

تعرف الخلية Cell بأنها الوحدة الاساسية للكائن الحي التي لها القدرة وبشكل مستقل على التكاثر الخلوي او الانتاج **Reproduction** والتي تتكون من الساييتوبلازم والنواة (او منطقة نووية) ومحاطة بغشاء خلوي. وتعرف الخلية ايضاً بأنها وحدة **unit** محاطة بغشاء مكون من طبقتين مزدوجة **Bilayer** من الدهون المفسفرة **Phospholipids** وتحتوي هذه الوحدة على الانزيمات **enzymes** وعناصر اخرى تمكنها من القيام بالعمليات الايضية **metabolism** والتكاثر الخلوي **reproduction** المستقل واما الايض فانه يستند الى اساس توليد المركب الغني بالطاقة الكيميائية وهو ادنوسين ثلاثي الفوسفات **ATP** واما التكاثر الخلوي فهو يستند الى المادة الجينية الوراثية **DNA** الحاملة للمعلومات الوراثية .

## نظرية الخلية Cell Theory

في العام ١٨٣٨ وضع عالم النبات الالماني شلايدن فكرة ان الخلايا هي وحدات التركيب في

النبات وفي العام ١٨٣٩ وضع عالم الحيوان الالماني شوان فرضيات شلايدن على الحيوان وكلاهما قد افترض بأن الخلية هي الوحدة الاساسية للتركيب والوظيفة في الحياة وهذا مايعرف حالياً بمبدأ الخلية وفي الحقيقة فإن شلايدن وشوان قد استندا في فرضيتهم هذه على ما توصل اليه باحثين اخرين امثال **Oken (١٨٠٥)** ، **(1807)** ، **Mirbel** ، **Dutrochet (1824)** ، **Lamarck (1809)** ، **Turpin (1826)**

وتضمنت هذه النظرية البنود الآتية :

١- الخلايا هي الوحدات الاساسية للحياة على الارض ولايوجد هناك كائن على الارض له صفة الحياة وليس مكوناً من الخلايا

٢- جميع الكائنات الحية مبنية من الخلايا وكل كائن حي على الارض مكون اما من خلية واحدة او من خلايا متعددة.

٣- نشأت جميع الخلايا السابقة (او السلف) من انقسام الخلايا الحية وليس بتجميع اجزاء الخلية وموادها الكيميائية أي ان المبدأ هو من الحياة تأتي الحياة .

٤- الخلايا هي الوحدات الوظيفية للحياة حيث تتم فيها كل التفاعلات الكيميائية لادامة حياتها وتكاثرها.

٥- ان الخلايا المتعددة للكائنات الحية ترتبط احياناً لتكوين الانسجة التي تقوم بوظيفة وحدات منفردة.

٦- ان الخلايا في الكائنات متعددة الخلايا تتجمع وتترابط باحكام لكي تتمكن من الانقسام فتأخذ شكلاً متميزاً وتقوم بالوظائف الضرورية. ان نظرية الخلية **Cell theory** هي اشبه بحجر الزاوية للعلوم وكما ان الوحدات

الاساسية للمادة هي الذرات والوحدات الاساسية للمركبات هي الجزيئات فالوحدات الاساسية للحياة هي الخلايا ولكن ليست الخلايا بتلك الدرجة من البساطة لكي نعدّها المادة البنائية للحياة كالجزيئات التي تبني من الذرات وانما هي المادة الحية من الكائن الحي التي تتضمن جميع الاجزاء الحية وتجعل الحياة ممكنة وتؤدي وظيفتها كالتنظيم **Organization** والحركة **Movement** واستخدام الطاقة **Energy use** والانتاج **Reproduction** والاستجابة للمحفزات **Response to stimuli** والنمو **Growth** وغيرها وعليه فلا يمكن ان نفهم حقيقة الكائنات الحية مالم ندرس وحداتها الحية البسيطة (الخلايا) فنظرية الخلية اشارت الى نقطة جوهرية من خلال التركيز على الخلايا ثم قام العلماء بوضع اسئلة محددة حول كيفية عمل الحياة واكتشفوا الكثير من الاجابات والاسرار ذات الاهمية الكبيرة .

