეშეც წარმოუდგენელია ელემენტების წრებრუნვა ბუნებაში, სხვადასხვა სამრეწველო და ტექნოლოგიური პროცესები პურის, ლუდის, რძის პროდუქტების, ვიტამინებისა და ანტიბიოტიკების წარმოება.
- პარაზიტები – პარაზიტი სოკოები შეიძლება იყვნენ ობლიგატური ან ფაკულტატური. ობლიგატური პარაზიტები არ იწვევენ თავიანთი პატრონების დაღუპვას, ფაკულტატური პარაზიტები კი იწვევენ პატრონების დაღუპვას და შემდგომ არსებობენ მკვდარ ნარჩენებზე. პარაზიტი სოკოები არსებობენ მცენარეებისა და ცხოველებისა (იმის და მიხედვით, თუ რომელია (ცხოველი თუ მცენარე) სოკოს პარტონი, განსხვავდება მათი ფერმენტების სპექტრი ანუ, ფერმენტების მრავალფეროვნება დამოკიდებულია იმაზე თუ რა სახის ქსოვილის გამოყენება უწევს სოკოს სუბსტრატად. მცენარეების პარაზიტები კვებისათვის წარმოქმნიან სპეციალურ პიფებს – გაუსტორიებს, რომლებიც აღწევენ მცენარეულ უჯრედში მისი მინიმალური დაზიანებით. პარაზიტული სოკოების სპორები როგორც წესი განსაკუთრებით მდგრადები არიან.
- სიმბიოზები – სოკოებს შეუძლიათ სიმბიოზური ურთიერთობების ჩამოყალიბება: მცენარეების ფესვებსა და სოკოს შორის და ამ სიმბიოზურ ურთიერთობას ეწ. მიკორიზა.

### სოკოების კლასიფიკაცია

არსევენ:

1. ღორწოვანა სოკოებს – Myxomycetes, Acrasiomycetes
2. უმდაბლეს სოკოებს – Oomycetes, Zygomycetes, Plazmidiophoromycetes
3. უმაღლეს სოკოებს, რომლებშიც აერთიანებენ;

- ჩანთიან სოკოებს - Ascomycetes.
- ბაზიდიომიციტებს Basidiomycetes.
- არასრულყოფილ სოკოებს – Fungi imperfecti, Deiteromycetes

სამედიცინო თვალსაზრისით მნიშვნელოვანი არიან უმდაბლესი სოკოებიდან ზიგომიციტები და უმაღლესი სოკოები. ყველა სამედიცინო თვალსაზრისით მნიშვნელოვან სოკოს ახასიათებს უსქესო გამრავლება.

ზიგომიციტები განეკუთვნებიან უმდაბლეს სოკოებს. გავრცელებულები არიან ნიადაგში, ჰაერში, იწვევენ ფილტვებისა და თავის ტვინის ზიგომიკოზს ადამიანებსა და ცხოველებში. მრავლდება ძირითადად უსქესოდ, ჰიფებზე შესქელებული მომრგვალებული უბნების - სპორანგიების ჩამოყალიბებით. რომლებიც შეიცავს მრავალ სპორას.

ასკომიციტების ძირითადი სპორამატარებელი "ორგანო" არის "ჩანთა" ანუ ასკი (აქედან წარმოსდგება სოკოების ამ კლასის დასახელება). ასკში ვითარდებიან ასკოსპორები და აქვე ხდება კარიოგამია და მეიოზი, ანუ ასკი ამავდროულად არის სქესობრივი გამრავლების საბოლოო სტადია. ასკს უწოდებენ ნაყოფწარმოქმნის სრულყოფილ ფორმას. მაგრამ ბევრ ასკომიციტს გამრავლება შეუძლია უსქესო გზით მხოლოდ კონიდიებით. ნაყოფიერების ასევე ფორმას უწოდებენ არასრულყოფილს. ანუ, ასკომიციტებს განვითარების სხვადასხვა სტადიაზე შეუძლიათ გამრავლება როგორც უსქესო, ასევე სქესობრივი გზით, მაგრამ როგორც ავლნიშნეთ, ასკომიციტებიდან კლინიკურად მნიშვნელოვანი სახეობები, მაგ. Candida, Cryptococcus, Aspergillus, Penicillium მრავალდებიან დაკვირვებით ან სპორაწარმოქმნით ანუ უსქესოდ.

ითვლება, რომ არასრულყოფილი სოკოები სხვა არაფერია თუ არა ასკომიციტები როდესაც ისინი არიან უსქესო განვითარების სტადიაზე. აქედან წარმოსდგება მათი სახელწოდებაც Fungi imperfecti – არასრულყოფილი სოკოები, იუმცა მათ შემთხვევაშიც აქვს ადგილი პარასექსუალურ პროცესს. როგორც ასკომიციტებში, აქაც გვხვდება პლაზმოგამიის, კარიოგამიის და მეიოზის მოვლენა, აგრამ არა განვითარების გარკვეულ სტადიაზე, ანდა ვეგეტატიური სხეულის არკვეულ უბანში, როგორც ეს ასკომიციტებშია, არამედ სულ სხვა ფორმით. არასრულყოფილი სოკოების მიცვლილში შეიძლება იყოს კომპარტიული, ანუ ეიცავდეს მხოლოდ ერთი ტიპის ბირთვებს, ან ჰეტეროკარიონული, ანუ შეიცავდეს ხვადასხვა ტიპის ბირთვებს. ისეთი პროტოპლასტების გაერთიანებისას, რომლებიც ეიცავენ სხვადასხვა ტიპის ბირთვებს, წარმოიქმნებიან ჰეტეროკარიონები. <sup>1</sup>წველიუმში მოხვედრილი "უცხო" ბირთვი მრავლდება და წარმოქმნილი შეიღვეული აობები ვრცელდება მიცვლიუმში. პერიოდულად მიმდინარეობს კარიოგამია და

მეითზი. ასე, რომ პარასექსუალური ციკლი გენური მასალის ისეთივე ეფექტურ რეკომბინაციას აპრობებს, როგორც სრულყოფილი სქესობრივი პროცესი.

ზოგიერთი კლინიკურად მნიშვნელოვანი სოკოს კლასიფიკაცია

ტაქსონომიური ჯგუფი	ძირითადი სახეობები
Zygomycota	Rhizopus, Mucor, Conidiobolus, Rhizomucor, Absidia
Ascomycota	Saccraomyces, Penicillium, Pseudallescheria, Nectri
Basidiomycota	Amanita, Agaricus, Filobasidiella
Deiteromycota	Candida, Criptococcus, Trichosporon, Epidermophyton, Coccidioides, Paracoccidioidea, sporotrix, Aspergillus, Cladophialophora, Bipolaris