

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 243705 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **439883**

(22) Data zgłoszenia: **2021.12.17**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2023.06.19 BUP 25/2023**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.10.02 WUP 40/2023**

(51) MKP:

C07C 337/06 (2006.01)

C07C 243/24 (2006.01)

A61P 35/00 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:
**UNIWERSYTET MEDYCZNY W LUBLINIE,
Lublin, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:
**BARBARA KAPROŃ, Świdnik, PL
TOMASZ PLECH, Świdnik, PL
JANUSZ KOCKI, Świdnik, PL
BARTŁOMIEJ DROP, Lublin, PL**

(74) Pełnomocnik:
Anna Cieniuch-Kokowicz, Lublin, PL

(54) Tytuł:

**4-(4-fenyloazofenylo)-1-[(naft-1-ylo)metylo]-tiosemikarbazyd,
sposób jego wytwarzania oraz jego pierwsze zastosowanie medyczne**

PL 243705 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest nowa pochodna tiosemikarbazydu o wzorze ogólnym 1 przedstawionym na rysunku, charakteryzująca się jednoczesnym działaniem inhibitującym aktywność topoizomerazy II α i indoloamino-2,3-dioksygenazy 1, wykazująca aktywność przeciwnowotworową, sposób jej wytwarzania oraz jej pierwsze zastosowanie medyczne.

Znane są z literatury naukowej pochodne tiosemikarbazydu, inne niż wskazana w wynalazku, wykazujące aktywność przeciwnowotworowa (Anticancer Agents Med Chem 2016, 16, 1288–1300; Anticancer Agents Med Chem 2018, 18, 529–540; Molecules 2019, 24, 2065; Molecules 2020, 25, 2980). Dla pojedynczych pochodnych tiosemikarbazydu wykazano, że aktywność przeciwnowotworowa wynika, przynajmniej częściowo, z zahamowania aktywności ludzkiej topoizomerazy II α (Anticancer Agents Med Chem 2018, 18, 529–540). Istnieje również pojedyncze doniesienie naukowe stwierdzające, że niektóre pochodne tiosemikarbazydu, lecz podstawione wyłącznie w pozycji 1 i nie zawierające podstawników w pozycji 4, mogą hamować aktywność enzymu – indoloamino-2,3-dioksygenazy 1 (Eur J Med Chem 2014, 82, 96–105). Dla związków wskazanych w powyższym źródle (Eur J Med Chem 2014, 82, 96–105) brak jest jednak danych potwierdzających ich aktywność przeciwnowotworową. Brak jest również dotychczas jakichkolwiek doniesień literaturowych, w tym opisów patentowych, dotyczących pochodnych tiosemikarbazydu charakteryzujących się jednoczesną zdolnością do hamowania obu wskazanych wcześniej enzymów, tj. topoizomerazy II α i indoloamino-2,3-dioksygenazy 1. Tym bardziej brak jest doniesień naukowych na temat aktywności przeciwnowotworowej takich pochodnych.

Celem wynalazku jest otrzymanie pochodnej tiosemikarbazydu o wzorze ogólnym 1, charakteryzującej się jednoczesnym działaniem inhibitującym aktywność topoizomerazy II α i indoloamino-2,3-dioksygenazy 1, co wpływa na jej aktywność i skuteczność przeciwnowotworową. Ponadto wynalazek dotyczy sposobu otrzymywania pochodnej tiosemikarbazydu o wzorze ogólnym 1 i jej zastosowania medycznego przeciwnowotworowego.

Zgodnie z danymi Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) rocznie stwierdza się blisko 20 milionów nowych przypadków zachorowań na nowotwory a ryzyko rozwoju nowotworów u osób w przedziale wiekowym 0–74 lat wynosi 20,2%. Choroby nowotworowe są drugą w kolejności przyczyną śmierci, lecz zgodnie z przewidywaniami WHO – w roku 2060 staną się podstawową przyczyną śmierci ludzi na całym świecie (J Epidemiol Glob Health 2019, 9, 217–222). W związku z tych istotne jest wprowadzenie do praktyki klinicznej nowych leków skutecznie hamujących rozwój chorób nowotworowych.

