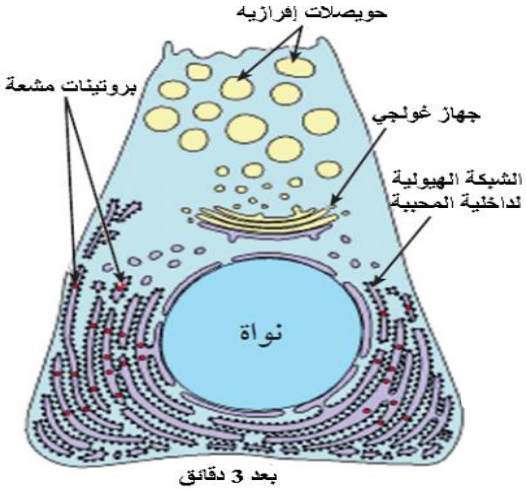
1- مقر تركيب البروتين :

يتم تركيب البروتين عند الخلايا حقيقيات النوى في الهيولى وبالضبط على مستوى الشبكة الهيولية الداخلية المحببة، إنطلاقا من الأحماض الأمينية الناتجة عن الهضم.



رسم تخطيطي لخلية البنكرياس المتحصل عليها من التجربة السابقة (تظهر مواقع وجود الإشعاع باللون الأحمر)

2- الوسيط الناقل للمعلومة الوراثية :

- يؤمن إنتقال المعلومة الوراثية من النواة إلى مقر تركيب البروتين نمط أخر من الأحماض النووية يدعى **الحمض الريبي النووي الرسول (ARNm)**.

- ال ARNm هو **وسيط كيموحيوي** بين المورثة و البروتين .

وسيط : لأنه ينقل نسخة طبق الأصل عن المعلومة الوراثية الموجودة في المورثة إلى الهيولى لتترجم لبروتين نوعي .

كيموحيوي : لأنه أجد الجزيئات الأربعة الأساسية المركبة للمادة الحية (العضوية) و هي البروتينات , السكريات , الدسم , الأحماض النووية .

3- التركيب الكيميائي لل ARN :

أ – الإماهة الكلية :

شروطها : وسط قاعدي (بإضافة NaOH) في درجة حرارة 120°م ولمدة ساعتين

نواتجها :

- **حمض الفوسفوريك (P):** H_3PO_4.

- **سكر خماسي الكربون = الريبوز (R):** $C_5H_{10}O_5$.

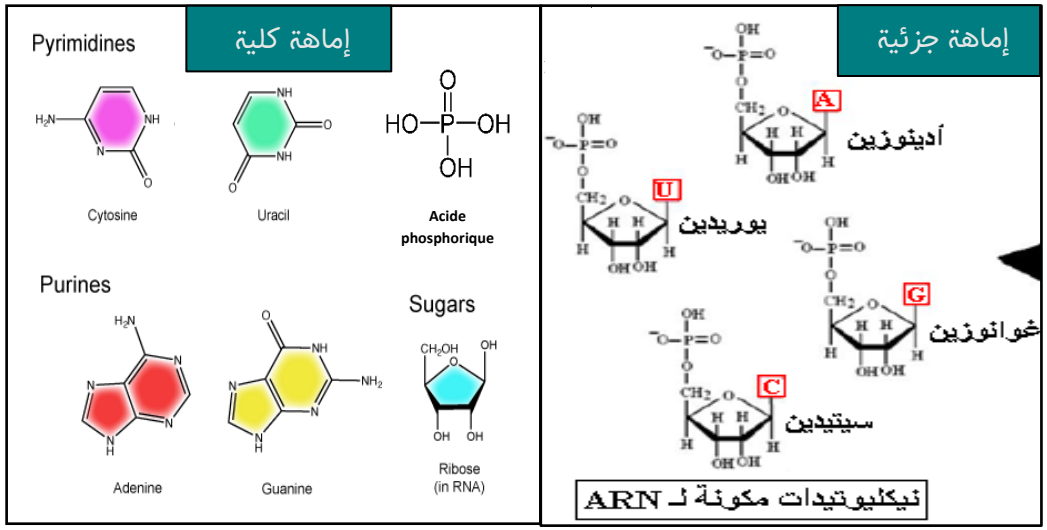
- **أربعة أنواع من القواعد الآزوتية:** الأدنين (A)، الغوانين (G)، السيتوزين (C)، اليوراسيل (U).

ب – الإماهة الجزئية :

شروطها : إماهة إنزيمية بإستعمال **إنزيم ARNase (Ribonucléase)** في درجة حرارة 37°م .

نواتجها :

4 أنواع من النيكليوتيدات الريبية تختلف عن بعضها باختلاف القاعدة الأزوتية الداخلة في تركيبها و هي **الغوانوزين , الأدينوزين , الستيدين , اليوريدين .**



د – بنية جزيئة ال ARN :

جزيئة قصيرة، تتكون من **سلسلة واحدة** من متعدد **النيكليوتيدات الريبة** التي تربط مع بعضها بواسطة روابط استر فوسفاتية ناتجة عن ارتباط المجموع الفوسفوري بذرة كربون 5 لسكر ريبوز في النيكليوتيدة من جهة و ارتباطه بذرة كربون 3 لسكر ريبوز النيكليوتيدة الموالية من جهة أخرى .

هـ - تقنية التصوير الإشعاعي الذاتي :

هي تقنية يعتمد مبدؤها على تصوير الإشعاعات الصادرة عن النظائر المشعة مثل C^{14} و N^{16} التي تدخل في تركيب العينة المدروسة , تستعمل هذه التقنية من أجل تتبع مصير العنصر الموسوم بنظير مشع من حيث المسار , منطقة الإدماج أو التحولات التي تطرأ عليها .