### الخواص المشتركة للخلايا

تختلف الخلايا فيما بينها من حيث الحجم والشكل والذي يعتمد على نوع الكائن الحي ووظيفته وبالرغم من هذه الاختلافات الا ان لمعظم الخلايا خواص اساسية مشتركة وهي :

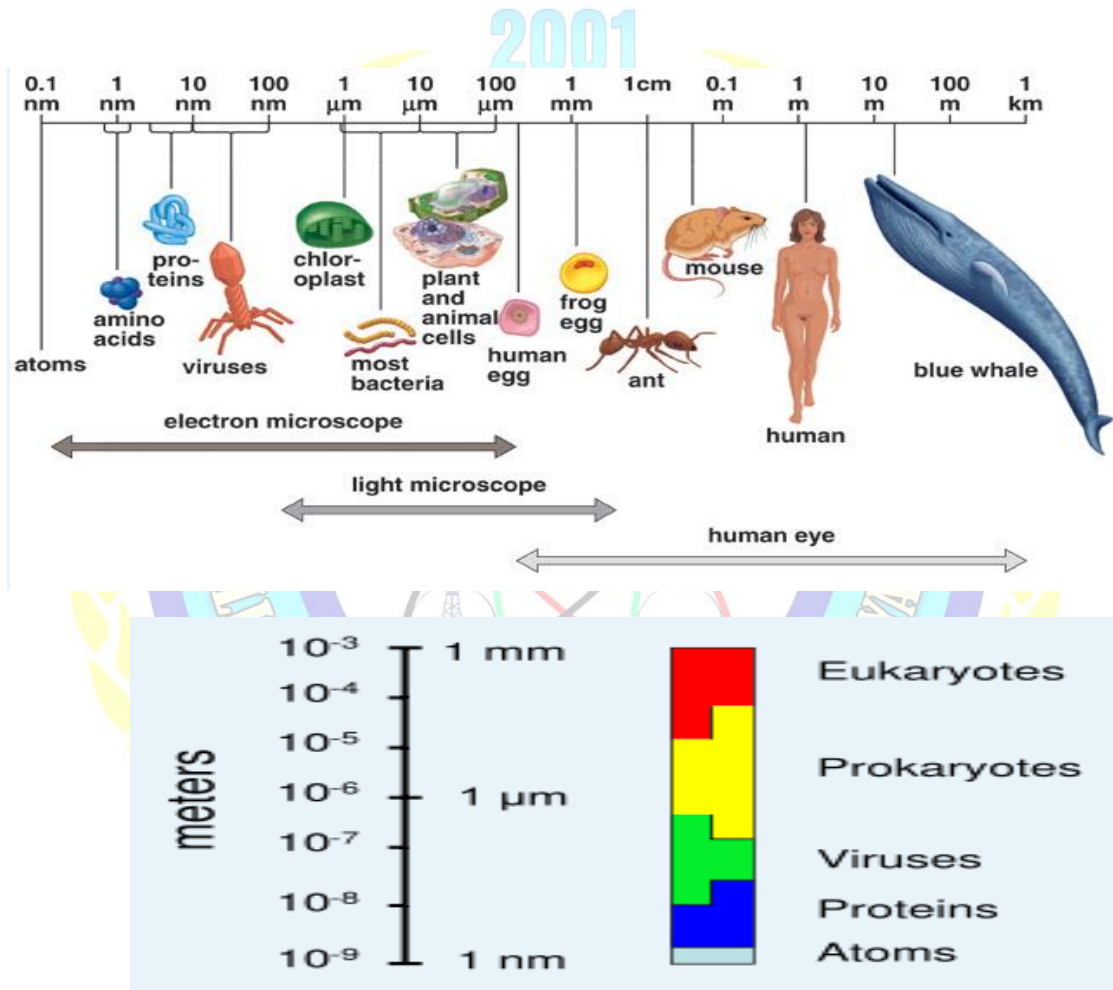
- 1- امتلاك الخلية الية ايضية **Metabolic machineries** تمكنها في الحصول على الطاقة من المحيط كالاستفادة من الضوء كما في النباتات الخضراء ومن تقويض **Catabolism** المواد الغذائية الى مواد كيميائية أبسط **Metabolite** وتدعى هذه الطاقة الكيميائية ادنوسين ثلاثي الفوسفات **ATP** .
- 2- قابلية الخلية لاستعمال هذه الطاقة لغرض دعم وادامة حياتها حيث تتضمن حركة مكونات الخلية من جزء الى آخر ضمن الخلية وكذلك قابلية انتقال هذه المركبات الى داخل وخارج الخلية وكذلك قابلية الخلية على تحويل الجزيئات من شكل الى آخر لتعويض المركبات المفقودة لغرض النمو والانتاج **Reproduction**
- 3- امتلاك الخلايا مجموعة من الجينات في **DNA** تعمل على تصميم او تخطيط بناء المركبات المختلفة
- 4- امتلاك الخلية حدوداً مثبتة بينها وبين الخلايا الاخرى الا وهو غشاء الخلية **Cell membrane** .

