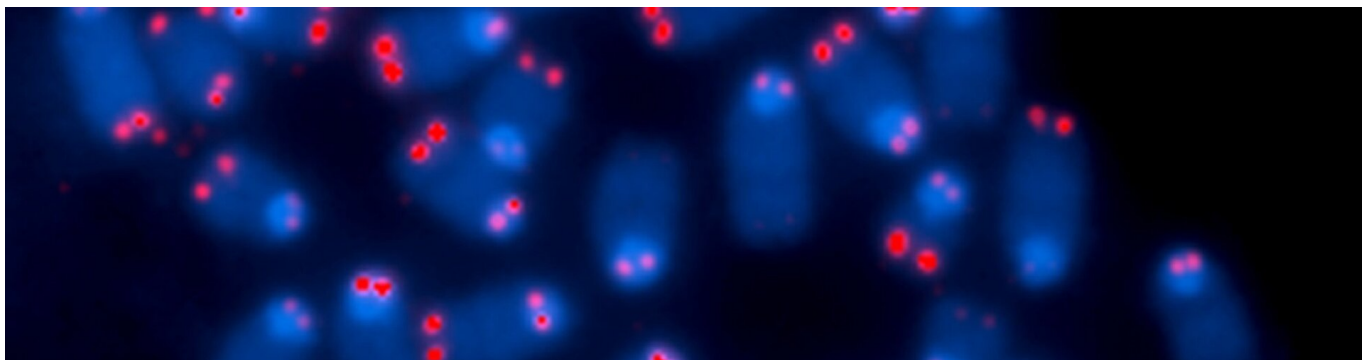
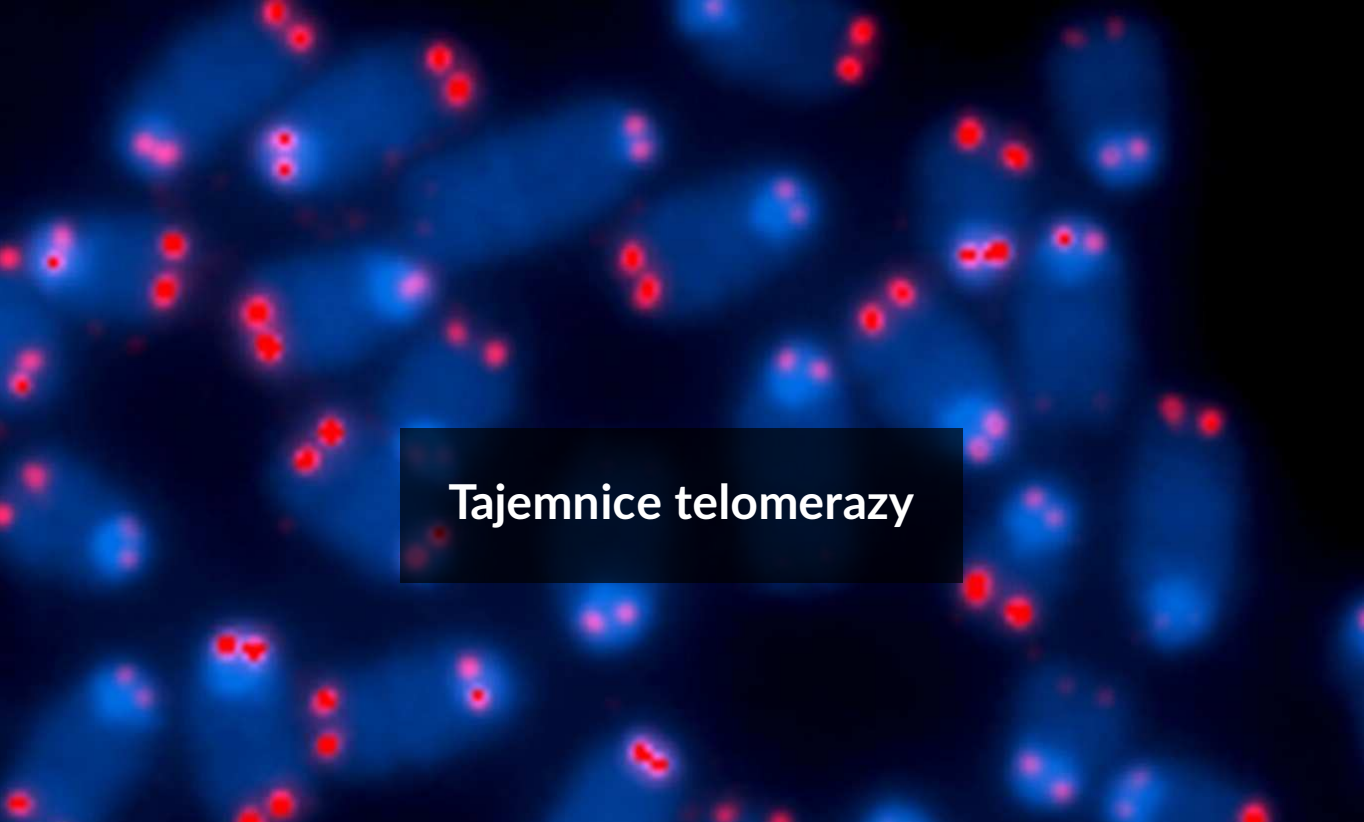




## Tajemnice telomerazy

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Audiobook](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



## Tajemnice telomerazy

Zdjęcie przedstawia chromosomy (niebieskie), których zakończenia są chronione przez specyficzne sekwencje DNA – telomery, zwizualizowane na fotografii na czerwono.

Źródło: Thomas Ried, NCI Center for Cancer Research, National Cancer Institute, National Institutes of Health, flickr.com, licencja: CC BY-NC 2.0.