Zgłaszający prowadzili badania mające na celu uzyskanie pochodnych tiosemikarbazydu łączących zdolność hamowania topoizomerazy II α i indoloamino-2,3-dioksygenazy 1, które są enzymami istotnymi z punktu widzenia skutecznego działania przeciwnowotworowego. Uzyskane wyniki wskazują na silną aktywność przeciwnowotworową pochodnej tiosemikarbazydu, będącej przedmiotem wynalazku, wobec badanych linii komórek nowotworowych. Działanie to jest wynikiem jednoczesnego zahamowania w komórkach nowotworowych aktywności enzymów topoizomerazy II α i indoloamino-2,3-dioksygenazy 1. Co istotne, pochodna tiosemikarbazydu, będąca przedmiotem wynalazku, wykazywała działanie silniejsze od leku przeciwnowotworowego – etopozydu, względem zastosowanych w badaniu linii komórek nowotworowych. Otrzymane wyniki pozwalają oczekiwać, że będąca przedmiotem wynalazku pochodna tiosemikarbazydu może stać się obiecującym kandydatem na lek przeciwnowotworowy.

Istotą wynalazku jest 4-(4-fenyloazofenylo)-1-[(naft-1-ylo)metylo]-tiosemikarbazyd, o wzorze ogólnym 1 przedstawionym na rysunku, hamujący aktywność ludzkiej topoizomerazy II α i indoloamino-2,3-dioksygenazy 1. Ta dwukierunkowa aktywność nowej pochodnej wpływa na jej aktywność i skuteczność przeciwnowotworową. Zahamowanie obu wspomnianych enzymów jest korzystne z klinicznego punktu widzenia, gdyż inhibicja topoizomerazy II α prowadzi do zahamowania proliferacji komórek nowotworowych a inhibicja indoloamino-2,3-dioksygenazy 1 – zwiększa skuteczność ludzkiego układu immunologicznego w walce z nowotworem.

Istotą sposobu wytwarzania pochodnej tiosemikarbazydu o wzorze ogólnym 1 przedstawionym na rysunku, według wynalazku jest to, że hydrazyd kwasu naftaleno-1-octowego (o wzorze ogólnym 2) poddaje się reakcji z izotiocyjanianem 4-fenyloazofenylo (o wzorze ogólnym 3), przy czym reakcję prowadzi się w rozpuszczalnikach organicznych, korzystnie we wrzącym bezwodnym etanolu, w czasie przez 10–30 minut. Postęp reakcji kontroluje się w oparciu o wyniki chromatografii cienkowarstwowej.

Po zakończeniu reakcji mieszaninę reakcyjną schładza się, a powstały osad odsącza się, suszy a następnie krystalizuje z rozpuszczalników polarnych, korzystnie z etanolu.

Istotę wynalazku stanowi także pochodna tiosemikarbazydu o wzorze ogólnym 1, przedstawionym na rysunku, do zastosowania w leczeniu chorób nowotworowych. Pochodna ta może być wykorzystywana do wytwarzania leków i produktów leczniczych o działaniu antynowotworowym.

Przykład 1:

0,01 Mola hydrazynu kwasu naftaleno-1-octowego rozpuszczono w 20 mL bezwodnego etanolu, po czym do otrzymanego roztworu dodano 0,01 mola izotiocyjanianu 4-fenyloazofenyli. Całość ogrzewano w kolbce okrągłodennej pod chłodnicą zwrotną wodną przez 20 minut, po czym mieszaninę reakcyjną schłodzono a wytrącony osad odsączono, wysuszono i przekrystalizowano z etanolu. Otrzymano 4-(4-fenyloazofenylo)-1-[(naft-1-ylo)metylo]-tiosemikarbazyd (o wzorze ogólnym 1) z wydajnością 92%. Strukturę chemiczną związku określono w oparciu o wyniki analizy widm $^1\text{H-NMR}$, IR oraz MS.

Parametry fizykochemiczne i spektralne pochodnej tiosemikarbazydu o wzorze ogólnym 1:

Wydajność reakcji: 92%; temp. topnienia: 178–180°C; $^1\text{H-NMR}$ (600 MHz): 4.07 (s, 2H, CH₂), 7.36 – 8.21 (m, 16H, ArH), 9.52 (s, 1H, NH), 9.92 (s, 1H, NH), 10.34 (s, 1H, NH). IR (ν , cm⁻¹): 3323 (NH), 1658 (C=O), 1337 (C=S); EI-MS (m/z): 439 [M⁺].

Istotą wynalazku jest również 4-(4-fenyloazofenylo)-1-[(naft-1-ylo)metylo]-tiosemikarbazyd do zastosowania w leczeniu chorób nowotworowych.

Związek według wynalazku wykazuje silne działanie przeciwnowotworowe, w związku z czym może znaleźć zastosowanie do wytwarzania nowych leków i produktów leczniczych mających zastosowanie w terapii chorób nowotworowych.