### شكل وحجم الخلية **Shape and Size of the cell**

ان الخلايا توجد باحجام واشكال مختلفة تكيف وفقاً الى الاجواء المختلفة او نتيجة للوظائف المتخصصة ضمن الكائن المتعدد الخلايا **multicellular organism** فالخلايا تتراوح في الحجم من اصغر خلية للبكتريا وهي ٠,٢ مايكروميتر الى بيوض الطيور واكبرها بيضة النعامة والتي تبلغ قطرها ما يقرب من ٦ انجات ويمكن ان تكون الخلية ذات شكل متغير **Variable** حيث تتحول باستمرار الى اشكال مختلفة كالاميبيا **Amaeba** وكريات الدم البيض **Leucocytes** وهناك الخلايا ذوات الشكل الثابت (او المحدد **Fixed**) وهذه الاشكال هي:

- 1- المسطحة **Flattened** ومن امثلتها طبقة البشرة العليا والسفلى .
- 2- الجيبية **Cuboidal** ومن امثلتها خلايا الغدة الدرقية **Follicles** .

- ٣- العمودية Columnar ومن امثلتها الخلايا التي تبطن الامعاء
- ٤- المقعرة Discoidal مثل كريات الدم الحمر
- ٥- الكروية Spherical مثل بيض عدد كبير من الحيوانات
- ٦- المغزلية Spindle-Shape مثل الياف العضلات الملساء
- ٧- الطولية Elongated مثل الخلايا العصبية
- ٨- المتشعبة Branched مثل الخلايا الصبغية للجلد.



### تعريف علم الخلية

يعرف علم الخلية **cytology** بأنه العلم الذي يهتم بدراسة تركيب الخلية ووظيفتها وتكاثرها والتركيب الجزيئي لها ويهتم أيضاً بوراثة الخلية ويعرف أيضاً بأنه العلم الذي يهتم بدراسة أنواع الخلايا وتخصصاتها ووظائفها وتركيبها وان علم الخلية والذي يعرف حالياً بعلم حياة الخلية (بايولوجية الخلية **Cell Biology**) هو احد الفروع الفتية لعلم الحياة يتناول دراسة تركيب ووظيفة العضيات الخلية **Organelles** ودورها في وحدة بناء الكائن الحي وان

الخلية Cell هي الوحدة الأساسية للكائن الحي والتي لها القدرة وبشكل مستقل على التكاثر او الانتاج  
Reproduction والتي تتكون من السائتوبلازم والنواة [او منطقة نووية] ومحاطة بغشاء خلوي  
كان علم حياة الخلية يضم ثلاثة اتجاهات: الاتجاه الاول هو علم الخلية الكلاسيكي الذي يهتم بدراسة التراكيب  
الخلوية المشاهدة بواسطة المجهر الضوئي والاتجاه الثاني هو علم وظيفة الخلية والذي يهتم بالكيمياء الحيوية  
والفيزياء الحيوية ووظائف الخلية في حين كان علم حياة الخلية يكون الاتجاه الثالث والذي يفسر الخلية على  
مستوى الجزيئات كالجزيئات الكبيرة مثل الاحماض النووية والبروتين. اما في الوقت الحالي فهناك ترابط بين هذه  
الاتجاهات الثلاثة ولم تعد اتجاهات منفصلة ويستخدم علم الخلية وعلم حياة الخلية كمرادفان .