W 1938 r. amerykański zoolog Hermann Muller wskazał zakończenie chromosomu, nazywając je „telomerem”. Naukowiec udowodnił, że napromieniowane zakończenia nie ulegają mutacjom strukturalnym, inaczej niż reszta chromosomu. W 1965 r. amerykański biolog Leonard Hayflick wykazał związek między procesami starzenia się i śmierci komórek a długością telomerów. Siedem lat później amerykański genetyk James Watson dowiódł, że telomery ulegają skróceniu po każdym procesie replikacji DNA. W 1978 r. amerykańska biolog Elizabeth Blackburn opisała molekularną strukturę telomerów u orzęska *Tetrahymena pyriformis*, a sześć lat później, wraz z Carol Greider, odkryły enzym – telomerazę – odpowiedzialny za wydłużanie telomerów. Czym właściwie są telomery? W jaki sposób ich długość przyczynia się do inicjacji procesów komórkowych związanych z apoptozą?

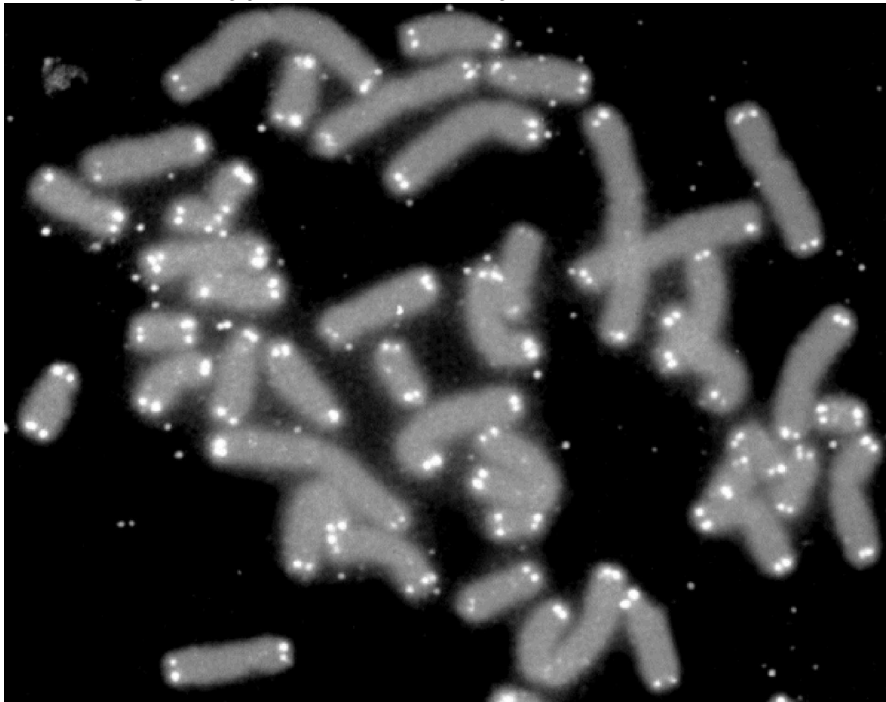
### Twoje cele

- Wyjaśnisz, czym są telomery i jaka jest ich rola.
- Wyjaśnisz, czym jest telomeraza i jakie są jej właściwości.
- Wyjaśnisz, jak działa telomeraza.
- Opisziesz związek pomiędzy telomerazą a rozwojem nowotworów.

# Przeczytaj

## Telomery

**Telomery** (gr. *telos* – koniec i *meros* – część) to kompleksy nukleoproteinowe znajdujące się na końcach ramion [chromosomów](#). Obecność telomerów chroni zakończenia chromosomów przed degradacją i w konsekwencji pozwala zachować stabilność [genomu](#).



Chromosomy komórki somatycznej człowieka. Telomery widoczne są jako jasne punkty na zakończeniach ramion chromosomów.

Zdjęcie spod mikroskopu kontrastowo-fazowego, powiększenie 1000×.

Źródło: Picturepest, Wikimedia Commons, domena publiczna.

## Budowa i funkcje telomerów

Telomery to integralne fragmenty chromosomów, które u człowieka i innych kręgowców składają się z wielokrotnie powtórzonej sekwencji nukleotydowej 5'-TTAGGG-3' zwanej [sekwencją telomerową](#).



W 1978 r. po raz pierwszy określono sekwencję telomeru u jednokomórkowego orzęska *Tetrahymena pyriformis*. Zdjęcie spod skaningowego mikroskopu elektronowego, powiększenie 400×.

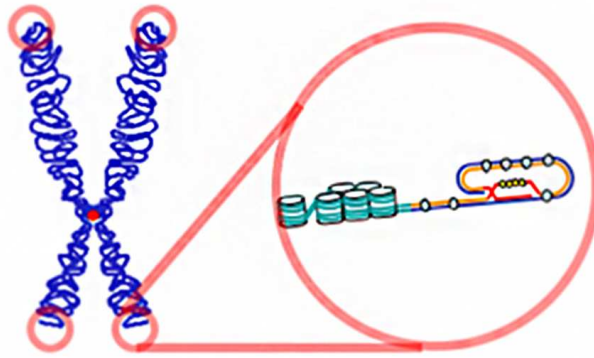
Źródło: Picturepest, licencja: CC BY-SA 2.0.

W chwili narodzin telomery człowieka mają długość od 15 do 20 tysięcy par zasad. Wraz z wiekiem ulegają skróceniu: u dorosłych ich długość wynosi od 8 do 10 tysięcy par zasad. Długość telomeru wykazuje również zmienność osobniczą i może być różna w zależności od rodzaju komórki lub tkanki.

Telomer składa się z tysięcy powtórzeń krótkich sekwencji nukleotydowych, które tworzą dwuniciową strukturę. Dwuniciowy fragment telomeru przechodzi na końcu 3' cząsteczki DNA w jednościowy fragment o długości od 70 do 200 par zasad.

Jednoniciowy fragment telomeru zagina się i przyłącza do komplementarnej sekwencji w pobliżu fragmentu dwuniciowego. Zakończenie telomeru przyjmuje kształt pętli, wewnątrz której schowany jest jednoniciowy koniec 3' cząsteczki DNA. Stanowi to rodzaj zabezpieczenia telomeru przed białkami naprawczymi, które mogłyby uznać jednoniciowe zakończenie chromosomu za uszkodzenie ciągłości cząsteczki DNA.

