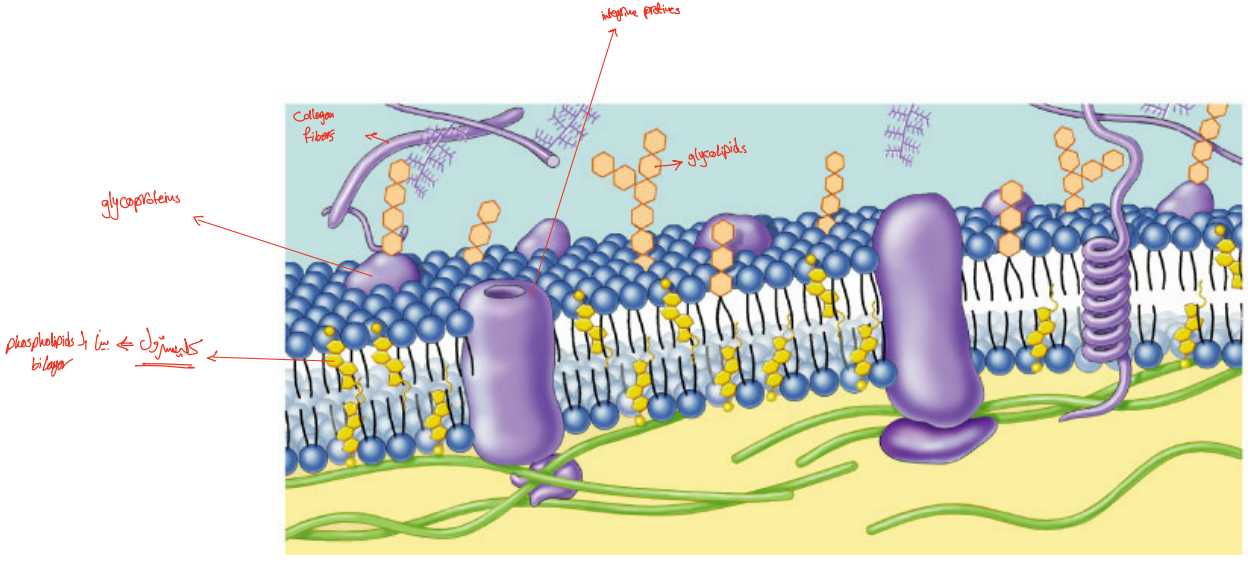
الغشاء الخلوي

Cell membrane



وظائف الغشاء الخلوي

Function of the cell membrane

فصل مكوّنات الخلية عن البيئة الخارجية غير الحية
(سماكته حوالي 8 نانومتر) رفع ده١.

- Separation of the cell components from the nonliving surroundings (8 nm thick)

التحكم بحركة المواد الداخلة إلى الخلية والخارجة منها.

- It controls traffic into and out of the cell.

مثل باقي الأغشية، فإن الغشاء البلازمي يتميز بنفاذية اختيارية
أي أنه يسمح لبعض المواد بالمرور عبره بسهولة أكثر من غيرها
(مواد محبة للماء Hydrophilic مقابل مواد كارهة للماء Hydrophobic)

- Like other membranes, the plasma membrane is **selectively permeable**, allowing some substances to cross more easily than others (hydrophilic vs hydrophobic)

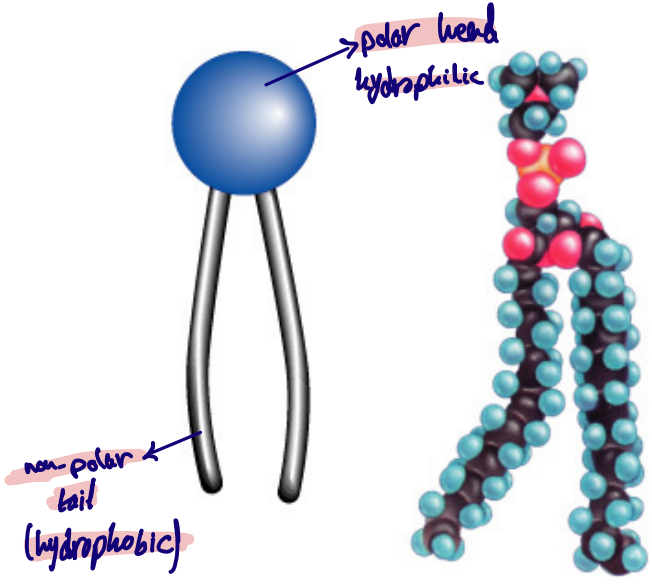
Composition of cell membrane

الوحدة التركيبية الأساسية للأغشية الحيوية هي طبقة مزدوجة من الدهون (Lipid bilayer).

- The basic structural unit of biological membranes is a lipid bilayer

الفسفوليبيدات (Phospholipids) هي الدهون الرئيسية التي تكوّن هذه الطبقة المزدوجة.

- Phospholipids are the primary bilayer forming lipids

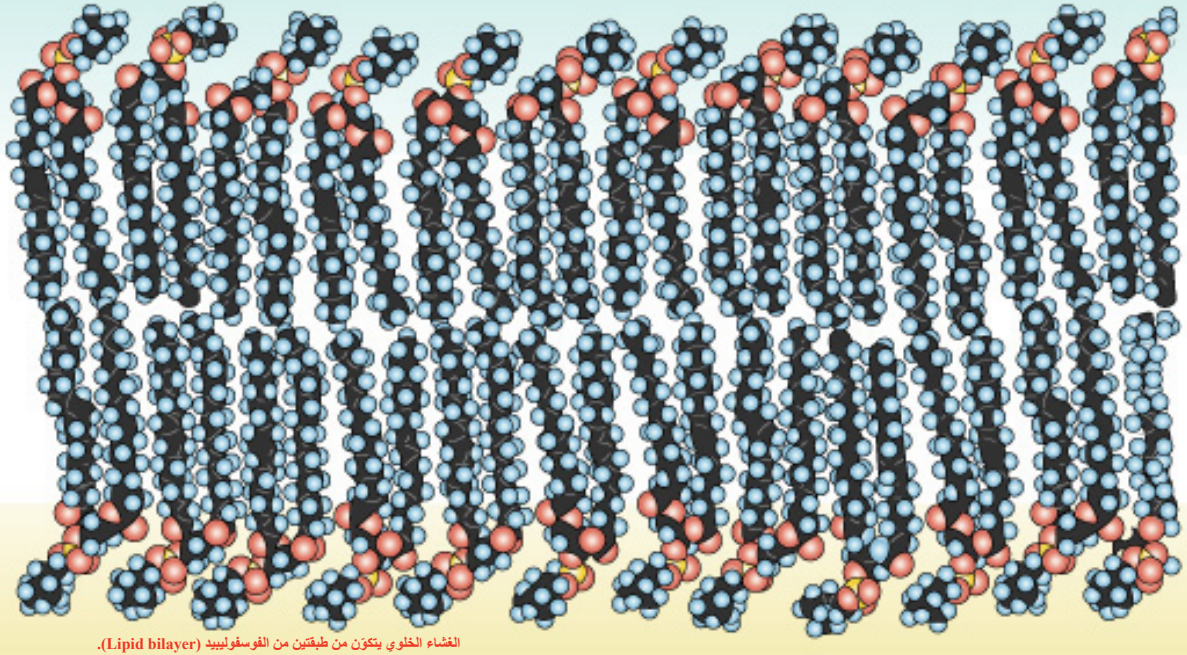


General membrane structures

polar
hydrophilic
heads

nonpolar
hydrophobic
tails

polar
hydrophilic
heads



الغشاء الخلوي يتكوّن من طبقتين من الفوسفوليبيد (Lipid bilayer).