### نبة تاريخية Historical Background

أن الفلاسفة الاغريق القدماء مثل ارسطو (384-322) Aristotle ق.م و Paracelsus أوضحوا ان جميع  
الحيوانات والنباتات رغم تعقيدها فأنها تتألف من عناصر قليلة والتي تكون متكررة في تلك المجاميع وقد كانوا  
يشيرون الى التراكيب الانكلوسكوبية لتلك الكائنات مثل الجذور والاوراق والازهار والشائعة في مختلف النباتات  
وكذلك القطع والاعضاء في عالم الحيوان وبعد قرون وبسبب اختراع العدسات المستعملة في التكبير فان الابعاد  
الانكلوسكوبية قد اكتشفت من الباحث Davinci عام ١٤٨٥ وأشار الى استخدام العدسات في مشاهدة الاشياء  
الصغيرة وفي عام ١٥٥٨ فان عالم الاحياء السويدي كونراد جزر نشر نتائج دراساته حول تركيب مجموعة من  
الطليعيات الي تدعى foraminifera وقد كانت مخططاته للبروتوزوا تتضمن العديد من التفاصيل لايمكن ان  
تظهر الا اذا استخدم مجموعة من العدسات المكبرة وربما هذه هي السجل الاول او المبكر لاستخدام الاجهزة  
المكبرة في الدراسات البايولوجية لذلك فان النمو والتطور في علم حياة الخلية مبدئياً قد اشترك مع تطور العدسات  
البصرية واستخدام هذه العدسات في تركيب المجاهر المركبة لذلك فان اختراع المجهر وتطوره كان يجري جنبا الى  
جنب مع التطور في علم حياة الخلية. ان اول مجهر مركب قد اخترع عام ١٥٩٠ بواسطة F. Janssen و J. .  
Janssen وفي العام ١٦١٠ فان العالم الايطالي Galilei Galileo اخترع المجهر البسيط والذي يحتوي على  
عدسة مكبرة واحدة وقد استخدم لدراسة تركيب القرنية في العين المركبة للحشرات كما ويعد العالم الايطالي  
مالبيجي من بين الاوائل الذين استخدموا المجهر في فحص ووصف شرائح رقيقة من الانسجة الحيوانية المأخوذة  
من بعض الاعضاء مثل الدماغ والكبد والكلية والطحال والرئتين واللسان وكذلك درس الانسجة النباتية وقد اقترح  
بأنها تتركب من وحدات تركيبية وسماها او اطلق عليها utricles ثم جاء بعد ذلك العالم الانكليزي روبرت هوك  
وهو اول من استخدم مصطلح الخلية وقد ارتبط اسمه باستخدام مصطلح الخلية في عام ١٦٦٥ وقد فحص

شرائح رقيقة مأخوذة من قطعة من الفلين الجاف بواسطة استعمال مجهره المركب الذي صنعه بنفسه . وقد نشر هوك مجموعة من المقالات تحت عنوان **Micrographia** وقد كان وصفه البسيط للفلين كبيوت النحل وقد كانت الخلايا فارغة من المكونات الحية وكان يعتقد بأن الخلايا التي شاهدها تشابه الاوردة والشرابين في الحيوانات وانها ممتلئة بالعصير في النباتات الحية ولكن مجهره هذا لم يظهرها. وقد استخدم عدساته في بناء مجاهر عديدة منها قد يصل تكبيرها الى 300 × ويعد الاول في مشاهدة الخلايا الحية الحرة وفي العام 1675 وصف كائنات مجهرية في ماء المطر جمعها بواسطة انابيب مغروسة في التربة اثناء هطول المطر وان رسوماته تتضمن انواع من البكتريا كما يعد العالم ليفهوك الاول في وصف خلايا النطفة للانسان والكلاب والارانب والضفادع والاسماك والحشرات وفي مشاهدة حركة خلايا الدم في اللبائن والطيور والبرمائيات والاسماك وقد لاحظ ان هذه الخلايا في الاسماك والبرمائيات كانت بيضوية في شكلها وتحتوي جسم مركزي (النواة) في حين كانت الخلايا للانسان وبقية اللبائن دائرية كما لاحظ العضلات المخططة. وكما نشر عالم النبات الانكليزي **N. Grew** مجموعة من الفحوص المجهرية كمقاطع مأخوذة من الازهار والجذور والسيقان للنبات والتي تشير يوضح انه قد حدد الطبيعة الخلوية للانسجة النباتية. وخلال القرن التاسع عشر كانت هناك العديد من الاختراعات والملاحظات وقد صيغت معالم عدد من النظريات مثل نظرية الخلية ونظرية البروتوبلازم وفي عام 1807 الباحث ميريبيل صرح بأن جميع الانسجة النباتية مكونة من خلايا وفي العام 1824 فان العالم الفرنسي **R. Dutrochet** اوضح بان جميع الانسجة النباتية والحيوانية هي عبارة عن تجمع من خلايا كروية وفي العام 1831 فان العالم الانكليزي روبرت براون قد اكتشف النواة في الخلايا وسماها بهذا الاسم وقد اشار الى ان النواة من المكونات الرئيسية والثابتة في الخلايا