Dzięki takiej budowie telomery chronią DNA przed działaniem [endonukleaz](#), których aktywność doprowadziłaby do degradacji chromosomów.



Model struktury przestrzennej telomeru. Zakończenie telomeru ma postać pętli, która stabilizowana jest kompleksem białkowym zwanym „shelterin”. Nazwa kompleksu pochodzi od angielskiego słowa „shelter” oznaczającego „osłonę”.

Źródło: Y tambe, Wikimedia Commons, domena publiczna.

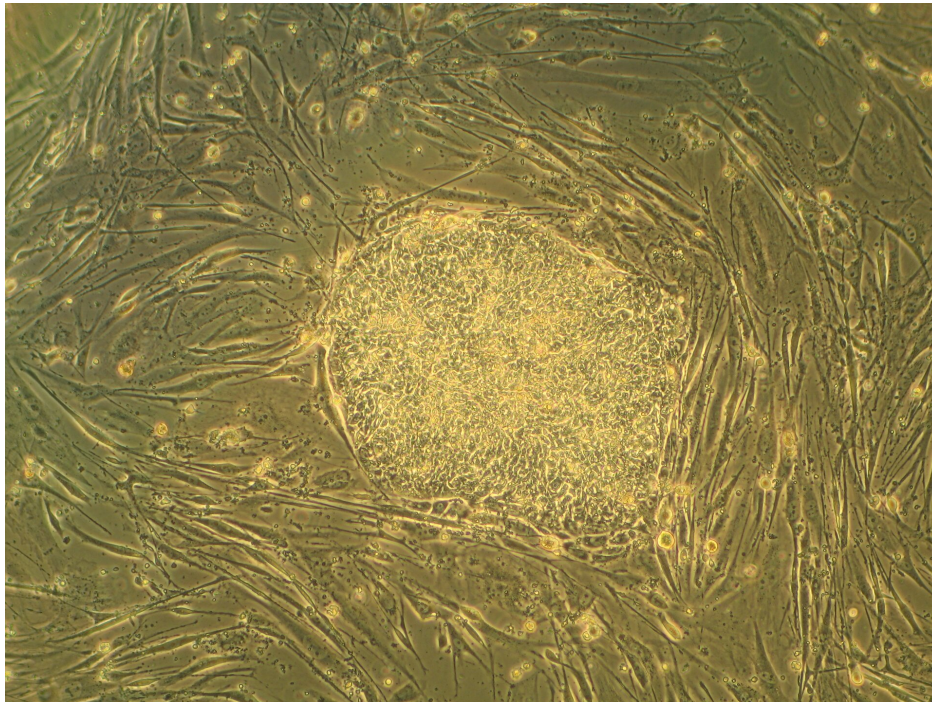
Do najważniejszych funkcji telomerów zalicza się:

- ochronę chromosomów przed degradacją, czyli zniszczeniem,
- umożliwianie systemom naprawczym rozpoznania zarówno prawidłowych, jak i uszkodzonych zakończeń chromosomów,
- regulację [transkrypcji](#) genów, które zlokalizowane są w pobliżu telomerów,
- zapobieganie mutacjom chromosomowym strukturalnym, w tym [translokacjom](#), [duplikacjom](#) i [delecjom](#),
- zapobieganie powstawaniu chromosomów dicentrycznych,
- zapewnienie prawidłowego przebiegu procesu rekombinacji,
- umożliwienie przestrzennej organizacji jądra komórkowego.

## Skracanie się telomerów

W 1965 r. Leonard Hayflick wykazał, że prawidłowo funkcjonujące komórki człowieka mają ograniczoną liczbę podziałów komórkowych – przyjmuje się, że mogą się dzielić od 40 do 60 razy. Zbliżając się do wartości granicznej, komórki wykazują oznaki starzenia się i w konsekwencji ulegają [apoptozie](#). Maksymalna liczba podziałów komórkowych, jaką może odbyć komórka, to tzw. limit Hayflicka. Wartość ta dotyczy jedynie komórek zróżnicowanych; [komórki macierzyste](#) oraz komórki nowotworowe nie mają tego ograniczenia.

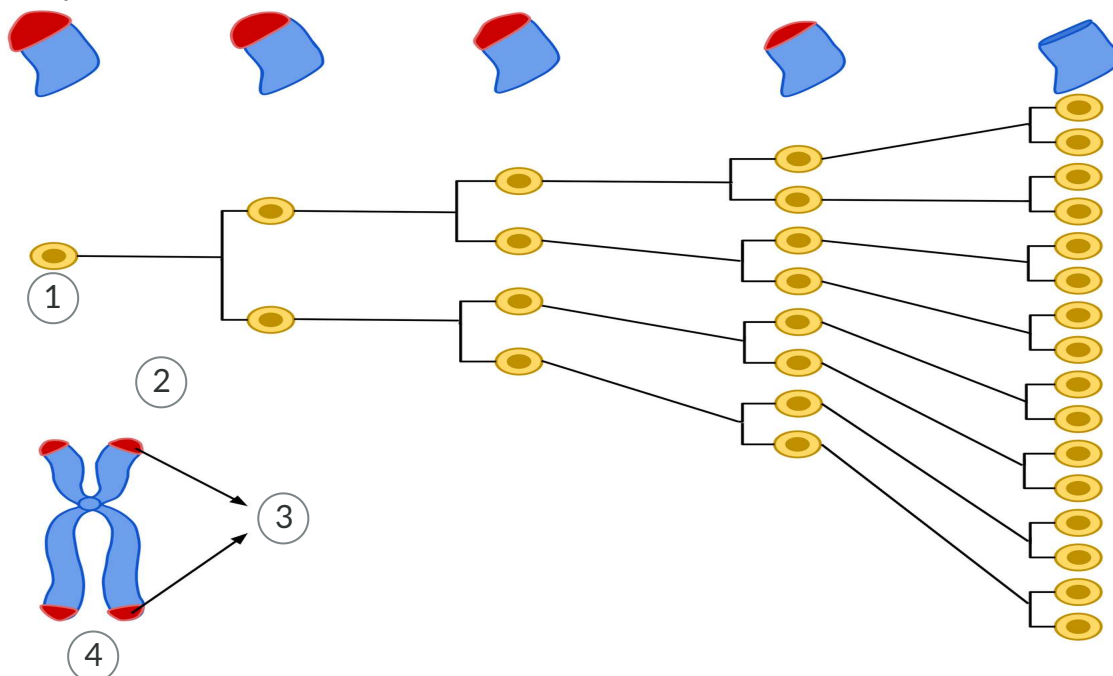




Zarodkowe komórki macierzyste człowieka mają zdolność do nieograniczonej liczby podziałów. Zdjęcie spod mikroskopu inwersyjnego, powiększenie 10×.