كل فوسفوليبيد يحتوي على:

•رأس قطبي محب للماء (Polar hydrophilic head)

ويتجه نحو الماء من الخارج والداخل.

•ذيل غير قطبي كاره للماء (Nonpolar hydrophobic tail)

ويتجه نحو داخل الغشاء بعيداً عن الماء.

لذلك تتجمع الفوسفوليبيدات لتكوين طبقة مزدوجة بحيث تكون الرؤوس للخارج والذيول في الوسط.

أنواع مختلفة من الفوسفوليبيدات

Different types of phospholipids

القوسفوجليسيريدات

(a) Phosphoglycerides

أهم أنواع الفوسفوليبيدات (حسب الـ Head group)
الإختلاف بينهم يكون في الرأس (Head group)
الأنواع الموجودة :

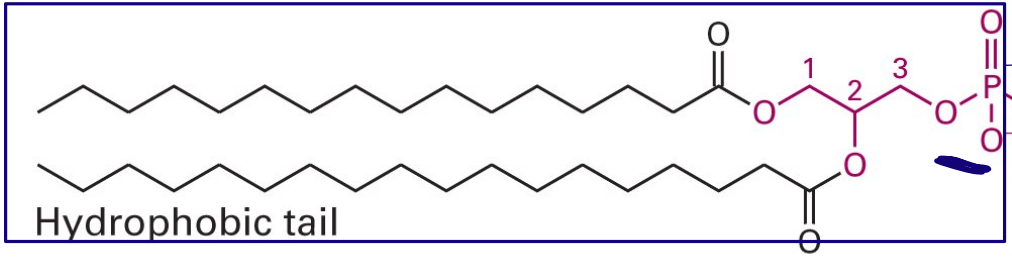
- PE = Phosphatidyl ethanolamine
- PC = Phosphatidyl choline
- PS = Phosphatidyl serine
- PI = Phosphatidyl inositol

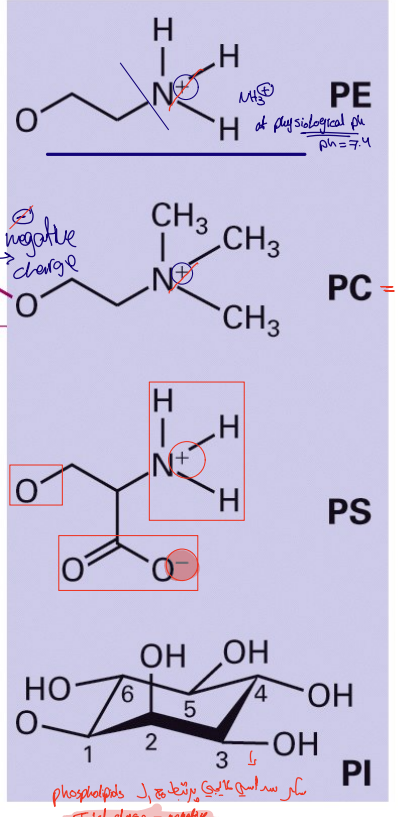
- PC, PE → neutral
- PS, PI → negative

ethanol amine → methylation (methionine) → choline
no net charge

methionine هو الـ methyl group المسؤول

Head group





- Choline, ethanolamine are the most abundant PL classes. Head group has no net charge

Neutral (بدون شحنة صافية)
Choline (PC) Ethanolamine (PE)
PC + PE = No net charge (neutral)

الكولين (Choline) و الإيثانول أمين (Ethanolamine) هما أكثر أنواع الفوسفوليبيدات شيوعاً.
مجموعة الرأس (Head group) فيهم لا تحمل شحنة صافية (Neutral).

- Serine and inositol head groups have net negative charges

Negative charge (شحنة سالبة)
Serine (PS) Inositol (PI)
PS + PI = Net negative charge

أما السيرين (Serine) و الاينوزيتول (Inositol) فإن مجموعة الرأس الخاصة بهم تحمل شحنة سالبة صافية (Negative)

خصائص الغشاء

Characteristics of membrane

الجزيئات الكبيرة الأساسية في الأغشية هي الدهون (Lipids) و البروتينات (Proteins)،
لكن تحتوي أيضاً على بعض الكربوهيدرات (Carbohydrates)

- The main macromolecules in membranes are lipids and proteins, but include some carbohydrates

الأغشية سائلة / مرنة (Fluid)

- Membranes are fluid

الأغشية عبارة عن فسيفساء (Mosaic) من حيث التركيب والوظيفة
أي أنها تحتوي على مكوّنات مختلفة تؤدي وظائف مختلفة

- Membranes are mosaics of structure and function

كربوهيدرات الغشاء مهمة جداً في تعرف الخلايا على بعضها البعض (Cell-cell recognition)

- Membrane carbohydrates are important for cell-cell recognition

الأغشية سائلة

Membranes are fluid

الغشاء يتم تماسكه معاً بواسطة تفاعلات كارهة للماء ضعيفة (Weak hydrophobic interactions).

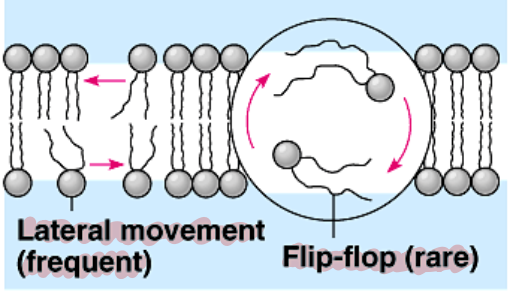
- A membrane is held in together by weak **hydrophobic** interactions

معظم دهون الغشاء وبعض البروتينات يمكنها أن تتحرك حركة جانبية (Laterally) داخل الغشاء (بسرعة تقريباً 2 ميكرون في الثانية).

- Most membrane lipids and some proteins can drift **laterally** within the membrane (2 microns per second)

الجزيئات نادراً ما تنتقل من طبقة إلى أخرى عبر الغشاء بشكل عمودي (Flip-flop)
لأن الأجزاء المحبة للماء (Hydrophilic) ستضطر للمرور عبر قلب الغشاء الكاره للماء (Hydrophobic core).

- Molecules **rarely flip transversely** (flip-flop) across the membrane, because hydrophilic parts would have to cross the membrane's hydrophobic core.



(a) Movement of phospholipids

الأغشية سائلة

Membranes are fluid

سيولة الغشاء تتأثر بـ درجة الحرارة وبـ مكوّناته

- Membrane fluidity is influenced by temperature and by its constituents.

Temperature

عندما تنخفض درجة الحرارة، تتحول الأغشية من حالة سائلة إلى حالة أكثر صلابة
لأن الفوسفوليبيدات تصبح متقاربة ومتراصة أكثر

- As temperatures cool, membranes switch from a fluid state to a solid state as the phospholipids are more closely packed.