## علاقة علم الخلية بالعلوم الاخرى Relation of cytology with other sciences

بالنظر لتعدد الفروع والمجالات العلمية والتشعب للاختصاصات فقد وجدت بينها علاقات متطورة ودقيقة حيث ان العلم الواحد لا يؤدي مهامه بكفاءة عالية بمعزل عن العلوم الاخرى والتقنيات الاخرى. ولذلك فقد اضحى لعلم الخلية اتصالات وثيقة ومباشرة مع العديد من الفروع والمجالات العلمية كعلم الوراثة وعلم الكيمياء الحياتية وعلم الحيوان وعلم النبات وعلم التشريح وعلم الانسجة وعلم الفسلجة وعلم الامراض وعلم الاجنة فعن علاقته بعلم الاجنة فان هناك مشاكل علمية متعلقة بالخلية وهي مشاكل متعلقة بنمو الجنين والانقسام الخلوي هي مسائل حيوية وضرورية بالنسبة الى نشوء ونمو الجنين وهي ايضا الاساس المعتمد لتنظيم نمو الكائن الحي لذلك على علماء الاجنة ان يكونوا على معرفة جيدة للتركيب الاساسي للخلية واهمية وتوزيع كل من العضيات الموجودة فيها . اما عن العلاقة بعلم الوراثة فان التقاء علم الوراثة وعلم الخلية يأتي بعد ان أصبح انقسام الخلية في اواسط القرن

التاسع عشر الظاهرة الرئيسية لتكاثر الكائنات الحية واعتبر الباحث ولسون Wilson ان الوراثة هي نتيجة لأستمرارية صفات الخلية بواسطة الانقسام اما بالنسبة للباحث وايزمان Weisman في عام ١٨٨٥ فقد ابتكر نظرية البلازما الجرثومية Germplasm أي ان انتقال العوامل الوراثية من جيل الى اخر يحدث عن طريق جراثيم خاصة وموضع هذه الجراثيم هي العناصر التناسلية المنى Spermatozon والبيضة Ovum وتختلف هذه الجراثيم عن الخلايا الجسمية . Somatic cells كما اكد هذا الباحث على حقيقة الاخصاب وبين ان عدد الكروموسومات تبقى ثابتة في الخلية وكما ان التجارب التي اجراها الباحث وايزمان Weisman تؤدي الى استنتاج يؤكد بوجود حصول اختزال في عدد الكروموسومات اثناء عملية توليد الامشاج Gametogenesis لكي لا تحصل زيادة مستمرة في عدد الكروموسومات بعد كل عملية اخصاب. اما العلماء هيرتوينج Hertwing وفول Fol وستراسبورجر Strasburger عام ١٨٧٤ فقد اكتشفوا ان النواة التي تحمل العوامل الطبيعية للوراثة ولكن الباحث روكس Roux اوضح على ان الكروماتين هي المادة التي تتكون منها الكروموسومات Chromosomes ولها ترتيب خيطي وان الكروموسومات موجودة داخل النواة واعتبر وايزمان Weisman فيما بعد ان الوحدات الوراثية والتي سميت فيما بعد بالجينات مرتبة على طول الكروموسوم. ان القوانين الاساسية للوراثة قد اكتشفت من قبل العالم جريجور مندل Gregor Mendel سنة ١٨٦٥ من خلال دراسة على نبات البازلاء والذي اكد على فرضية الانعزال الحر للصفات الوراثية ولكن التعقيدات الخلوية التي تحدث في الخلايا الجنسية لم تكن معروفة في ذلك الوقت كانت من الاسباب التي جعلت الاهتمام بقوانين مندل الوراثية قليلة جداً حتى ١٩٠١ عندما اكد علماء النبات تشيرماك Tschermak وكورينز Correns ودي فرايز De Vries على اهمية قوانين مندل من جديد وفي هذا الوقت كان مفهوم علم الخلية قد تقدم بشكل ملموس حيث نجح بتعليق قوانين مندل في الوراثة وقد تأكد ان الخلايا الجسمية ثنائية المجموعة الكروموسومية (2n) Diploid اما بالنسبة للخلايا التكاثرية او الكاميتات فهي احادية المجموعة الكروموسومية (n) Haploid فضلاً عن ذلك فأند علماء الخلية لاحظوا بأن الدور الذي تقوم به الكروموسومات خلال عملية الانقسام الاختزالي Meiosis له علاقة وثيقة بالظواهر الوراثية للكائن الحي واعتماداً على هذه الاكتشافات فقد اقترح ماك كلونك McClung عام ١٩٠٢ بأن تحديد نوع الجنس في الكائن الحي له علاقة بكروموسومات خاصة. اما نظرية الكروموسوم في الوراثة فقد قدمت من قبل بوفيري Boveri وبالترز Baltzer كما شاهد بوفيري وآخرون عملية الاختزال وبدأت الدراسة الخلوية لعملية الانقسام الخلوي Meiosis وقد تمكن مورجان Morgan سنة ١٩١٠ من تحديد العديد من الطفرات وأحد هذه الطفرات (العين البيضاء) في حشرة الدروسوفيلا كانت مرتبطة بالجنس لذلك اكد مورجان وآخرون نظرية الجينات واعتبروا وجود وحدات او مواضع Loci على الكروموسومات مسؤولة عن الصفات الوراثية كما برهن مورجان Morgan على ان