Źródło: Wikimedia Commons, domena publiczna.

Określona liczba podziałów komórkowych jest wyznaczana przez telomery, które stanowią pewnego rodzaju molekularny zegar biologiczny komórki. Komórki po osiągnięciu limitu Hayflicka przestają się dzielić i, choć nadal są aktywne metabolicznie, wchodzą w etap starzenia się.



## 2

---

Podziały komórkowe

## 3

---

Telomery

## 4

---

Chromosom

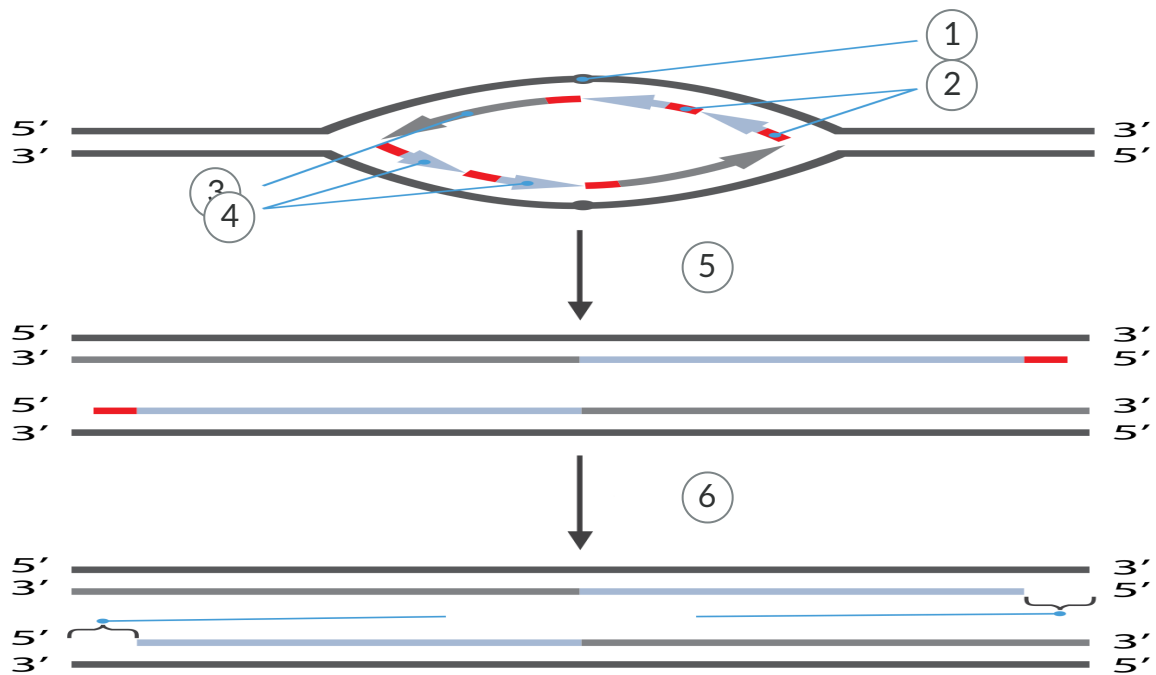
### Skracanie się telomerów.

Po każdym podziale komórkowym długość telomeru zmniejsza się. Skrócenie się sekwencji nukleotydowej następuje o fragment o długości od 50 do 150 par zasad.

Źródło: Azmistowski17, Wikimedia Commons, licencja: CC BY-SA 4.0.

Stopniowe zmniejszanie się długości telomerów związane jest z **problemem końca replikacji**. Enzym – polimeraza DNA – katalizuje replikację DNA jedynie w kierunku 5'–3' nowo syntetyzowanej nici DNA. Dlatego jedna z nici, nić wiodąca, syntetyzowana jest w sposób ciągły; druga, nić opóźniona – w nieciągły. Synteza nici opóźnionej odbywa się fragmentami Okazaki. Dodatkowo polimeraza DNA do rozpoczęcia replikacji wymaga obecności krótkich odcinków RNA, starterów. Po procesie replikacji na końcach 5' nici opóźnionej znajdują się startery, których usunięcie powoduje odsłonięcie jednoniciowych fragmentów DNA.

Brak pełnej replikacji wynikający z ograniczeń działania polimerazy DNA skutkuje stopniowym skracaniem się końców chromosomów. Skracanie następuje w obrębie telomerów, dlatego utrata tych części DNA nie wpływa na funkcjonowanie komórki. Dzieje się tak, ponieważ telomery to odcinki niekodujące, które nie zawierają informacji genetycznej.