Constituents → ① saturated or unsaturated

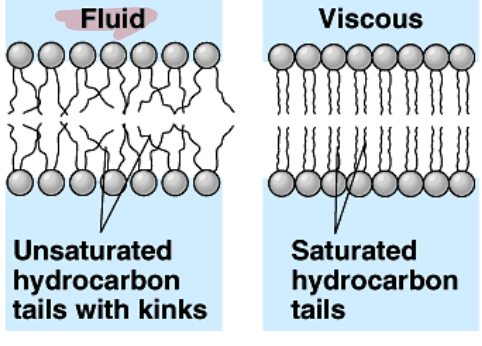
Fluidity ↑

الأغشية التي تحتوي على نسبة عالية من الأحماض الدهنية غير المشبعة (Unsaturated fatty acids) تكون أكثر سيولة

Fluidity ↓ من الأغشية التي تحتوي على أحماض دهنية مشبعة (Saturated fatty acids)

لأن وجود "انحناءات/التواءات (Kinks)" في ذيول الأحماض الدهنية غير المشبعة يمنع تراصها بإحكام

- Membranes rich in unsaturated fatty acids are more fluid that those dominated by saturated fatty acids because the kinks in the unsaturated fatty acid tails prevent tight packing



الأغشية سائلة

Membranes are fluid

② medium chain → short / long

السلاسل الدهنية القصيرة (Short chain fatty acyl groups) تميل إلى زيادة الحركة الجانبية داخل الغشاء.

- Short chain fatty acyl groups tend to increase lateral mobility → increase fluidity for cell membrane

③ cholesterol → as a Buffer → تعاكس التغير بدرجة الحرارة

الكوليسترول الموجود في أغشية الخلايا حقيقية النواة ينظم سيولة الغشاء من خلال جعله:

- cholesterol in membrane of eukaryotes, modulates **membrane fluidity** by making the membrane:
  - Less fluid at warm temperatures (e.g. 37 oC body temperature) by restraining the phospholipid movement.

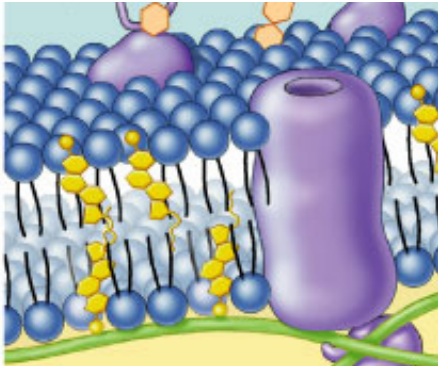
أقل سيولة عند درجات الحرارة المرتفعة (مثل 37م درجة حرارة الجسم) وذلك عن طريق تقييد حركة الفوسفوليبيدات.

  - More fluid at lower (cool) temperatures by preventing close packing of phospholipids.

أكثر سيولة عند درجات الحرارة المنخفضة من خلال منع تراص الفوسفوليبيدات بإحكام

  - Cells may **alter** membrane lipid concentration in response to changes in temperature

قد تقوم الخلايا بتغيير تركيز الدهون في الغشاء استجابةً لتغيرات درجة الحرارة.



الغشاء يتحرك مش ثابت

كيف الحركة؟

- حركة جانبية (lateral) → كثيرة
- flip-flop (من طبقة لطبقة) → نادر جدًا

السبب: الرأس يحب الماء → صعب يمر من الداخل الدهني

شو يأثر على fluidity؟

1. الحرارة 🌡️
   - حرارة ↑ → membrane fluid ↑
   - حرارة ↓ → membrane يصير أقسى
2. نوع الدهون

- Unsaturated (فيه انحناءات)

➡️ يزيد fluidity ✅

- Saturated (مستقيم)

➡️ يقلل fluidity ❌

3. طول السلسلة
   - قصيرة → fluid أكثر
   - طويلة → أقل حركة

4. Cholesterol يشتغل حسب الحرارة:

- بالحرارة العالية

➡️ يقلل fluidity (يثبّت الغشاء)

- بالبرودة

➡️ يزيد fluidity (يمنع التصلب)

الأغشية عبارة عن فسيفساء من حيث التركيب والوظيفة

Membranes are mosaics of structure and function

للأغشية سطحان غير متماثلين:
سطح داخلي و سطح خارجي (Asymmetric).
تصنيع الغشاء وتعديله داخل الشبكة الإندوبلازمية (ER) هو الذي يحدد هذا التوزيع غير المتساوي للدهون والبروتينات والكربوهيدرات.

- Membranes have **asymmetric** inside and outside faces. The membrane's synthesis and modification by the ER determines this asymmetric distribution of lipids, proteins and carbohydrates.

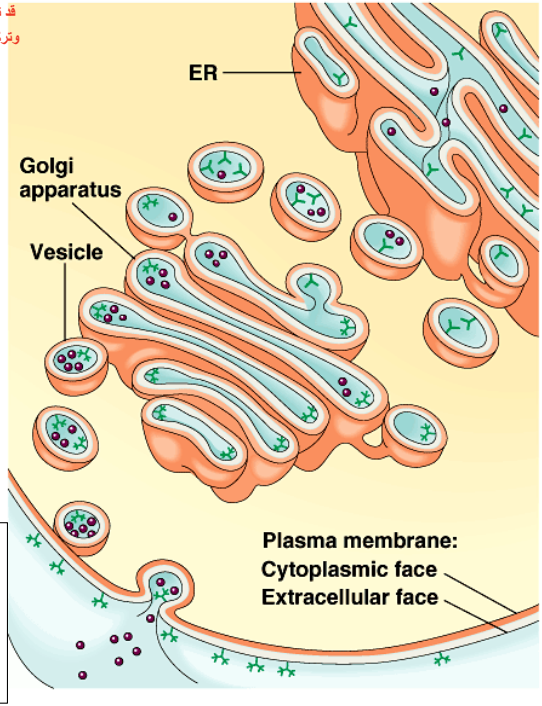
قد تختلف الطبقتان الدهنيتان في نوع وتركيب الدهون الموجودة فيهما.

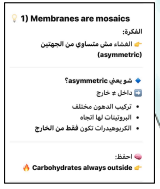
- The two lipid layers may differ in lipid composition.
- Membrane proteins have a clear direction.

بروتينات الغشاء لها اتجاه واضح (أي أنها مرتبة باتجاه معين وليست عشوائية).