زوجين من الجينات المرتبطة جنباً تعطي اتحادات وراثية جديدة **Recombination** في الانثى وان عملية اعادة الاتحاد هي عملية غير عشوائية أي ان الجينات المرتبطة جنباً تكون مرتبطة مع بعضها في الانثى. هذه البحوث والتجارب والدراسات الوراثية المنفصلة عن باقي فروع علوم الحياة ادى الى ظهور علم منفصل سمي بعلم الوراثة **Genetics** من قبل الباحث باتيسون **Bateson** عام ١٩٠٦ ولكون هذه الابحاث تختص بالخلية لذا بقي علم الوراثة ذو علاقة وطيدة مع علم الخلية ونشأ فرع من علم الوراثة سمي بعلم الوراثة الخلوية **Cytogenetics** كما ارتبط علم الوراثة فيما بعد بعلم الكيمياء الحياتية لان الدراسة وصلت الى مستوى الجزيئات المكونة للعوامل الوراثية مما ساعد في ظهور حقل علمي جديد سمي علم الوراثة الجزيئي **Molecular**

اما عن علاقته بالكيمياء الحياتية **Relation of cytology with biochemistry** فهناك علاقة وثيقة ما بين علم الخلية وعلم الكيمياء الحياتية وتظهر هذه العلاقة من خلال اكتشاف علماء الكيمياء الحياتية للبروتين ومنهم فيشر **Fischer** سنة ١٩٢٠ واكدوا على ان جزيئة البروتين تتكون من وحدات صغيرة تسمى بالاحماض الامينية ومن التطورات الاخرى اكتشاف الانزيمات ودورها كعوامل مساعدة واهميتها في تحويل الطاقة وفي الفعاليات الحياتية الخلوية المختلفة. وقد تمكن العالمان بنسلي **Bensley** وهوفير **Hover** عام ١٩٣٤ من عزل الماييتوكونديريا **Mitochondria** من الخلية بكميات تكفي للتحليلات الكيميائية والفيزيائية وهذه هي الطريقة التي ادت فيما بعد الى معرفة الماييتوكونديريا على انها مركز تفاعلات الاكسدة والاختزال في الخلية وانها تحتوي على جميع الانزيمات الخاصة بهذه التفاعلات .