1

Początek replikacji

2

Startery

3

Niść wiodąca

4

Niść opóźniona (fragmenty Okazaki)

5

Widetki replikacyjne przesuwają się

6

Usuwanie starterów

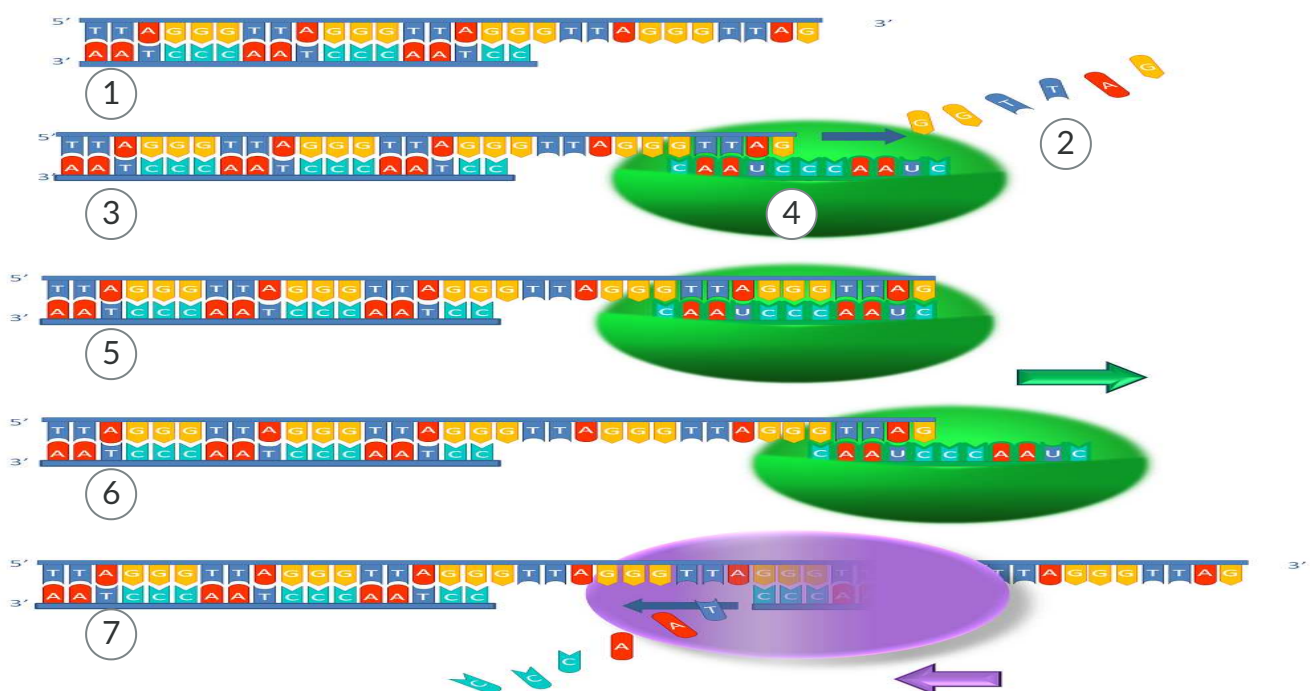
Proces replikacji DNA.



Skrócenie długości telomeru do ok. 3 tys. par zasad powoduje, że telomer nie może utrzymać charakterystycznej struktury pętli i chronić końcowych odcinków chromosomów przed degradującym działaniem endonukleaz. Dochodzi do destabilizacji genomu, której skutkiem jest uruchomienie mechanizmów apoptozy i w konsekwencji śmierć komórki.

## Telomeraza

Telomeraza to enzym składający się z dwóch podjednostek: hTR i hTERT. Podjednostka hTR zawiera fragment cząsteczki RNA komplementarny do sekwencji telomerowej. Podjednostka hTERT jest białkiem pełniącym funkcje katalityczne. Połączenie obu podjednostek tworzy kompleks rybonukleoproteinowy odpowiedzialny za utrzymanie odpowiedniej długości telomerów.



1

Jednoniciowy fragment cząsteczki DNA na końcu 3' w obszarze telomeru

2

Wolne nukleotydy

3

---

Telomeraza obejmuje jednoniciowy fragment cząsteczki DNA i dobudowuje do niego sekwencje telomerowe, wykorzystując matrycę w formie RNA.

4

---

Telomeraza

5

---

Wydłużenie jednoniciowego fragmentu cząsteczki DNA

6

---

Przesunięcie telomerazy w kierunku 5'–3' wydłużanej nici i dobudowanie kolejnej sekwencji telomerowej

7

---

Cykl powtarza się wielokrotnie. Następuje wydłużenie jednoniciowego fragmentu cząsteczki DNA. Przyłączenie starteru rozpoczyna pracę polimerazy DNA, która dobudowuje drugą nić zgodnie z zasadą komplementarności w kierunku 5'–3' wydłużanej nici. Dochodzi do odbudowy długości telomeru.

Mechanizm działania telomerazy.

Źródło: Fatma Uzbaz, Wikimedia Commons, licencja: CC BY-SA 3.0.

Telomeraza jest polimerazą DNA zależną od RNA. Oznacza to, że telomeraza syntetyzuje nić DNA w obszarze telomeru na podstawie matrycy RNA. Telomeraza wykazuje właściwości [odwrotnej transkryptazy](#), a jej aktywność katalityczna przeciwdziała skracaniu się telomerów.

## Aktywność telomerazy

W większości [komórek somatycznych](#) organizmu człowieka telomeraza nie jest aktywna. Dzieje się tak dlatego, że [ekspresja genu](#) kodującego podjednostkę hTERT telomerazy

zostaje zahamowana. Brak białkowej podjednostki uniemożliwia powstanie aktywnego kompleksu rybonukleoproteinowego, dlatego komórki wykazują ograniczoną liczbę podziałów. Wyjątkami są komórki macierzyste gamet, z których powstają plemniki i komórki jajowe, oraz zarodkowe komórki macierzyste, z których tworzą się wszystkie komórki organizmu. W tych komórkach aktywność telomerazy jest wysoka.

Aktywność telomerazy stwierdzono także w keratynocytach warstwy podstawnej naskórka, które poprzez ciągłe podziały komórkowe odbudowują stale złuszczone komórki jego warstwy rogowej. Wykazano również dużą aktywność tego enzymu w komórkach ponad 90% nowotworów złośliwych – telomery są odbudowywane po każdym podziale komórkowym, dlatego komórki nowotworowe nie wchodzi w etap starzenia się i nie ulegają apoptozie. Wysoka aktywność telomerazy nadaje komórkom nowotworowym nieśmiertelność, pozwalając na ich niekontrolowane rozprzestrzenianie się po organizmie oraz stały wzrost masy nowotworowej.