- When present, carbohydrates are restricted to the membrane's exterior

عند وجود الكربوهيدرات في الغشاء، فإنها تكون موجودة فقط على السطح الخارجي للغشاء




1) Membranes are mosaics

الفكرة:

الغشاء مش متساوي من الجهتين (asymmetric)

يعني asymmetric؟

- داخل ≠ خارج
- تركيب الدهون مختلف
- البروتينات لها اتجاه
- الكربوهيدرات تكون فقط من الخارج

احفظ:

Carbohydrates always outside

بروتينات الغشاء

Membrane Proteins

البروتينات تحدد معظم الوظائف المتخصصة للغشاء

- Proteins determine most of the membrane's specific functions

أنواع بروتينات الغشاء:

- Membrane proteins:
  - البروتينات الطرفية **peripheral proteins** تكون مرتبطة بشكل غير محكم بسطح الغشاء
    - loosely bound to surface of membrane
    - cell surface identity marker (antigens) قد تعمل كـ علامات تعريف لسطح الخلية (Antigens)
  - البروتينات المتكاملة **integral proteins**: penetrate lipid bilayer, usually across whole membrane تخترق الطبقة الدهنية المزدوجة. غالباً تمتد عبر الغشاء بالكامل.
    - transmembrane protein:
    - transport proteins (channels, permeases (pumps)(البروتينات العابرة للغشاء نوع من البروتينات المتكاملة. •تعمل كبروتينات نقل مثل: •القنوات (Channels) •الناقلات/المضخات (Permeases / Pumps)

أنواع البروتينات:

1 Peripheral proteins

- على السطح فقط
- loosely attached
- وظيفة: تعريف الخلية (antigens)

2 Integral proteins (مهم 🔥)

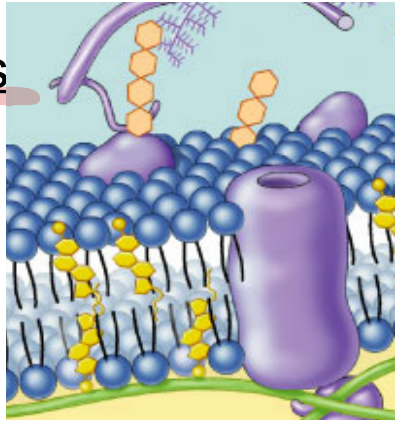
- داخل الغشاء أو عابرة له
- (transmembrane)

أهم وظيفة:

- نقل المواد

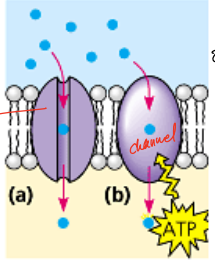
أنواع النقل:

- Channels → ممرات
- Pumps → تحتاج طاقة
- Permeases → ناقلات



Many Functions of Membrane Proteins

البروتينات تحمل كل الوظائف المهمة



active Transport pumps
ATP بدي طاقة
سمي تركيز النقل إلى التركيز الأعلى

Transport

لدخول وإخراج مواد

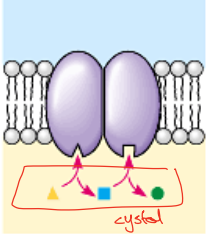
1) Transport

هاي بروتينات وظيفتها تنقل مواد عبر الغشاء.

يعني:
- تدخل مواد للخلية
- أو تطلعها برا

مثل:
- أيونات
- جلوكوز
- ماء

لأنها مواد كثير منها ما بتقدر تمر لحالها عبر الدهون.

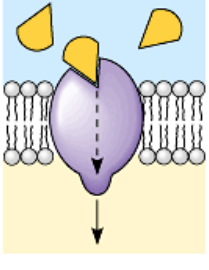


Enzymatic activity

تشتغل كإنزيم

اعلى الانزيمات هي بروتينات

يعض بروتينات الغشاء تشتغل مثل إنزيمات.
يعني: تساعد في تفاعلات كيميائية تسرّع التفاعل
مثلاً: تفكك مادة أو تكوّن مادة

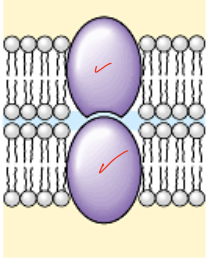


استقبال إشارات (receptors)

Signal transduction

receptor على شكل

البروتين هون يشتغل مثل مستقبِل (receptor)يعني:يلتقط إشارة من خارج الخلية ثم ينقل الرسالة لجوا الخلية
مثل: هرمون يرتبط على الغشاء الخلية تفهم إنه لازم تعمل استجابة



Intercellular joining

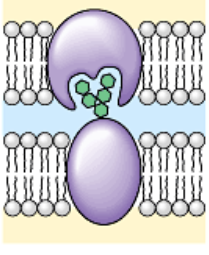
ربط الخلايا ببعض

5) Intercellular joining

هاي بروتينات تساعد تربط الخلايا ببعض.

يعني:
- تخلي الخلايا متماسكة
- وتكوّن نسيج ثابت

مثلاً:
- خلايا الجلد
- خلايا الأمعاء



Cell-cell recognition

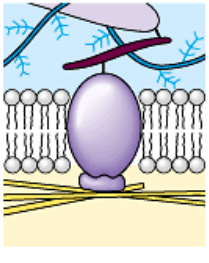
المتعرف بين الخلايا

4) Cell-cell recognition

هاي تساعد الخلايا تتعرف على بعضها.

يعني:
- الخلية تعرف إذا الخلية الثانية من نفس الجسم أو لا
- مهمة بالمناعة
- ومهمة بترتيب الخلايا والأنسجة

غالبًا يكون إلها علاقة بـ:
- glycoproteins
- carbohydrates على سطح الغشاء



Attachment to the cytoskeleton and extracellular matrix (ECM)

تثبيت الخلية

6) Attachment to cytoskeleton and ECM

هاي بروتينات تثبت الخلية.

يعني:
- تربط الغشاء مع الهيكل الخلوي من الداخل
- أو مع المادة خارج الخلية ECM من الخارج

وفائدتها:
- تعطي الخلية شكل
- تثبت مكانها
- تساعدها على الحركة أحيانًا

الدهون السكرية

سكر + دهون

Glycolipids

شكل السكريات مختلف (variable) كل خلية لها pattern خاص

توجد دائماً في:
•الطبقة الخارجية للغشاء الخلوي
•والطبقة الداخلية لأغشية العضيات (Organelles)

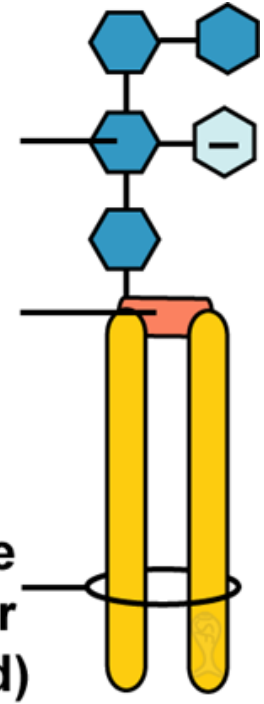
- Pattern of sugar residues is variable
- Always in outer leaflet of cell membrane, & inner leaflet of organelles

السكر

Hydrophilic (soluble) ليرا

جزء دهني داخل الغشاء

Hydrophobic (not soluble = lipophilic)



كربوهيدرات الغشاء مهمة في تعرّف الخلايا على بعضها

Membrane carbohydrates are important for cell-cell recognition

تعرّف الخلية على الخلية (Cell-cell recognition) هو قدرة الخلية على التمييز بين نوع خلية مجاورة وأخرى.

- Cell-cell recognition: The ability of a cell to distinguish one type of neighboring cell from another.

تعرّف الخلايا على بعضها ضروري جداً لعمل الكائن الحي، وهو الأساس لـ:

- Cell-cell recognition is crucial in the functioning of an organism. It is the basis for:
  - **Sorting** of cells into tissues and organs in an animal embryo's cell.

تنظيم وترتيب الخلايا في الأنسجة والأعضاء أثناء تكوّن الجنين.

  - **Rejection** of foreign cells by the immune system.

رفض الخلايا الغريبة بواسطة الجهاز المناعي

من المحتمل أن الخلايا تتعرف على بعضها من خلال جزيئات موجودة على سطح الخلية (Markers).