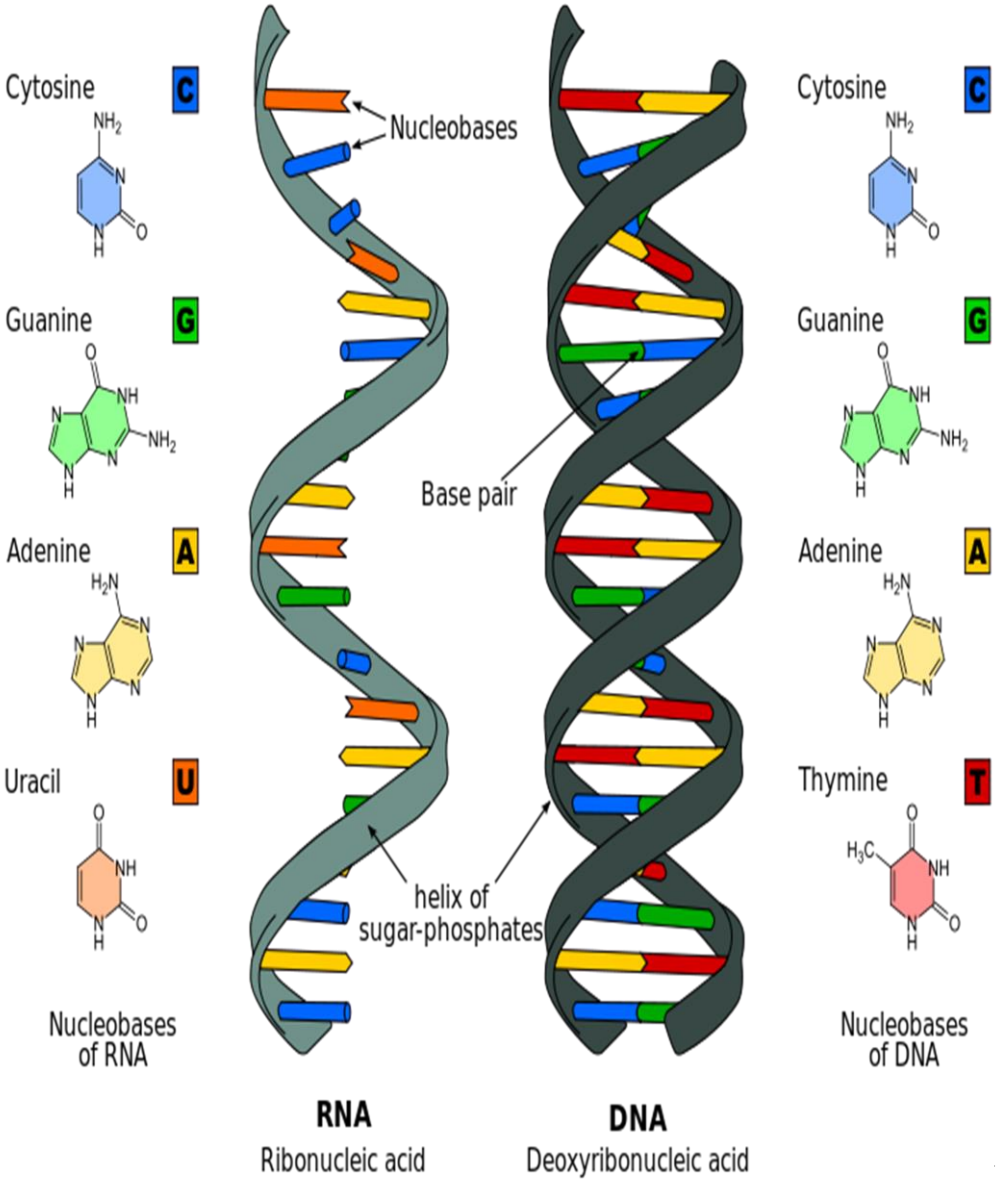
و - مقارنة بين بنية ال ADN و ARN :

الهدف من المقارنة : الوصول للخصائص البنيوية و الوظيفية لكل جزيئة .

	المعيار	ADN	ARN
اوجه التشابه	- كلاهما من الأحماض النووية . - من ناحية التركيب الكيميائي يتشابها في حمض الفوسفوريك و 3 قواعد أزوتية : A . C . G		
أوجه الإختلاف	مكان التواجد	النواة	يتركب في النواة و يهاجر إلى الهيولى
	القاعدة المميزة	T	U
	السكر الخماسي	ريبوز منقوص الأكسجين	ريبوز
	البنية الفراغية	سلسلتان متقابلتان و متعاكستان في الإتجاه تلتف حلزونيا .	سلسلة واحدة من الريبونيكليوتيدات
	الوظيفة	دعامة المعلومة الوراثية	ناقل المعلومة الوراثية

الإستنتاج :

كل من ال ADN و ARN أحماض نووية تتميز ببنية فراغية تؤهلها لأداء وظيفتها .



4- ألية الإستنساخ :

أ- تعريف الإستنساخ :

ظاهرة حيوية : تتم في النواة ويتم خلالها التصنيع الحيوي لجزيئات الـ ARNm إنطلاقا من إحدى سلسلتي الADN (السلسلة الناسخة) في وجود أنزيم الARN بوليمراز، وتخضع لتكامل النكليوتيدات بين سلسلة الـ ARNm والسلسلة الناسخة , تكون عملية الإستنساخ دوما في إتجاه 3' إلى 5' .

ب- متطلبات عملية الإستنساخ :

- **المورثة (ADN):** حاملة للمعلومة الوراثية (دعامة المعلومة الوراثية) .
- **إنزيم ARN بوليمراز:** إستنساخ ال ADN إلى ARNm إنطلاقا من السلسلة الناسخة (المستنسخة).
- **نيكليوتيدات ريبية (ريبونيكليوتيدات) حرة:** الوحدات البنائية للARNm.
- **طاقة في شكل ATP:** ضرورية لعمل الإنزيم (تستهلك أثناء الإستنساخ).