## Słownik

### **apoptoza**

programowa śmierć komórki w organizmie wielokomórkowym; proces biologiczny prowadzący do usunięcia komórek zużytych, starych, uszkodzonych lub zainfekowanych patogenami, na miejsce których pojawiają się nowe komórki

### **chromosom**

forma organizacji materiału genetycznego pojawiająca się w czasie mitozy i mejozy; najwyższy stopień upakowania chromatyny, umożliwiający równy podział informacji genetycznej komórkom potomnym

### **delecja**

rodzaj mutacji chromosomowej strukturalnej; zmiana materiału genetycznego polegająca na utracie fragmentu chromosomu

### **duplikacja**

rodzaj mutacji chromosomowej strukturalnej; zmiana materiału genetycznego polegająca na podwojeniu fragmentu chromosomu

### **ekspresja genu**

proces odczytywania informacji genetycznej zawartej w genie prowadzący do powstania produktów w postaci białek lub różnych rodzajów RNA

### **endonukleazy**

enzymy komórkowe, których aktywność katalityczna prowadzi do zniszczenia DNA i RNA poprzez rozkład wiązań fosfodiesterowych w kwasach nukleinowych

### **genom**

kompletny zestaw informacji genetycznej danego organizmu lub wirusa

### **komórki macierzyste**

występują u zwierząt; mają zdolność do nieograniczonej liczby podziałów komórkowych, w wyniku których powstają komórki ulegające różnicowaniu w inny dowolny rodzaj komórki

### **komórki somatyczne**

komórki budujące ciało; u człowieka są to komórki diploidalne zawierające 46 chromosomów

### **odwrotna transkryptaza (rewertaza)**

enzym katalizujący syntezę nici DNA na matrycy RNA

### **sekwencja telomerowa**

wielokrotnie powtórzony, kilkunukleotydowy odcinek DNA, budujący telomery na końcach chromosomów

### **transkrypcja**

proces polegający na przepisaniu informacji genetycznej z DNA na RNA zgodnie z zasadą komplementarności, katalizowany przez enzym zwany polimerazą RNA

### **translokacja**

rodzaj mutacji chromosomowej strukturalnej; zmiana materiału genetycznego polegająca na przemieszczeniu fragmentu z jednego chromosomu na inny chromosom niehomologiczny

Audiobook można wysłuchać pod adresem: <https://zpe.gov.pl/b/P1h3DJr7>

---

Telomery to kompleksy nukleoproteinowe znajdujące się na końcach chromosomów komórek eukariotycznych. Zostały odkryte u kukurydzy w 1938 roku przez Barbarę McClintock i opisane przez Hermanna Mullera, który prowadził badania nad muszką owocówką *Drosophila melanogaster*. W 1985 roku Carol Greider i Elizabeth Blackburn, które badały niekompletną replikację u orzęska *Tetrahymena pyriformis*, zidentyfikowały telomerazę i opisały jej aktywność enzymatyczną. Szwedzki Komitet Noblowski uhonorował Greider i Blackburn w 2009 roku Nagrodą Nobla w dziedzinie fizjologii i medycyny za odkrycie, w jaki sposób telomery i enzym telomeraza chronią chromosomy.

Telomery chronią chromosomy przed degradacją, zapewniając komórce stabilność materiału genetycznego, a tym samym warunkując jej prawidłowe funkcjonowanie. Z każdym podziałem komórki telomery ulegają skróceniu, tracąc fragment o długości od 50 do 150 par zasad. Limit podziałów komórki somatycznej, po którym rozpoczynają się procesy starzenia prowadzące do apoptozy, wynosi od 40 do 60 cykli podziałowych.

Telomeraza to enzym składający się z białek i RNA, który katalizuje reakcję wydłużania się telomerów, umożliwiając ich odbudowę po każdym podziale komórkowym. Telomeraza należy do odwrotnych transkryptaz, co oznacza, że jest enzymem zdolnym do syntezy DNA na matrycy RNA w procesie odwrotnej transkrypcji.

Telomeraza jest zbudowana z dwóch podjednostek: hTR i hTERT. Podjednostka hTR zawiera fragment cząsteczki RNA komplementarny do sekwencji telomerowej, natomiast podjednostka hTERT jest białkiem pełniącym funkcje katalityczne.

Jak działa telomeraza? W pierwszym etapie sekwencja telomerowa na końcu 3' zostaje związana z matrycowym RNA telomerazy. Kolejny etap stanowi wydłużanie jednoniciowego fragmentu cząsteczki DNA, gdzie podjednostka hTERT wykorzystuje fragment RNA jako matrycę do syntezy telomeru. Ostatnim etapem jest przeniesienie telomerazy na inny koniec 3' w celu dodawania kolejnych powtórzeń. Cykl powtarza się wielokrotnie.

W komórkach somatycznych organizmu człowieka telomeraza nie jest aktywna. Dlatego komórki te nie mogą odbudowywać telomerów, a w konsekwencji starzeją się i umierają. Wyjątek stanowią komórki macierzyste gamet i zarodka, które zawierają duże



ilości aktywnej telomerazy, dzięki czemu są zdolne do nieustannych podziałów komórkowych. Aktywność telomerazy stwierdzono także w komórkach, które intensywnie dzielą się podczas całego życia danego organizmu, np. w komórkach warstwy rozrodczej naskórka, krwiotwórczych komórkach macierzystych, aktywnych limfocytach oraz w komórkach krypt jelitowych.

Telomeraza występuje również w komórkach nowotworowych, umożliwiając im niekontrolowane podziały i możliwość uniknięcia programowanej śmierci. Aż 90% nowotworów charakteryzuje się dużą aktywnością tego enzymu – dlatego terapie antynowotworowe ukierunkowane są na ograniczenie aktywności telomerazy w komórkach nowotworowych, co hamuje ich podział i namnażanie się.

