

Dylematy nanobiotechnologii*

Ewa Sawosz Chwalibóg, Marta Grodzik,
Mateusz Wierzbicki, Anna Hotowy,
Marta Kutwin, Sławomir Jaworski,
Natalia Kurantowicz, Barbara Strojny

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Nanotechnologia jest dziedziną wiedzy zgłębiającą problemy wytwarzania, badania i zastosowania nanostruktur, czyli struktur mniejszych od 100 nm ($1,0 \times 10^{-7}$), w co najmniej jednym wymiarze. Porównując wielkość nanostruktur do innych molekuł czy obiektów obecnych w przyrodzie można stwierdzić, że nanocząstki są większe od cząsteczki wody, glukozy czy przeciwciała, porównywalne do średniej wielkości wirusa, a mniejsze od bakterii, krwinki czy nawet mitochondrium komórkowego. Struktury zaliczane do „nano-objektów”, zgodnie z definicją, mogą mieć wymiar „nano” tylko w jednym zakresie przestrzeni. Oznacza to, że można je podzielić na nanostruktury trójwymiarowe (3D), dwuwymiarowe (2D), jednowymiarowe (1D) i zerowymiarowe (0D).

Nanostruktury

Najbardziej powszechne i znane nanostruktury 3D to nanocząstki, których przekrój w dowolnym miejscu nie przekracza długości 100 nm. Nanocząstki mogą przyjmować różny kształt, najczęściej jednak są one kuliste lub owalne. Do struktur 3D zaliczono też struktury dendrytyczne, nanostożki, nanosłupki czy nanokwiaty [24]. Struktury charakteryzujące się wielkością „nano” tylko w jednym wymiarze, to w większości nanopowierzchnie o grubości poniżej 100 nm pokrywające większe płaszczyzny. Do struktur 2D należy również grafen, który tworzy płatki lub arkusze zbudowane z jednej warstwy atomów węgla, ułożonych w postaci plastra miodu [10]. Unikalna budowa grafenu oraz zdolność poruszania się elektronów po jego powierzchni z prędkością do 1/300 prędkości światła, daje ogromne nadzieje na jego zastosowanie w elektronice. Kolejną formą nanostruktur jest konstrukcja 1D, która jest charakterystyczna dla karbinu. Karbin jest alotropową formą węgla zbudowaną z pojedynczego łańcucha węgla związanych na dwa sposoby: $=C=C=C$ lub $-C\equiv C-C\equiv$. Ten niezwykle nanomateriał, tworzący nici o wyjątkowej wytrzymałości, jest jednak mało znany i niezbadany. Do form 1D zaliczane są również przez niektórych naukowców nanorurki [24]. Nanorurki zbudowane są ze zwiniętego na kształt rylonu arkusza grafenu, tworząc długie i cienkie, a przede wszystkim puste w środku rurki. Nanotechnologia wytworzyła również nanostruktury 0D. Do nanostruktur 0D należą kropki kwantowe (quantum dots – QD). QD to unikalne półprzewodnikowe nanokryształy o wielkości od 2 do 10 nm. Kropki kwantowe mają wyjątkowe własności emisji i absorpcji promieniowania, co stało się przyczyną ich stosowania jako znaczników fluorescencyjnych, pozwalającym na wyjątkową dokładność i precyzję wizualizacji w badaniach biologicznych i medycynie. Forma 0D jest również, według różnych autorów, charakterystyczna dla fulerenów, niezwykle, przypominających piłkę futbolową struktur zbudowanych z atomów węgla [24].

Nanostruktury różnią się istotnie od bryły tego samego pierwiastka. Dla przykładu, nanocząstki złota mają inne właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne w porównaniu do bryłki złota. I tak, w zależności od wielkości nanocząstek złota jego zole, poprzez zjawisko plazmowemu powierzchniowego mają różne barwy, poczynając od jasnoniebieskiej, poprzez fioletową, czerwoną aż do jasnoróżowej. Zjawisko to wykorzystuje się przy tworzeniu barwnych witraży. Co więcej, złoto jest metalem szlachetnym, a więc chemicznie biernym, jednak

w formie nanocząstek o wielkości kilku nanometrów wykazuje zdolności katalityczne wobec różnych reakcji chemicznych, zachodzących nawet w niskiej temperaturze [2]. Przykładów zmiany właściwości fizyko-chemicznych pierwiastków rozdzielonych do formy „nano” jest bardzo wiele. Zatem układ okresowy, porządkujący pierwiastki, w przypadku ich form „nano” staje się nieprecyzyjny, a właściwości fizyko-chemiczne makrobryły i nanocząstki danego pierwiastka mogą diametralnie różnić się pomiędzy sobą.