ج- مراحل عملية الإستنساخ :

تتم عملية الإستنساخ على مستوى النواة عند حقيقيات النواة، حيث تُركب جزيئات ARNm بتوفر مجموعة من العناصر وهي مورثة، إنزيم ARN بوليمراز، طاقة في شكل ATP ونيكليوتيدات ريبية حرة،

فما هي مراحل حدوث عملية الاستنساخ؟

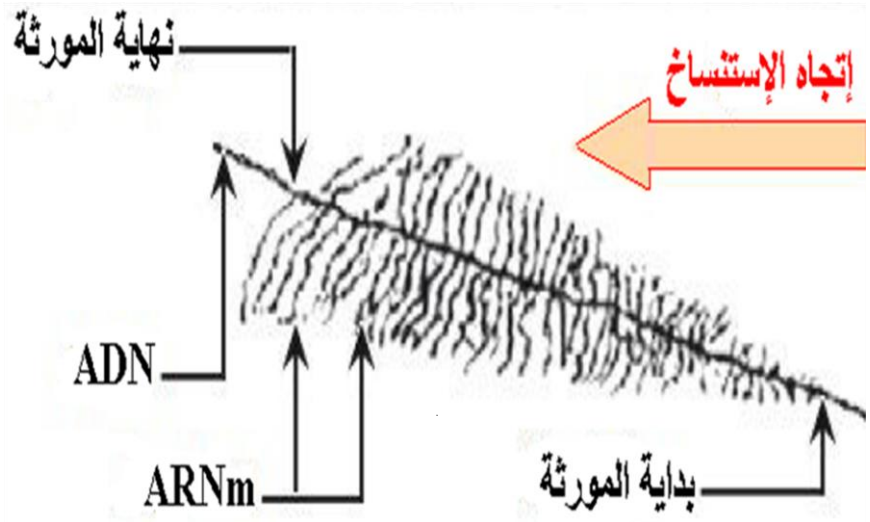
تمر عملية الإستنساخ بثلاث مراحل وهي:

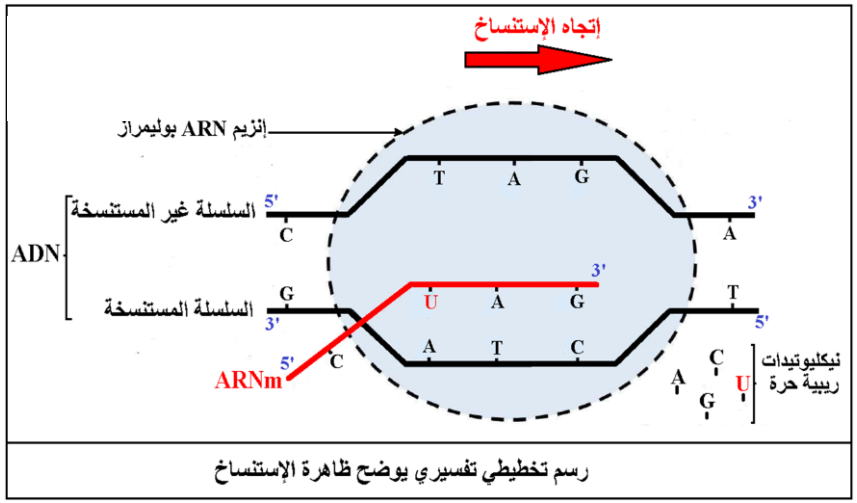
- **مرحلة الإنطلاق (البداية):** وفيها يرتبط إنزيم ARN بوليمراز ببداية المورثة ثم يعمل على فك تحلزن و فتح سلسلتي ADN بعد كسر الروابط الهيدروجينية بين أزواج القواعد الآزوتية ليبدأ بقراءة التتابع النيكليوتيدي (4 أو 5 نيكليوتيدات الأولى) على إحدى سلسلتي ADN المراد نسخها **(السلسلة المستنسخة)** من أجل ربط النيكليوتيدات الموافقة والمكملة لها من أجل تركيب جزيئة ARNm.
- **مرحلة الإستطالة:** ينتقل إنزيم ARN بوليمراز على طول المورثة لقراءة تتابع النيكليوتيدات على السلسلة المستنسخة وبالتالي ربط نيكليوتيدات ARNm وفق ما يقابلها في سلسلة ADN حيث: (A،T،G،C) في السلسلة المستنسخة للADN يقابلها (U،A،C،G) في ARNm وفق نفس الترتيب وبذلك تستطيل جزيئة ARNm.
- **مرحلة النهاية:** وفيها يصل إنزيم ARN بوليمراز إلى نهاية المورثة حيث تتوقف إستطالة ARNm فينفصل كل من إنزيم ARN بوليمراز و ARNm عن الADN لتلتحم سلسلتي ADN من جديد و تتشكل بذلك جزيئة ARNm.

يتم خلال عملية الإستنساخ التصنيع الحيوي لجزيئات الـ ARN_m التي تنقل نسخة عن المعلومة الوراثية للبروتين .

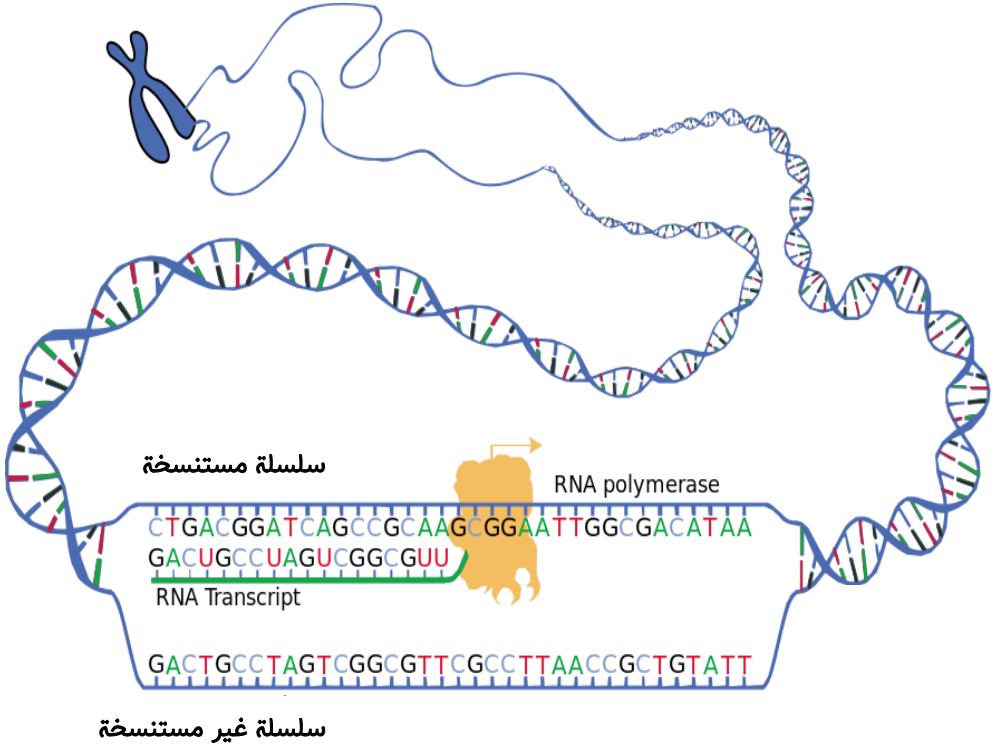
ملاحظة:

الإستنساخ المتعدد : تنسخ المورثة (ADN) من طرف عدد كبير من جزيئات ARN بوليميراز و تنطلق عدّة خيوط متفاوتة الطول تمثل خيوط ARNm، مما يُعطي للمورثة أثناء الإستنساخ مظهر الريشة، كما أن إتجاه الإستنساخ يأخذ إتجاه واحد من الخيوط القصيرة (بداية المورثة) إلى الخيوط الطويلة (نهاية المورثة)، وهذا يدل على أن ظاهرة الإستنساخ المتعدد يتم خلالها تصنيع جزيئات الARNm إنطلاقا من مورثة واحدة و بالتالي إنتاج عدد كبير من جزيئات البروتين النوعية .





رسم تخطيطي تفسيري يوضح ظاهرة الإستنساخ



سلسلة غير مستنسخة

5- الشفرة الوراثية :

أ- الإستدلال الرياضي :

نظرا لوجود 4 قواعد آزوتية (نيكليوتيدات) متكررة على الARNm (A، C، G، U) مقابل 20 نوعا من الأحماض الأمينية تدخل في تركيب البروتينات فإننا نستعمل قانون الإحتمالات التالي: $A=B^C$ حيث:

- **A:** عدد أنواع الرامزات (أحماض أمنية) .
- **B:** عدد أنواع القواعد الآزوتية.
- **C:** عدد القواعد الآزوتية في الرامزة.

إذن عدد الإحتمالات الممكنة هو:

- الإحتمال الأول: قاعدة آزوتية واحدة تشفر لحمض أميني واحد أي $4^1 = 4$ إحتمال مرفوض لأن عدد الأحماض الأمنية في الطبيعة يساوي 20 حمض أميني .
- الإحتمال الثاني: قاعدتان آزوتيتان تشفران لحمض أميني واحد أي $4^2 = 16$ إحتمال مرفوض لأن عدد الأحماض الأمنية في الطبيعة يساوي 20 حمض أميني .
- الإحتمال الثالث: ثلاث قواعد آزوتية تشفر لحمض أميني واحد أي $4^3 = 64$ وهذا كافي وزيادة لتشفير 20 نوعا من الأحماض الأمينية .

ومنه **فالإحتمال المقبول و الأكثر وجاهة** هو الإحتمال الثالث (تشفر المعلومة الوراثية برامزات ثلاثية النيكليوتيدات) لأنه يعطي عدد رامزات تكفي لتشفير 20 نوعا من الأحماض الأمينية .

ب- مميزات الشفرة الوراثية :

تنسخ المعلومة الوراثية بشفرة خاصة تدعى الشفرة الوراثية، ومن مميزاتها:

التثليث: وحدة الشفرة الوراثية هي ثلاثية من القواعد تدعى الرامزة وعددها 64 رامزة.

الترادف: تشفر عادة لنفس الحمض الأميني عدة رامزات (رامزات مترادفة) مثل الحمض الأميني فالين (Val) تشفره 4 رامزات وهي:

.GUG،GUA ،GUC ،GUU

- الرامزة AUG تشفر لحمض آميني واحد هو الميثيونين (Met) وهي أول رامزة يتم ترجمتها لذلك تدعى برامزة الإنطلاق.

- الرامزة UGG تشفر لحمض آميني واحد هو تريبتوفان (Trp).

- ثلاث رامزات لا تشفر لأي حمض أميني تدعى برامزات توقف القراءة (بدون معنى) وهي **UAA، UAG، UGA.**

الشمولية: ونقصد بها أن الشفرة الوراثية متماثلة عند معظم الكائنات الحية.

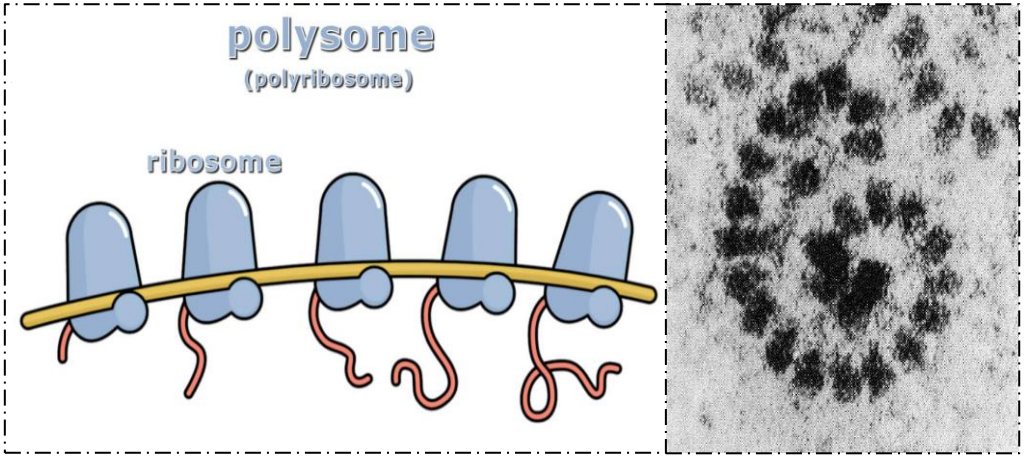
برنامج Anagène: هو برنامج محاكاة يُستعمل عادة في:

- ❖ عرض ومقارنة تتابع النيكليوتيدات في ADN.
- ❖ عرض ومقارنة تتابع النيكليوتيدات في ARNm.
- ❖ عرض ومقارنة تتابع الأحماض الأمينية في بروتين.
- ❖ القيام بإستنساخ الARNm إنطلاقا من المورثة.
- ❖ القيام بترجمة الARNm إلى سلسلة ببيتيدية

6- ألية الترجمة :

أ- مقر تركيب البروتين في الهيولى :

مقر تركيب البروتين في الهيولى هو **متعدد الريبوزوم** الذي يتمثل في مجموعة أو عدد من الريبوزومات المرتبطة بخيط واحد من الARNm حيث كل ريبوزوم يقوم ببناء سلسلة ببيتيدية في آن واحد، تسمح القراءة المتزامنة للARNm نفسه من طرف عدد من الريبوزومات **بتركيب كمية كبيرة من البروتين في مدة زمنية قصيرة.**

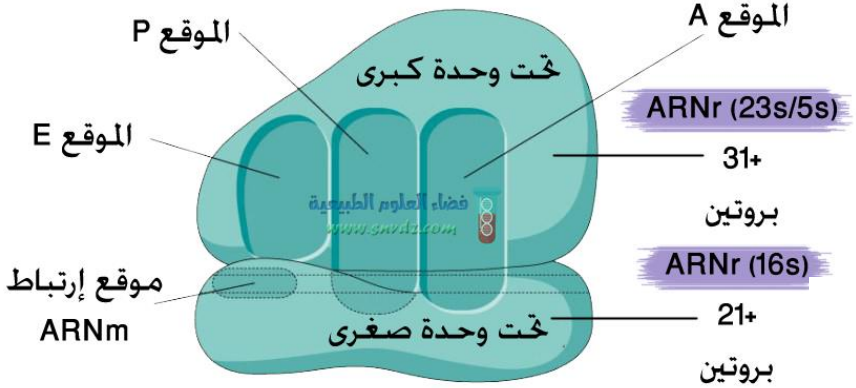


ب- متطلبات عملية الترجمة :

❖ **الريبوزومات :** تتشكل الريبوزومات من تحت وحدتين:

تحت وحدة صغرى : تتكون من نمط واحد من **ARN r** ذو معامل ترسيب **16s** و **21** نوع من البروتين تحمل أساسا موقع قراءة و إرتباط الARNm .

تحت وحدة كبرى : تتكون من نمطين من **ARN r** ذو معامل ترسيب **5s** و **23s** و **31 نوع من البروتينات** تحمل أساسا موقعين تحفيزيين خاصين لإرتباط الARNt (موقع A خاص بالحمض الأميني وموقع P خاص بالبيبتيد)، كما تحتوي على نفق لخروج السلسلة البيبتيدية.



ملاحظة :

الموقع E أو EXIT هو موقع خاص بخروج ال ARNt المتواحد في الموقع P .

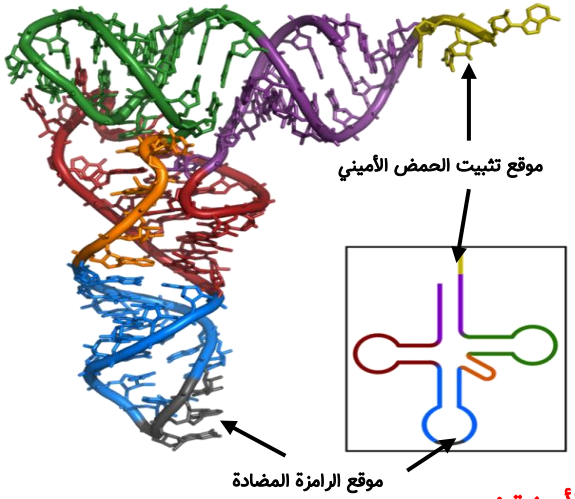
❖ **الحمض الريبي النووي الناقل ARNt :**

يتكون الـ ARNt من سلسلة واحدة من متعددة النيوكليوتيد الريبي حوالي 75 نلكليوتيدة تلتف لتأخذ شكل ورقة النفل أو حرف L مقلوب، يملك الـ ARNt موقعين هامين هما:

موقع خاص بتثبيت الحمض الأميني (الموافق لرامزة ARNm بحيث كل ARNt مختص بنقل حمض أميني معين).

موقع خاص بالرامزة المضادة (وهي مكملة لرامزة ARNm).

إحتواء ال ARNt على موقعين يكسبه دورا مزدوجا يتمثل في ربط و نقل الأحماض الأمينية و قراءة تتابع القواعد الأزوتية على ال ARNm بواسطة الرامزة المضادة .

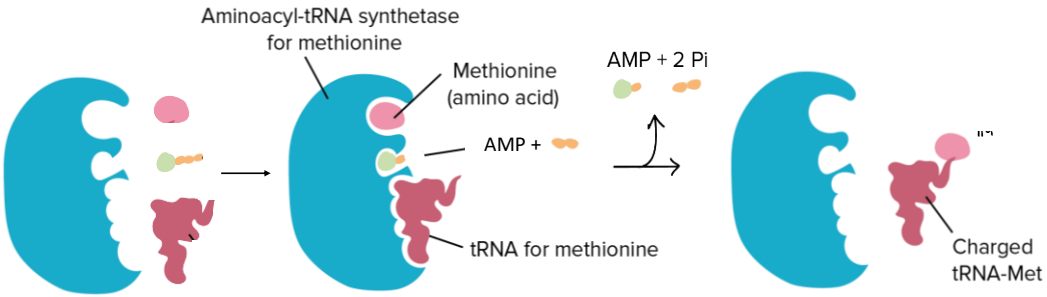


❖ **تنشيط الأحماض الأمينية :**

هي عملية ربط الحمض الأميني بال ARNt الخاص به.

تتطلب ألية التنشيط العناصر التالية : حمض أميني , ARNt نوعي , ATP , إنزيم التنشيط النوعي أمينوأسيل ARNt سانتيتاز .