Badania pokazują, że telomery człowieka skracają się rocznie o ok. 56 par zasad. Wartość ta zależy w dużej mierze od wieku i stylu życia. Przewlekły stan zapalny i reaktywne formy tlenu powstające w organizmie, np. ze względu na palenie papierosów, stymulują skracanie się telomerów. Z kolei zmniejszenie długości telomerów prowadzi do rozwoju takich schorzeń, jak: niewydolność serca, cukrzyca i osteoporoza, a w komórkach plemnikotwórczych może obniżać płodność. Natomiast ruch i dieta śródziemnomorska, oparta na produktach bogatych w nienasycone kwasy tłuszczowe, opóźniają skracanie się telomerów.

---

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

### **Polecenie 1**

Zapoznaj się z treścią audiobooka, a następnie określ miejsce występowania oraz rolę telomerazy w organizmie człowieka.

### **Polecenie 2**

Wyjaśnij, dlaczego terapie antynowotworowe ukierunkowane są na ograniczenie aktywności telomerazy.

# Sprawdź się

---

Pokaż ćwiczenia:   

## Ćwiczenie 1



Zaznacz fałszywe stwierdzenie.

- ☐ Długość sekwencji telomerowych wykazuje zmienność osobniczą.
- ☐ Każdy chromosom ma cztery telomery.
- ☐ W komórkach człowieka występują 92 telomery.

## Ćwiczenie 2



Zaznacz funkcje telomerów.

- ☐ Zapobieganie translokacjom, duplikacjom i delecjom materiału genetycznego.
- ☐ Ochrona końców chromosomów przed degradacją.
- ☐ Zapewnienie prawidłowego przebiegu procesu rekombinacji.
- ☐ Ułatwienie powstawania chromosomów dicentrycznych.
- ☐ Umożliwienie systemom naprawczym rozpoznania prawidłowych i uszkodzonych zakończeń chromosomów.

### Ćwiczenie 3



Uzupełnij tekst, wybierając odpowiednie sformułowania spośród podanych propozycji.

Telomeraza jest , składającą się z  i katalitycznej podjednostki .

Enzym ten jest odpowiedzialny za  telomerów, co w konsekwencji prowadzi do ich .

rozkład

skracania się

odwrotną transkryptazą

polimerazą

DNA

białkowej

syntezę

RNA

nukleinowej

wydłużania się

### Ćwiczenie 4



Oceń prawdziwość stwierdzeń dotyczących telomerów i telomerazy.

| Stwierdzenie                                                                                                               | Prawda                | Fałsz                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Telomery warunkują stabilność genomu, chroniąc chromosomy przed degradacją.                                                | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| W komórkach somatycznych po każdym podziale komórkowym zwiększa się długość telomerów.                                     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Telomeraza to enzym, który skracą sekwencje telomerowe, prowadząc do przedwczesnej śmierci komórki.                        | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Telomery to molekularne zegary biologiczne wyznaczające liczbę podziałów komórkowych, po których następuje śmierć komórki. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

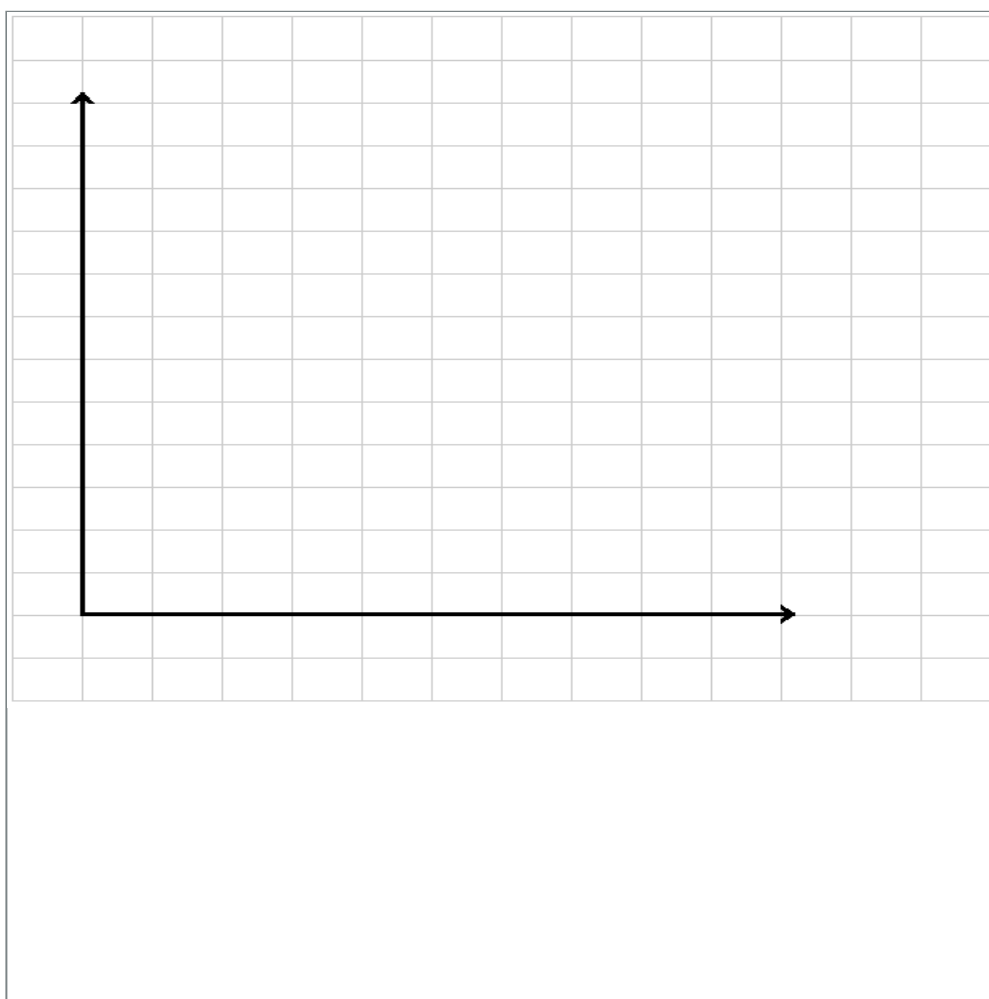
## Ćwiczenie 5



Ludzki noworodek ma telomery o długości od 15 000 do 20 000 par zasad. Długość telomerów wraz z wiekiem ulega skróceniu o ok. 50 par zasad w ciągu jednego roku.