Badanie właściwości przeciwnowotworowych 4-(4-fenyloazofenylo)-1-[(naft-1-ylo)metylo]-tiosemikarbazydu przeprowadzono przy zastępowaniu dwóch niezależnych metod: testu MTT oraz testu BrdU. W badaniach wykorzystano następujące linie komórek nowotworowych: MCF-7 (komórki raka sutki), MDA-MB-231 (komórki raka sutki), SCC-25 (komórki raka języka), FaDu (komórki raka przełyku), A549 (komórki raka płuc), AGS (komórki raka żołądka), T98G (komórki glejaka), LS180 (komórki raka jelita grubego), HT29 (komórki raka jelita grubego), A375 (komórki czerniaka). Hodowle komórek nowotworowych prowadzono na płytkach 96-dołkowych stosując podłoża hodowlane dedykowane do danego typu linii komórkowej. Na płytce zawierające dany typ komórek dodawano wzrastające stężenia 4-(4-fenyloazofenylo)-1-[(naft-1-ylo)metylo]-tiosemikarbazydu (od 1 do 100 $\mu\text{g/ml}$), prowadzono 24-godzinną inkubację, po czym aktywność przeciwnowotworową oceniano na podstawie stopnia zahamowania aktywności metabolicznej (test MTT) lub zahamowania biosyntezy DNA (test BrdU). Jako kontroli dodatniej użyto leku przeciwnowotworowego – etopozydu.

Przykład 2:

Linie komórek nowotworowych (MCF-7, MDA-MB-231, SCC-25, FaDu, A549, AGS, T98G, LS180, HT29, A375), zakupione od certyfikowanego dostawcy (ATCC), hodowano w rekomendowanych do tego celu pożywkach wzbogaconych w 10% FBS, penicylinę (100 U/mL) i streptomycynę (100 $\mu\text{g/ml}$). Hodowlę prowadzono w atmosferze zawierającej 5% CO₂, w temperaturze 37°C. Zawiesinę komórek nowotworowych przenoszono do dołków na płytkach 96-dołkowych (100 μl /dołek), stosując gęstość zawiesiny 1×10^5 komórek/ml. Po 24 godzinach wymaganych do całkowitego przyklejenia się komórek do podłoża, na płytce dodawano roztwory zawierające wzrastające od 1 do 100 $\mu\text{g/ml}$ stężenia 4-(4-fenyloazofenylo)-1-[(naft-1-ylo)metylo]-tiosemikarbazydu lub etopozydu (kontrola dodatnia), całość inkubowano przez kolejne 24 godziny, po czym dodawano roztwór odczynnika MTT. Po trwającej kolejne 3 godziny inkubacji, do dołków dodawano roztwór 10% SDS. Po całonocnej inkubacji odczytywano absorbancję roztworów w dołkach przy długości fali 570 nm, stosując czytnik mikroplatek (Epoch, BioTek). Wyniki przedstawiono w postaci wartości IC₅₀, określających stężenie związku niezbędne do zahamowania wzrostu komórek o 50%. Wyniki zestawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Aktywność przeciwnowotworowa 4-(4-fenyloazofenylo)-1-[(naft-1-ylo)metylo]-tiosemikarbazydu i etopozydu (kontrola dodatnia), wyrażona w postaci wartości IC_{50} ($\mu\text{g/ml}$), określona na podstawie testu MTT.

| Linie nowotworowe | IC_{50} ($\mu\text{g/ml}$) \pm SD | |
|-------------------|--|------------------|
| | 4-(4-fenyloazofenylo)-1-[(naft-1-ylo)metylo]-tiosemikarbazyd | Etopozyd |
| MDA-MB-231 | 7.63 \pm 0.75 | >100 |
| MCF-7 | 9.17 \pm 0.55 | >100 |
| SCC-25 | 4.73 \pm 0.45 | 59.06 \pm 4.49 |
| A549 | 5.83 \pm 0.60 | > 100 |
| AGS | 5.32 \pm 0.28 | 50.79 \pm 3.13 |
| T98G | 5.53 \pm 0.52 | >100 |
| LS180 | 2.87 \pm 0.22 | >100 |
| FaDu | 2.75 \pm 0.21 | 12.54 \pm 0.86 |
| A375 | 8.95 \pm 0.63 | 10.20 \pm 0.83 |
| HT29 | 8.95 \pm 7.65 | 94.49 \pm 6.64 |

Przykład 3:

Zawiesinę komórek nowotworowych, hodowanych jak w przykładzie 2, nanoszono na płytkę 96-dołkową w objętości 100 μl /dołek przy zachowaniu gęstości 1×10^4 komórek/ml. Po 24 godzinach wymaganych do całkowitego przyklejenia się komórek do podłoża, na płytce dodawano roztwory zawierające 4-(4-fenyloazofenylo)-1-[(naft-1-ylo)metylo]-tiosemikarbazyd lub etopozyd (kontrola dodatnia) w stężeniu 25 $\mu\text{g/ml}$, całość inkubowano przez kolejne 24 godziny, po czym dodawano roztwór odczynnika BrdU. Po 2 godzinach inkubacji odczytywano absorbancję roztworów w dołkach przy długości fali 450 nm, stosując czytnik mikropłytek (Epoch, BioTek). Wyniki przedstawiono w postaci procentowej wartości przeżywalności komórek nowotworowych w porównaniu do hodowli nie poddanej ekspozycji na działanie 4-(4-fenyloazofenylo)-1-[(naft-1-ylo)metylo]-tiosemikarbazydu lub etopozydu. Wyniki zestawiono w Tabeli 2.

Tabela 2. Przeżywalność komórek nowotworowych poddanych ekspozycji na 4-(4-fenyloazofenylo)-1-[(naft-1-ylo)metylo]-tiosemikarbazyd i etopozyd w stężeniu 25 $\mu\text{g/ml}$.

| Linie nowotworowe | % przeżywalności komórek nowotworowych | |
|-------------------|---|---------------------------------|
| | 4-(4-fenyloazofenylo)-1-[(naft-1-ylo)metylo]-tiosemikarbazyd (25 $\mu\text{g/ml}$) | Etopozyd (25 $\mu\text{g/ml}$) |
| MDA-MB-231 | 116.88 \pm 4.09 | 97.98 \pm 8.11 |
| MCF-7 | 73.92 \pm 6.69 | 81.24 \pm 7.28 |
| SCC-25 | 3.17 \pm 0.49 | 45.71 \pm 0.16 |
| A549 | 1.29 \pm 0.08 | 5.60 \pm 0.25 |
| AGS | 99.47 \pm 6.35 | 51.78 \pm 5.49 |
| T98G | 10.60 \pm 2.03 | 52.83 \pm 4.70 |
| LS180 | 14.50 \pm 1.56 | 91.67 \pm 3.07 |
| FaDu | 12.76 \pm 1.85 | 31.75 \pm 1.65 |
| A375 | 2.31 \pm 0.31 | 17.87 \pm 2.36 |
| HT29 | 14.18 \pm 0.94 | 42.61 \pm 5.65 |

Zdolność 4-(4-fenyloazofenylo)-1-[(naft-1-ylo)metylo]-tiosemikarbazydu do hamowania aktywności ludzkiej topoizomerazy II α i indoloamino-2,3-dioksygenazy 1 (IDO1) określono przy zastosowaniu komercyjnie dostępnych zestawów do oznaczania aktywności enzymatycznej: Topoisomerase II Drug Screening Kit (TopoGEN) (dla oznaczenia stopnia inhibicji topoizomerazy II α) oraz Universal IDO1/IDO2/TDO Inhibitor Screening Assay Kit (Biosciences) (dla oznaczenia stopnia inhibicji indoloamino-2,3-dioksygenazy 1).

Przykład 4:

Mieszaninę zawierającą DNA, topoizomerazę II, bufor i 4-(4-fenyloazofenylo)-1-[(naft-1-ylo)metylo]-tiosemikarbazyd w stężeniu 50 $\mu\text{g/ml}$ inkubowano przez 30 minut w 37°C. Po dodaniu 10% SDS, proteinazy K i buforu obciążającego przeprowadzono elektroforezę w 1% żelu agarozowym. Po zakończeniu rozdzielu elektroforetycznego DNA wybarwiano bromkiem etydyny i analizowano w świetle UV, stosując system dokumentacji żeli (Syngene G:BOX). Wyniki przedstawiono w postaci procentowej wartości zahamowania aktywności enzymu w porównaniu do próby nie zawierającej 4-(4-fenyloazofenylo)-1-[(naft-1-ylo)metylo]-tiosemikarbazydu.

Poziom zahamowania aktywności topoizomerazy 4-(4-fenyloazofenylo)-1-[(naft-1-ylo)metylo]-tiosemikarbazydu II α przez 4-(4-fenyloazofenylo)-1-[(naft-1-ylo)metylo]-tiosemikarbazyd (50 $\mu\text{g/ml}$) przedstawiono w Tabeli 3.