يتوضع كل من الحمض الأميني والـ ARNt على المواقع الخاصة بهما على إنزيم التنشيط، ثم بإستعمال الطاقة يشكل الإنزيم رابطة بين الحمض الأميني والـ ARNt الخاص به فيتشكل **المعقد : إنزيم - حمض أميني - ARNt** ، ثم ينفصل الإنزيم ويتحرر **المعقد : حمض أميني – ARNt.**



ج- مراحل الترجمة :

تتم ترجمة المعلومة الوراثية المتمثلة في جزيئة ARNm الناتجة عن عملية الإستنساخ إلى بروتين في الهيولى على مستوى الشبكة الهيولية المحببة وبتدخل الريزومات، فما هي مراحل حدوث عملية الترجمة ؟

تتم عملية الترجمة على مستوى الهيولى وفق ثلاث مراحل:

مرحلة الإنطلاق (البداية):

- يرتبط الـARNm على الموقع الخاص به على تحت الوحدة الصغرى للريبوزوم.
- يتثبت المعقد ARNt- مثيونين على رامزة البدء AUG للـ ARNm.
- تلتحق تحت الوحدة الكبرى للريبوزوم بتحت الوحدة الصغرى حيث يكون المعقد ARNt- مثيونين في الموقع P و يتشكل بذلك معقد الإنطلاق .
- يتوضع ARNt الحامل للحمض الأميني الثاني في الموقع A .
- تنشأ رابطة ببتيدية بين المثيونين والحمض الأميني الثاني .

مرحلة الإستطالة:

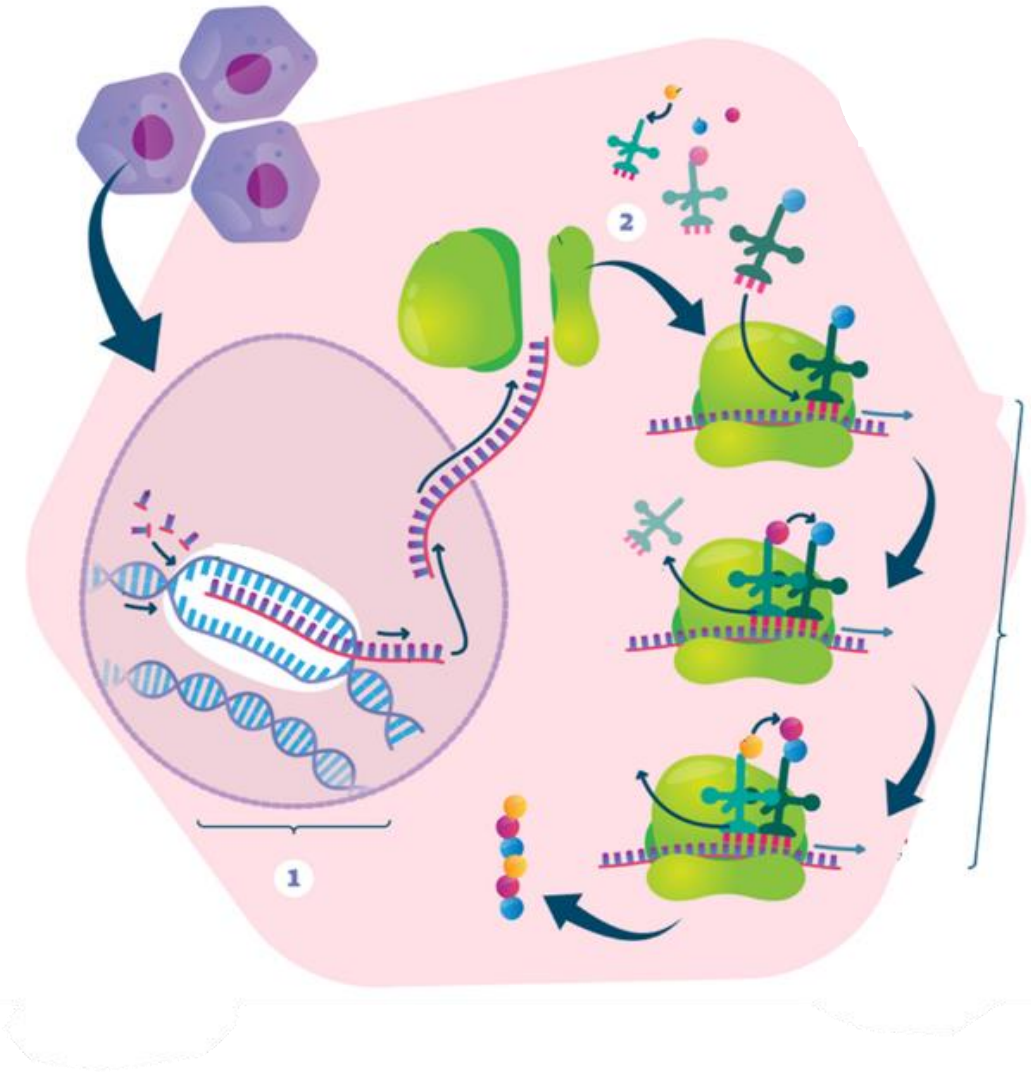
- ينفصل المثيونين عن ARNt الخاص به و الذي بدوره ينفصل عن الموقع P .

- يتحرك الريبوزوم برامزة واحدة فيصبح ARNt الحامل لثنائي الببتيد في الموقع P والموقع A شاغر.
- يأتي ARNt الحامل للحمض الأميني الثالث ويتوضع في الموقع A وتتشكل رابطة ببتيدية بين الحمضين الثاني و الثالث .
- يتنقل الريبوزوم بعد ذلك من رامزة إلى أخرى، فتستطيل تدريجيا السلسلة البيبتيدية .
- إن ترتيب الأحماض الأمينية في السلسلة يفرضه تتالي رامزات الـ ARNm .