Oblicz długość telomerów u czterdziestoletniej osoby, której zakończenia chromosomów w dniu narodzin miały długość 16 000 par zasad.

Narysuj wykres obrazujący zmiany długości telomerów człowieka w czasie.



Odpowiedź

### Ćwiczenie 6



Udowodnij, że telomeraza jest odwrotną transkryptazą. W odpowiedzi odnieś się do budowy aktywnej formy enzymu.

### Ćwiczenie 7



Wykaż związek między aktywnością telomerazy w komórkach macierzystych a zdolnością organizmu do zastępowania zużytych komórek somatycznych.

### Ćwiczenie 8



Wyjaśnij, w jaki sposób ograniczenie aktywności telomerazy w komórkach nowotworowych wpłynęłoby na rozwój choroby nowotworowej.

# Dla nauczyciela

---

**Autor:** Anna Juwan

**Przedmiot:** Biologia

**Temat:** Tajemnice telomerazy

**Grupa docelowa:** uczniowie III etapu edukacyjnego – kształcenie w zakresie podstawowym i rozszerzonym

**Podstawa programowa:**

Zakres podstawowy

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

VI. Ekspresja informacji genetycznej w komórkach człowieka. Uczeń:

- 3) opisuje proces obróbki potranskrypcyjnej;
- 4) przedstawia cechy kodu genetycznego;

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

XIII. Ekspresja informacji genetycznej. Uczeń:

- 4) opisuje proces obróbki potranskrypcyjnej u organizmów eukariotycznych;
- 5) przedstawia cechy kodu genetycznego;

**Kształtowane kompetencje kluczowe:**

- kompetencje cyfrowe;
- kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się;
- kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii.

**Cele operacyjne (językiem ucznia):**

- Wyjaśnisz, czym są telomery i jaka jest ich rola.
- Wyjaśnisz, czym jest telomeraza i jakie są jej właściwości.
- Wyjaśnisz, jak działa telomeraza.
- Opisziesz związek pomiędzy telomerazą a rozwojem nowotworów.



### **Strategie nauczania:**

- konstruktywizm;
- konektywizm.

### **Metody i techniki nauczania:**

- z użyciem komputera;
- praca z audiobookiem;
- mapa myśli;
- rozmowa kierowana;
- ćwiczenia interaktywne.

### **Formy pracy:**

- praca indywidualna;
- praca w parach;
- praca w grupach;
- praca całego zespołu klasowego.

### **Środki dydaktyczne:**

- komputery z głośnikami, słuchawkami i dostępem do internetu;
- zasoby multimedialne zawarte w e-materiale;
- tablica interaktywna/tablica, pisak/kreda.

### **Przed lekcją:**

1. Uczniowie zapoznają się z treścią w sekcji „Przeczytaj”.

### **Przebieg lekcji**

#### **Faza wstępna:**

1. Nauczyciel wyświetla na tablicy temat lekcji oraz cele zajęć, omawiając lub ustalając razem z uczniami kryteria sukcesu.
2. **Rozmowa wprowadzająca.** Nauczyciel zapisuje na tablicy następujące pytania:
  - Czym są telomery i jaka jest ich rola?
  - Czym jest telomeraza i jakie są jej właściwości?
  - Jakie znaczenie ma telomeraza w komórkach macierzystych?Uczniowie, pracując w parach, wspólnie przygotowują odpowiedzi na zadane pytania. Chętni wypowiadają się na forum klasy. Nauczyciel podsumowuje odpowiedzi uczniów.

#### **Faza realizacyjna:**

1. **Praca z multimedium („Audiobook”).** Uczniowie zapoznają się z audiobookiem udostępnionym przez nauczyciela. Następnie nauczyciel prosi podopiecznych, by pracując w parach, określili miejsce występowania oraz rolę telomerazy w organizmie człowieka. Ochotnicy przedstawiają swoje wyjaśnienia na forum klasy, a nauczyciel ocenia ich poprawność.
2. **Utrwalanie wiedzy i umiejętności.** Uczniowie wykonują w parach ćwiczenie nr 8 (dotyczące związku pomiędzy telomerazą a rozwojem nowotworów). Następnie wskazany zespół prezentuje odpowiedź, a klasa ocenia jej poprawność. Nauczyciel wyjaśnia ewentualne wątpliwości.

### **Faza podsumowująca:**

1. Uczniowie rozwiązują ćwiczenie nr 4 (typu „prawda/fałsz”) z sekcji „Sprawdź się”. Następnie przygotowują podobne zadanie dla osoby z pary: tworzą trzy prawdziwe lub fałszywe zdania dotyczące tematu lekcji. Uczniowie wykonują ćwiczenie otrzymane od kolegi lub koleżanki.
2. Nauczyciel wyświetla na tablicy temat lekcji i cele zawarte w sekcji „Wprowadzenie”. W tym kontekście dokonuje podsumowania najważniejszych informacji przedstawionych na lekcji oraz wyjaśnia wątpliwości uczniów.

### **Praca domowa:**

1. Wykonaj ćwiczenia nr 6 i 7 z sekcji „Sprawdź się”.

### **Materiały pomocnicze:**

- Jane B. Reece i in., „Biologia Campbella”, tłum. K. Stobrawa i in., Dom Wydawniczy REBIS, Poznań 2021.
- „Encyklopedia szkolna. Biologia”, red. Marta Stęplewska, Robert Mitoraj, Wydawnictwo Zielona Sowa, Kraków 2006.

### **Dodatkowe wskazówki metodyczne:**

- Uczniowie zapoznają się z multimedium w sekcji „Audiobook” i przygotowują do niego pytania. Następnie zadają je sobie nawzajem, sprawdzając stopień przyswojenia jego treści.