وقد استعملت النظائر المشعة **Isotops** لغرض الدراسات الخاصة بالفعاليات الايضية الخلوية **Cell Metabolism** ومن اهم الاكتشافات التقدم الكبير الذي حصل على مستوى الدراسات الخلوية وذلك نتيجة لدخول المجهر الالكتروني. حيث تمكن العلماء من ملاحظة العضيات الخلوية الدقيقة التي يتعذر رؤيتها بالمجهر الضوئي. هذا ويتطور دراسة كيمياء الخلية **Cytochemistry** اصبح من الممكن تحديد التفاعلات الانزيمية بواسطة المجهر الالكتروني حيث بواسطتها عرفت مواضع الانزيمات في الخلية. وهناك اكتشافات مهمة اخرى منها دخول تقنية النبد المركزي **Centrifugation** ذات سرع التدوير الفائقة جداً بحيث تمكن العلماء من فصل العضيات الخلوية عن بعضها البعض بالاضافة الى التعرف عليها بشكل مستفيض وكما استخدمت تقنية التصوير الاشعاعي الذاتي **Autoradiography** في تحديد مواقع العضيات وحركة الجزيئات بين التراكيب الخلوية المختلفة ومنها انتقال البروتينات الافرازية عبر الجهاز الفجوي الساييتوبلامي **Vacular**.

واما عن علاقته بالعلوم الاخرى فلا يمكن دراسة علم الحيوان **Zoology** او علم النبات **Botany** او علم التشريح **Anatomy** او علم الانسجة **Histology** او علم وظائف الاعضاء **Physiology** او علم الامراض

**Pathology** بدون معرفة معلومات أساسية في تركيب الخلية ووظيفتها. ان المرض حالة اولية للنشاط غير الطبيعي في الخلية لذا فلا بد ان تكون هناك علاقة بين علم الخلية من جهة وعلم الامراض والصحة من جهة اخرى حيث يعد فهم الخلية حجر الاساس في هذا البناء العلمي ولكي نفهم المرض يتطلب دراسة الخلية الحية السليمة وكيف يمكن ان يصيبها الاعتلال لنصل الى فهم عملية الخلل الذي ينعكس في مرض معين ومن ثم فهم اساس الحالة المرضية ككل. وترتبط دراسات علم الخلية مع الفعاليات الفسيولوجية المختلفة حيث وضعت العديد من الفرضيات حول الطبيعة الفسيولوجية الكيميائية التركيبية لبروتوبلازم الخلية كما اجريت العديد من الدراسات التي تتعلق بطبيعة سايتوبلازم الخلية وحركتها والحركة الاميبية وحركة الاسواط وانتقال الجزيئات في داخل الخلية وبالإضافة الى انقباض العضلات. كما اهتم الباحثون في هذا المجال بطبيعة الغشاء البلازمي من النواحي التركيبية والوظيفية واقترحوا العديد من النماذج لوصف تركيب الغشاء البلازمي كذلك اهتموا بآليات عبور المواد عبر الغشاء البلازمي ومنها النقل الفعال **Active transport** وكذلك النمو والتغذية والافراز بالإضافة الى الفعاليات الخلوية الاخرى. وأن هذه الدراسات ساعدت على ظهور علم جديد سمي بعلم فسلة الخلية **Cell physiology** ولعلم الخلية ايضاً علاقة متينة مع علم التصنيف **Taxonomy** فالابحاث والدراسات الحديثة في تصنيف الكائنات الحية مبنية اساساً على كرموسومات الخلية وعلى الاختلاف في عددها وشكلها من كائن حي الى آخر وقد لاحظ ستينيس **Stebbins** ان الكرموسومات لكونها حاملة للعوامل الوراثية يجب ان تعتبر الاساس المعتمد عليه في العلاقة بين الخلية والتصنيف ومن الدراسات المهمة في هذا المجال هي المقارنات التفصيلية الكاملة للطرز الكرموسومية وتحليل عملية الانقسام الاختزالي وخاصة عند حدوث عملية التهجين وكذلك دراسة التفاعلات الكرموسومية الطبيعية والتركيبية فالدراسات حول منشأ بعض النباتات المهمة مثل نباتات المحاصيل كالقمح والشعير والقطن قد وضحت بصورة جيدة مثلها في ذلك مثل الدراسات الخاصة بالخلية وبالوراثة.

١٤٢٢