- The way cells recognize other cells is probably by keying on surface molecules (**markers**)

Membrane carbohydrates

الفكرة: السكريات على الغشاء مهمتها الأساسية:

التعرف بين الخلايا (cell recognition)

كيف؟ الخلايا تتعرف على بعضها عبر: markers

(علامات) على سطحها

ليش مهم؟

1. ترتيب الخلايا (sorting)
2. المناعة (تمييز الغريب)
   - رفض الخلايا الغريبة ❌

Membrane carbohydrates are important for cell-cell recognition

كربوهيدرات الغشاء تكون عادةً على شكل سكريات قليلة متفرعة (Oligosaccharides) وتتكوّن من أقل من 15 وحدة سكرية.

- Membrane carbohydrates are usually branched oligosaccharides with fewer than 15 sugar units.

يمكن أن ترتبط بروابط تساهمية إما مع الدهون فتكوّن دهون سكرية (Glycolipids)، وهو الأكثر شيوعاً – او مع البروتينات فتكوّن بروتينات سكرية (Glycoproteins).

- They may be covalently bonded either to lipids, forming glycolipids, or, more commonly, to proteins, forming glycoproteins.

- تختلف السكريات القليلة الموجودة على السطح الخارجي للغشاء البلازمي من نوع كائن حي إلى آخر، ومن شخص إلى آخر، وحتى من نوع خلية إلى نوع خلية أخرى داخل نفس الفرد

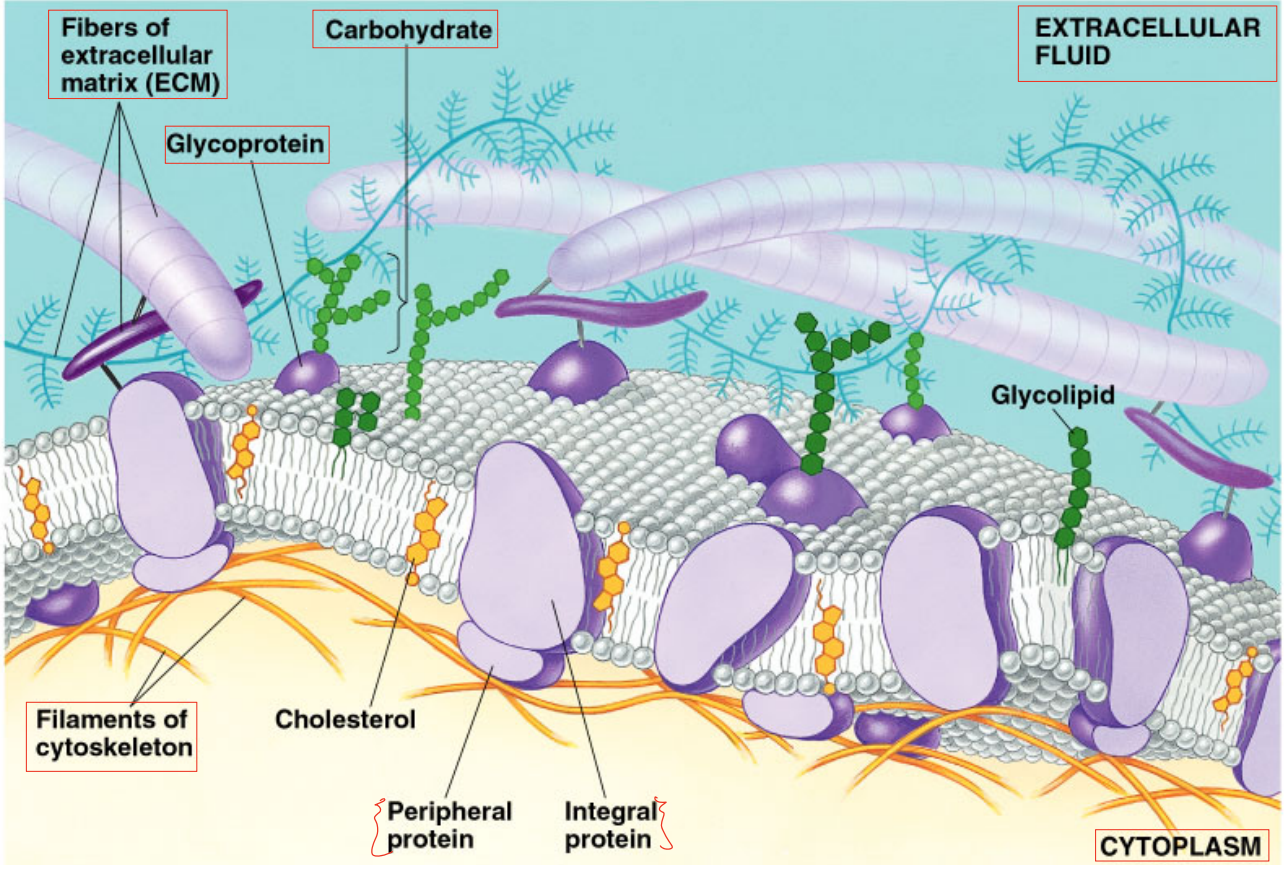
- The oligosaccharides on the external side of the plasma membrane vary from species to species, individual to individual, and even from cell type to cell type within the same individual

شكل الكربوهيدرات
غالبًا تكون:
قصيرة (oligosaccharides) متفرعة (branched)
ترتبط مع:

- Lipids → glycolipids
- Proteins → glycoproteins (الأكثر شيوعًا)

وين موجودة؟ دائمًا: على السطح الخارجي فقط

Movement across cell membrane



الحركة عبر الغشاء الخلوي

Movement across cell membrane

النقل السلبي

Passive Transport

Simple diffusion ⇒ الانتشار البسيط

diffusion of nonpolar, hydrophobic molecules

lipids

high → low concentration gradient

الانتشار / النقل المساعد

- انتشار الجزيئات غير القطبية والكارهة للماء (Nonpolar, hydrophobic)
- مثل: الدهون (Lipids)
- تتحرك من تركيز عالي → إلى تركيز منخفض

Facilitated transport

diffusion of polar, hydrophilic molecules

through a protein channel

high → low concentration gradient

- انتشار الجزيئات القطبية والمحبة للماء (Polar, hydrophilic)
- يتم عبر قناة بروتينية (Protein channel)
- تتحرك أيضاً من تركيز عالي → إلى تركيز منخفض

النقل النشط

Active transport

diffusion *against* concentration gradient

low → high

uses a protein pump

requires ATP

- نقل المواد عكس تدرج التركيز (Against concentration gradient)
- يعني من تركيز منخفض → إلى تركيز عالي
- يستخدم مضخة بروتينية (Protein pump)
- يحتاج إلى طاقة ATP

النقل السلبي (Passive Transport) — بدون طاقة

أ) الانتشار البسيط (Simple Diffusion)

- مباشرةً عبر ثنائي الطبقة
- من تركيزٍ عالٍ → منخفض
- يمر: CO_2 ،O_2، الإيثانول، الجزيئات الصغيرة الكارهة للماء