Przykład 5:

Przygotowywano mieszaninę reakcyjną zawierającą bufor, 4-(4-fenyloazofenylo)-1-[(naft-1-ylo)metylo]-tiosemikarbazyd w stężeniu 50 $\mu\text{g/ml}$ oraz indoloamino-2,3-dioksygenazę 1 (IDO1) w stężeniu 40 $\text{ng}/\mu\text{l}$. Całość inkubowano przez 3 godziny w temperaturze pokojowej. Po inkubacji odczytywano poziom absorbancji roztworu przy długości fali 320 nm, stosując czytnik mikropłytek (Epoch, Bio-Tek). Wyniki przedstawiono w postaci procentowej wartości zahamowania aktywności enzymu w porównaniu do próby nie zawierającej 4-(4-fenyloazofenylo)-1-[(naft-1-ylo)metylo]-tiosemikarbazydu.

Poziom zahamowania aktywności indoloamino-2,3-dioksygenazy 1 (IDO1) przez 4-(4-fenyloazofenylo)-1-[(naft-1-ylo)metylo]-tiosemikarbazyd (50 $\mu\text{g/ml}$) przedstawiono w Tabeli 3.

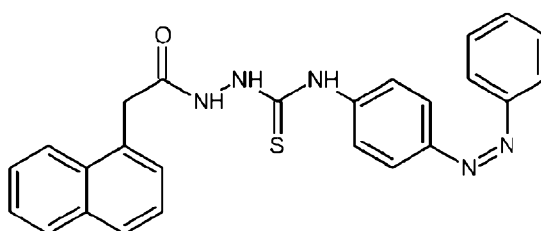
Tabela 3. Stopień zahamowania aktywności topoizomerazy II α oraz indoloamino-2,3-dioksygenazy 1 (IDO1) przez 4-(4-fenyloazofenylo)-1-[(naft-1-ylo)metylo]-tiosemikarbazyd w stężeniu 50 $\mu\text{g/ml}$

| | % hamowania aktywności enzymatycznej | |
|--|--------------------------------------|--|
| | kontrola ujemna | 4-(4-fenyloazofenylo)-1-[(naft-1-ylo)metylo]-tiosemikarbazyd |
| topoizomeraza IIα | 0% | 35,48% |
| indoloamino-2,3-dioksygenaza | 0% | 41,37% |

Zastrzeżenia patentowe

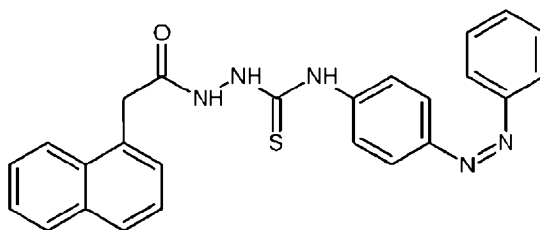
1. Pochodna tiosemikarbazydu, o wzorze ogólnym 1, przedstawionym na rysunku, będąca jednoczesnym inhibitorem ludzkiej topoizomerazy II oraz indoloamino-2,3-dioksygenazy 1 (IDO1).

Wzór 1

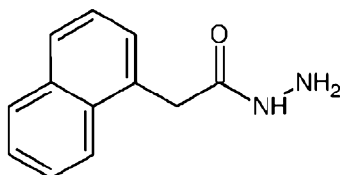


2. Sposób wytwarzania nowej pochodnej tiosemikarbazydu o wzorze ogólnym 1 przedstawionym na rysunku, **znamienny tym**, że hydrazyd kwasu naftaleno-1-octowego poddaje się reakcji z izotiocyjanianem 4-fenyloazofenyłu, a reakcję prowadzi się w rozpuszczalnikach organicznych, a postęp reakcji kontroluje się przy użyciu chromatografii cienkowarstwowej, zaś po zakończeniu reakcji mieszaninę reakcyjną schładza się a powstały osad odsącza się, suszy i następnie krystalizuje z rozpuszczalników polarnych.
3. Sposób, według zastrz. 2, **znamienny tym**, że reakcję prowadzi się korzystnie we wrzącym bezwodnym etanolu, korzystnie przez 10–30 minut.
4. Sposób według zastrz. 2, **znamienny tym**, że otrzymany produkt krystalizuje się korzystnie w etanolu.
5. Pochodna tiosemikarbazydu o wzorze ogólnym 1, przedstawionym na rysunku, będąca jednoczesnym inhibitorem ludzkiej topoizomerazy II oraz indoloamino-2,3-dioksygenazy 1 (IDO1), do zastosowania w leczeniu chorób nowotworowych.

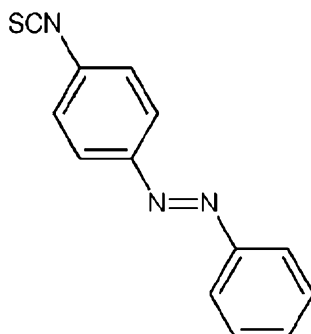
Rysunki



Wzór 1



Wzór 2



Wzór 3