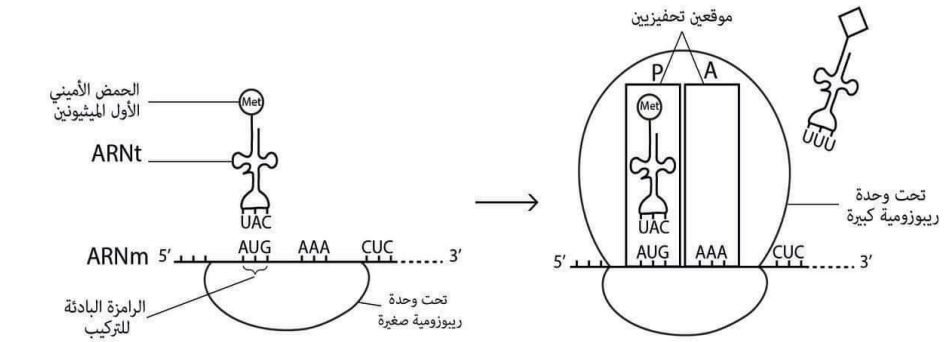
مرحلة النهاية:

- عند وصول موقع القراءة A للريبوزوم إلى إحدى رامزات التوقف (UAA،UAG،UGA) تتوقف عملية الترجمة.
- ينفصل ARNt لآخر حمض أميني وتتحرر السلسلة البيبتيدية المتكونة التي يُنزع منها الميثيونين.
- تنفصل تحت وحدتي الريبوزوم عن بعضهما.
- يتحرر ARNm و يتفكك.

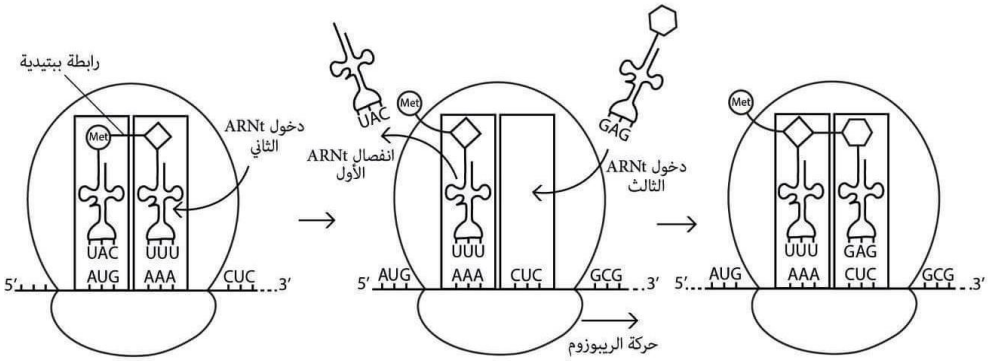
ينتج عن عملية الترجمة جزيئات بروتينية نوعية تنتقل الى جهاز كولجي أين تكتسب بنية فراغية وظيفية.



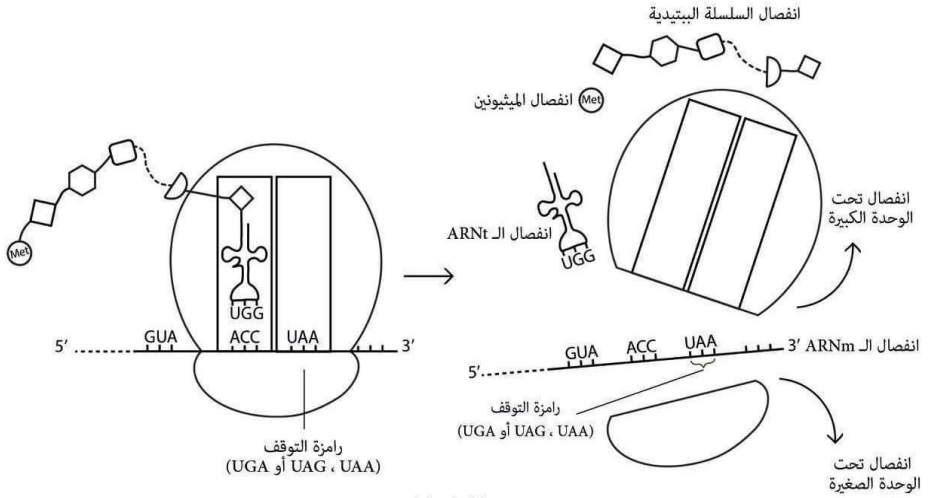
حوصلة لأليات تركيب البروتين (إستنساخ + ترجمة)