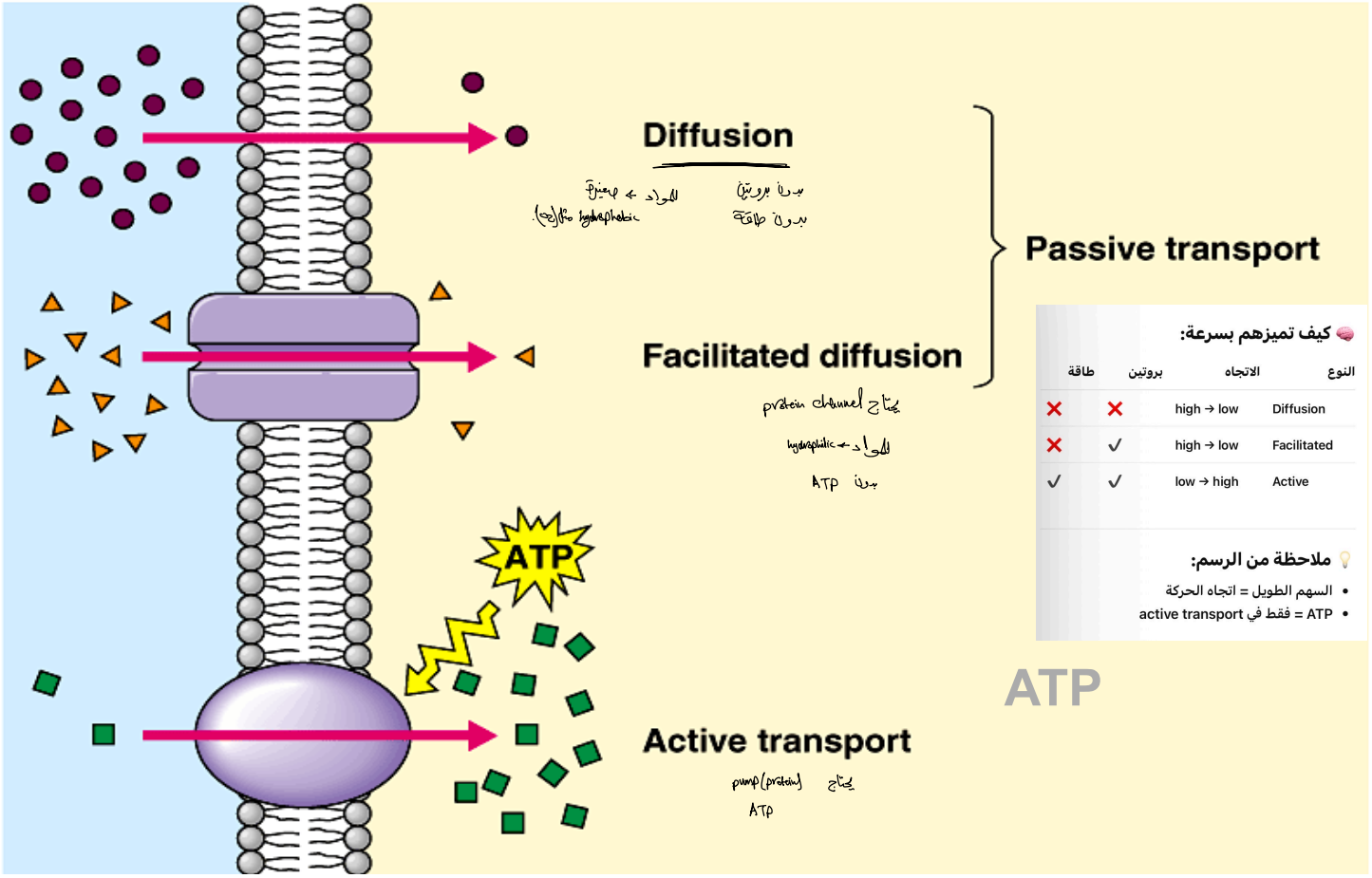
ب) الانتشار الميسّر (Facilitated Diffusion)

- عبر بروتينات قناة أو ناقلة
- من تركيزٍ عالٍ → منخفض
- يمر: الجلوكوز، الأيونات (Na^+, K^+, Cl^-)، الماء (عبر الأكوابورين)

ج) التناضح (Osmosis)

- حركة الماء فقط عبر الغشاء
- من محلول مخفف → مركّز
- عبر بروتينات الأكوابورين (Aquaporins)

Movement across cell membrane



النوع	الاتجاه	بروتين	طاقة
Diffusion	high → low	✗	✗
Facilitated	high → low	✓	✗
Active	low → high	✓	✓

ملاحظة من الرسم:

- السهم الطويل = اتجاه الحركة
- ATP = فقط في active transport

نقل الجزيئات الكبيرة

Transport of large molecules

نقل الجزيئات الكبيرة إلى داخل الخلية وخارجها يتم:
من خلال الحويصلات والفجوات (Vesicles & Vacuoles)

- Moving large molecules into & out of cell through vesicles & vacuoles
- **endocytosis**
  - phagocytosis = “cellular eating”
  - pinocytosis = “cellular drinking”
- **exocytosis**

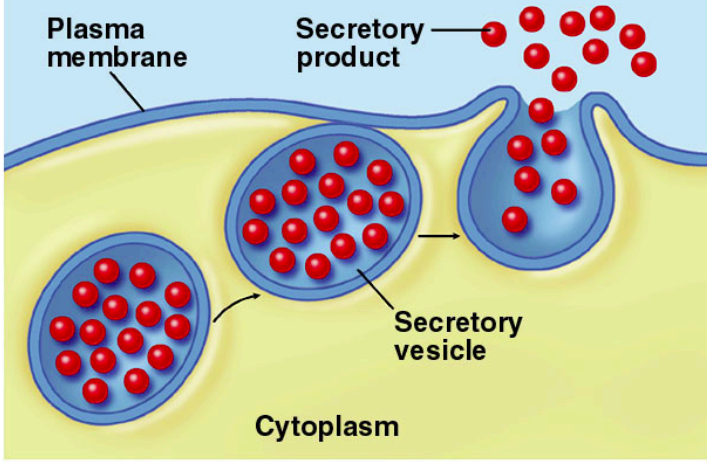
النوع	الاتجاه	الفكرة
Endocytosis	⬇️ للداخل	الخلية "تأكل"
Exocytosis	⬆️ للخارج	الخلية "تفرغ"

من الرسم:

- الحويصلات (دوائر) = vesicles
- لما تفتح لبرا → exocytosis
- لما تدخل لجوا → endocytosis

الخلاصة السريعة:

- **Small molecules → diffusion / transport**
- **Large molecules → vesicles (endo/exo)**



انتشار الماء

Diffusion of water

ينتشر الماء من منطقة ذات تركيز ماء عالٍ إلى منطقة ذات تركيز ماء منخفض.

- Diffusion of water from ***high concentration*** of water to ***low concentration*** of water

يتم تحديد اتجاه الأسموزية (Osmosis) من خلال مقارنة التركيز الكلي للمواد المذابة (Solutes)

- Direction of osmosis is determined by comparing total solute concentrations
  - Hypertonic - more solute, less water (محلول عالي التركيز) يحتوي على مواد مذابة أكثر ← ماء أقل
  - Hypotonic - less solute, more water (محلول منخفض التركيز) يحتوي على مواد مذابة أقل ← ماء أكثر
  - Isotonic - equal solute, equal water (محلول متعادل التركيز) تركيز المواد المذابة والماء متساوي.

الفكرة الأساسية (Osmosis):
الماء يتحرك حسب الـ solute (الذائبات) مش بس حسب الماء نفسه
القاعدة الذهبية: الماء يروح لمكان فيه ذائبات أكتر 🏠
الجملة الأولى:
from high concentration of water → low concentration of water
هذا يعني عمليًا:
من solute قليل → solute كتير

الأنواع الثلاثة:

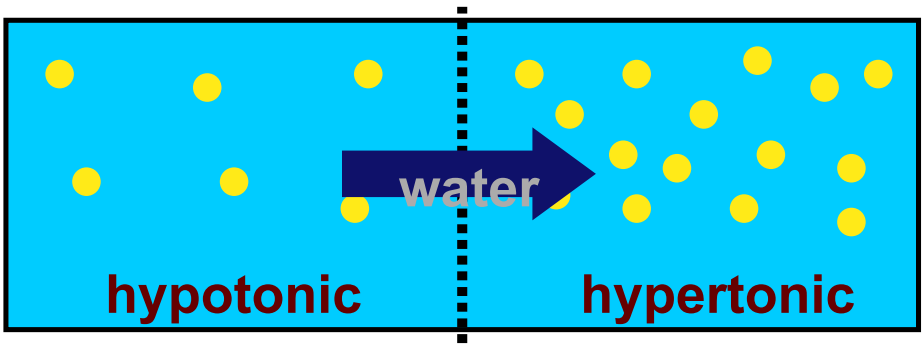
Hypertonic
فيه solute كتير فيه ماء قليل
الماء يروح إله

Hypotonic
فيه solute قليل فيه ماء كتير
الماء يطلع منه

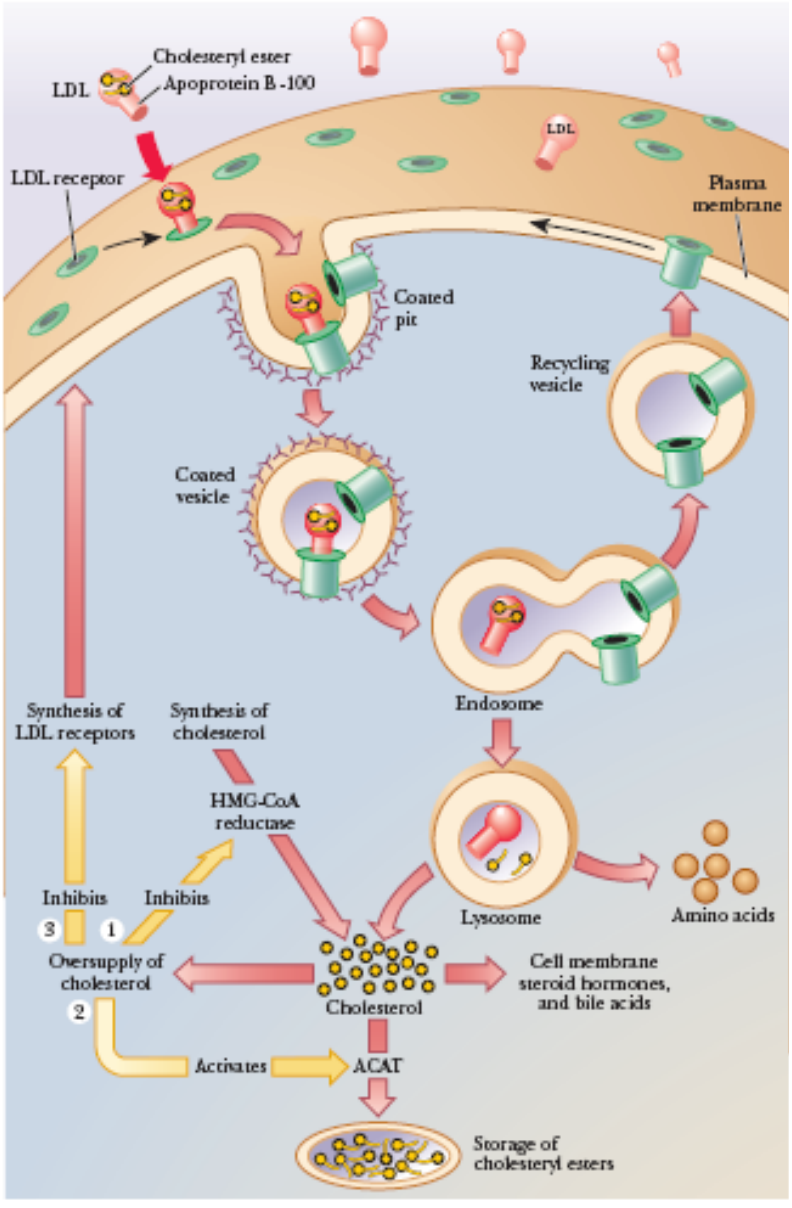
Isotonic
نفس التركيز ما في حركة صافية

من الرسم:
اليسار = hypotonic اليمين = hypertonic
السهم → رايح لليمين
يعني:
الماء رايح من hypotonic → hypertonic

💡 مثال سريع:
لو الخلية في محلول:
- Hypotonic → يدخل ماء → تنتفخ 💥
- Hypertonic → تطلع ماء → تنكمش 🍂
- Isotonic → طبيعية 👍



net movement of water



بتشرح كيف الخلية تدخل الكوليسترول من الدم عن طريق:
LDL receptor-mediated endocytosis

الخطوات بالترتيب:
1) ارتباط LDL
LDL (فيه كوليسترول) يرتبط بـ LDL receptor على الغشاء