مرحلة البداية

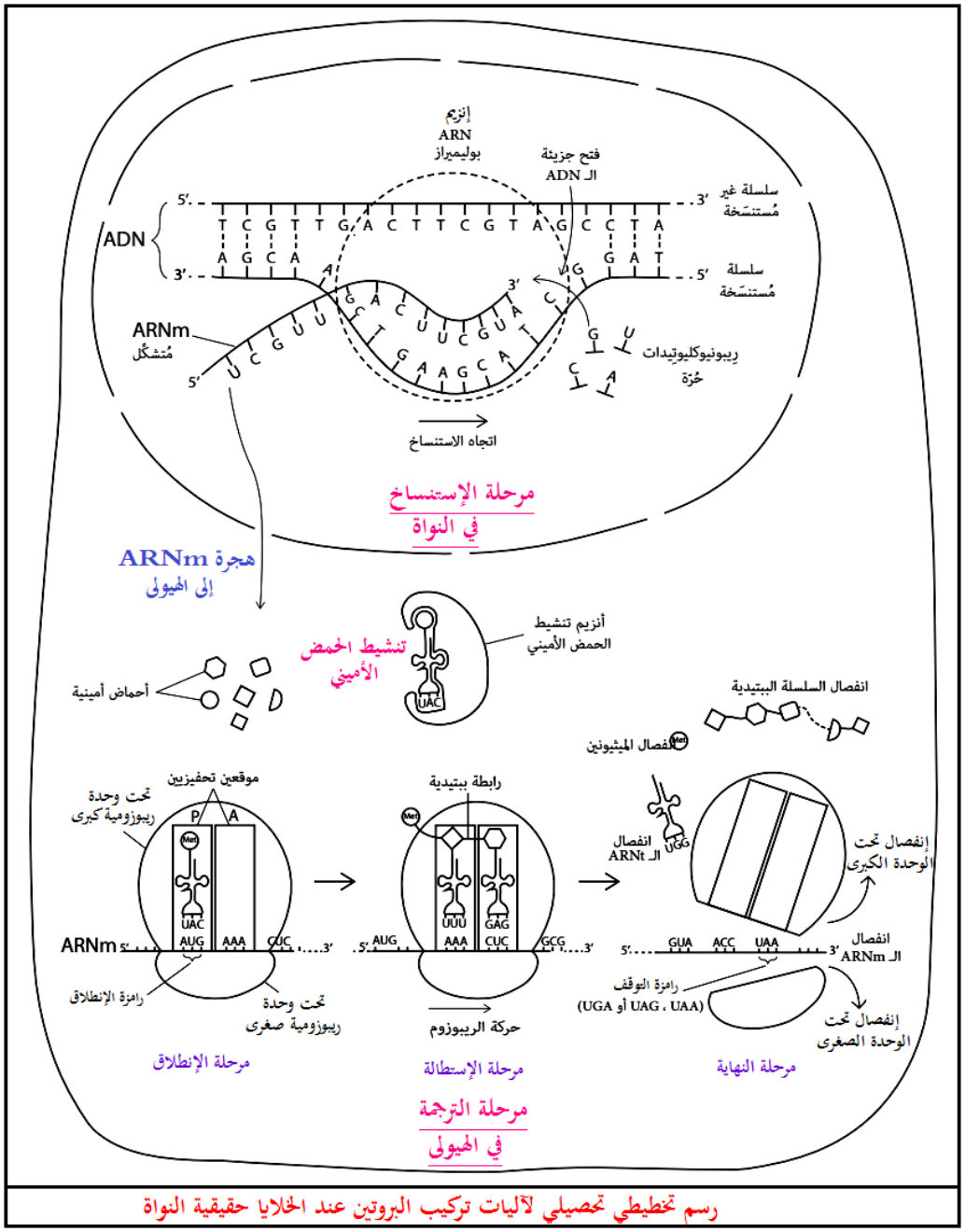


مرحلة الاستطالة

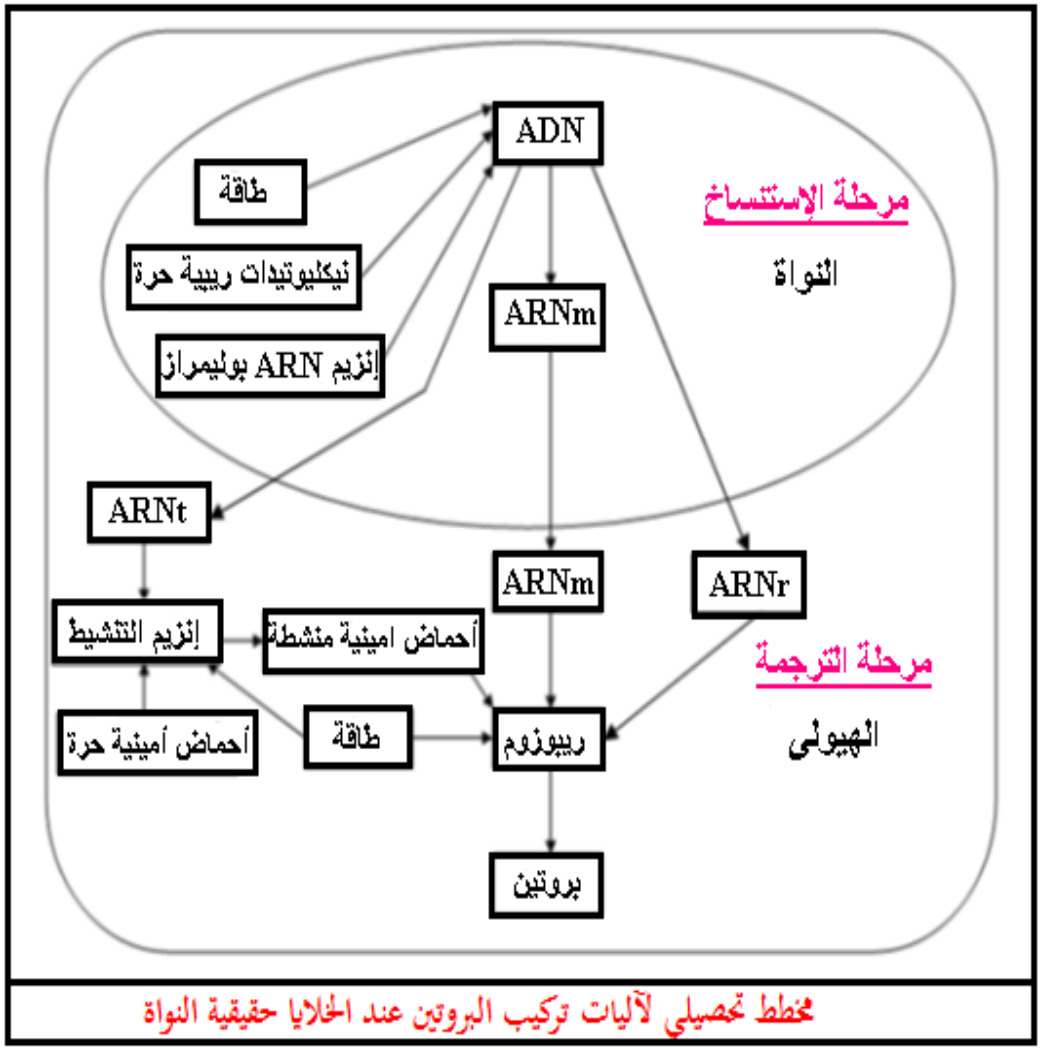


مرحلة النهاية

رسم تخطيطي يمثل مراحل عملية الترجمة



رسم تخطيطي تحصيلي لآليات تركيب البروتين عند الخلايا حقيقية النواة



مخطط تحصيلي لآليات تركيب البروتين عند الخلايا حقيقية النواة