2) دخول للخلية (Endocytosis)
الغشاء ينغمس ويعمل coated pit → coated vesicle

3) داخل الخلية (Endosome)
الحويصلة تصير endosome
ينفصل: LDL عن receptor

4) إعادة استخدام المستقبل
ال receptor يرجع للغشاء (recycling) ♻️

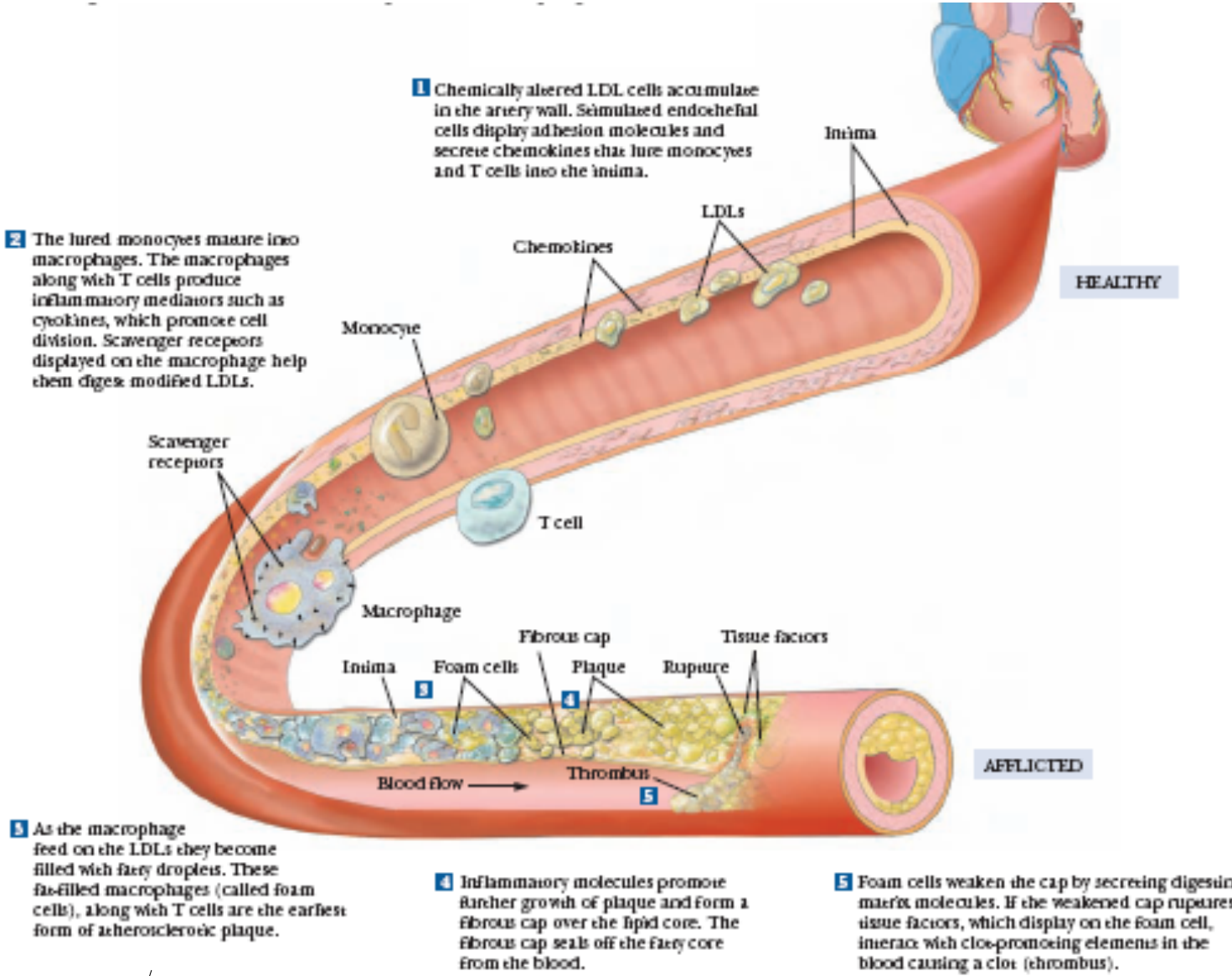
5) تكسير LDL

- **LDL يروح لـ lysosome**
- **ينكسر → يطلع:**

👉 **cholesterol + amino acids**

6) شو يصير بالكوليسترول؟
يستخدم في: بناء الغشاء هرمونات bile acids
أو ينخزن: يتحول لـ cholesteryl ester بواسطة إنزيم: ACAT

أهم نقطة (Feedback regulation):
إذا زاد الكوليسترول داخل الخلية:
يوقف: تصنيع كوليسترول جديد (↓ HMG-CoA reductase)
تصنيع LDL receptors
يزيد: التخزين (↑ ACAT)


1 Chemically altered LDL cells accumulate in the artery wall. Stimulated endothelial cells display adhesion molecules and secrete chemokines that lure monocytes and T cells into the intima.
Intima
LDLs
Chemokines
2 The lured monocytes mature into macrophages. The macrophages along with T cells produce inflammatory mediators such as cytokines, which promote cell division. Scavenger receptors displayed on the macrophage help them digest modified LDLs.
HEALTHY
Monocyte
Scavenger receptors
T cell
Macrophage
Fibrous cap
Tissue factors
Intima
Foam cells
Plaque
Rupture
3
4
Blood flow
Thrombus
5
AFFLICTED
3 As the macrophage feed on the LDLs they become filled with fatty droplets. These fat-filled macrophages (called foam cells), along with T cells are the earliest form of atherosclerotic plaque.
4 Inflammatory molecules promote further growth of plaque and form a fibrous cap over the lipid core. The fibrous cap seals off the fatty core from the blood.
5 Foam cells weaken the cap by secreting digesting matrix molecules. If the weakened cap ruptures, tissue factors, which display on the foam cell, interact with clot-promoting elements in the blood causing a clot (thrombus).

1️⃣ Chemically altered LDLs accumulate in the arterial wall. Stimulated endothelial cells display adhesion molecules and secrete chemokines that lure monocytes and T cells into the intima.

يتراكم LDL المتغير كيميائيًا داخل جدار الشريان. الخلايا البطانية تتحفز وتُظهر جزيئات التصاق وتفرز مواد (كيموكينات) تجذب الخلايا الوحيدة (monocytes) والخلايا التائية إلى طبقة الـ intima.

2️⃣ The lured monocytes mature into macrophages. The macrophages along with T cells produce inflammatory mediators such as cytokines, which promote cell division. Scavenger receptors displayed on the macrophages help them digest modified LDLs.

تتحول الخلايا الوحيدة إلى ماكروفاج. الماكروفاج مع الخلايا التائية تنتج مواد التهابية مثل السيتوكينات التي تحفز انقسام الخلايا. كما أن مستقبلات خاصة على الماكروفاج تساعدها على هضم LDL المعدل.

3️⃣ As the macrophages feed on the LDLs they become filled with fatty droplets.These fat-filled macrophages (called foam cells), along with T cells are the earliest form of atherosclerotic plaque.

عندما تأكل الماكروفاج LDL تمتلئ بقطرات دهنية. وتسمى هذه الخلايا (foam cells)، وهي أول شكل لتكوّن اللويحة (plaque).

4️⃣ Inflammatory molecules promote further growth of plaque and form a fibrous cap over the lipid core. The fibrous cap seals off the fatty core from the blood.

المواد الالتهابية تزيد من نمو اللويحة وتكوّن غطاءً ليفيًا فوق اللب الدهني.
هذا الغطاء يعزل الدهون عن الدم.

5️⃣ Foam cells weaken the cap by secreting digesting matrix molecules If the weakened cap ruptures, tissue factors, which display on the foam cell interior, mix with clot-promoting elements in the blood causing a clot (thrombus).

الخلايا الرغوية تضعف الغطاء عن طريق إفراز مواد تهضم المصفوفة.
وإذا تمزق الغطاء، تختلط عوامل من داخل الخلايا مع الدم ←
مما يؤدي إلى تكوّن جلطة (thrombus).

كيف LDL يسبب atherosclerosis (تصلب الشرايين)

1) بداية المشكلة

LDL يتجمع داخل جدار الشريان (intima)

ويتغير (oxidized LDL)
الجسم يعتبره "شيء غريب"

2) استدعاء المناعة الخلايا تبعت إشارات (chemokines)
تجيب: monocytes + T cells

3) تتحول إلى macrophages

- monocytes → macrophages
- LDL "تبدأ "تأكل

4) تتكون Foam cells

تمتلئ دهون macrophage

تصير foam cells
هاي أول علامة للـ plaque

5) تكوّن Plaque
تتجمع foam cells
يتكون: fatty streak → plaque
الجسم يحاول يغطيها: fibrous cap

6) الخطر الحقيقي (Rupture)
إذا الكاب انفتح: يطلع محتوى الدهون يعمل clot (thrombus)
ممكن يسد الشريان → جلطة