Ekspansja nanotechnologii

Unikalne cechy nanostruktur pozwalają na ich zastosowanie w różnych dziedzinach życia. Aplikacja różnego rodzaju naukowych osiągnięć, zarówno w zakresie konstrukcji nowych materiałów, jak też nowych systemów, następuje niezwykle gwałtownie, stanowiąc pewnego rodzaju boom nanotechnologiczny. Według StatNano, liczba opublikowanych patentów z zakresu nanotechnologii w UE i USA osiągnęła w 2015 roku liczbę 10 956. W USA aż 266 aplikacji patentów należało do IBM i kolejne 233 do Samsung Display Co., Ltd oraz 232 do Samsung Electronics Co., Ltd. Najwięcej patentów uzyskiwały w Europie LG Chem, Ltd. oraz Urząd energii atomowej i energii alternatywnej we Francji [9].

Nanotechnologia opanowuje większość dziedzin życia, jest obecna nie tylko w przemyśle elektronicznym, lecz również w przemyśle ciężkim, chemicznym, zbrojeniowym, lotniczym, a także samochodowym. Poszukiwania i badania lekkich materiałów o dużej odporności na korozję, istotne zwłaszcza w konstrukcji samolotów, pozwoliły na zastosowanie nowych nanomateriałów jako powłok antykorozyjnych. Materiały te oparte są głównie na nanokryształach kobalt-fosfor, krzemie i tlenkach boru. Nanopowierzchnie są również stosowane do konstrukcji łopatek turbin i innych elementów mechanicznych narażonych na bardzo duże tarcie i temperaturę. Wykorzystując wysoki stosunek powierzchni do masy grafenu i jego zdolność do tworzenia struktur 3D, grafen służy do konstrukcji nowej generacji baterii, które do końca 2016 roku mają być produkowane przez hiszpańsko-chińską spółkę Graphenano i wprowadzane do samochodów elektrycznych Nissan Leaf i Tesla Model S.

Nanotechnologia ekspansywnie podbija również przemysł lekki, między innymi tekstylny, spożywczy i kosmetyczny. W przemyśle spożywczym nanocząstki stanowiąc będą w przyszłości alternatywą dla opakowań z tworzyw sztucznych lub komponent tych opakowań. Nanowarstwy węglowe uniemożliwiają migrację niskocząsteczkowych związków chemicznych uwalniających się z folii do produktów żywnościowych, a nanocząstki SiO_2 , dodawane do polimerów skrobiowych, zwiększają ich odporność na ścieranie [3]. Co więcej, w przyszłości można spodziewać się opakowań o charakterze antybakteryjnym zawierającym nanocząstki srebra, czy antygrzybiczym z nanocząstkami miedzi. Nanotechnologia pozwala również na konstrukcję, niezwykle istotnych dla bezpieczeństwa człowieka, nanoczuJNIKÓW biologicznych. Detekcja szkodliwych związków, powstających w przechowywanej żywności, na bardzo niskim poziomie poprzez kontrolę koncentracji tych związków lub ich metabolitów mogłaby być możliwa dzięki zastosowaniu nanosensorów optycznych [4].

Nanomateriały są już stosowane w przemyśle kosmetycznym. Komisja Europejska dopuściła od 2013 roku do stosowania nanocząstki jako składniki filtrów UV (Regulation (EC) No 1223/2009) [8, 15]. Największe firmy kosmetyczne co roku zwiększają inwestycje w rozwiązania nanotechnologiczne. L’Oreal, największa na świecie firma kosmetyczna, już w 2012 roku przeznaczyła około 600 mln dolarów na zakup takich patentów [14]. Największe zastosowanie w przemyśle kosmetycznym upatruje się w różnego rodzaju konstrukcjach liposomowych, o unikalnych zdolnościach penetracji naskórka. Nanoliposomy zwiększają wchłanianie kosmetyków pochodzenia roślinnego, jak ekstrakty z zielonej herbaty, kwercetyna, aloes, kurkumina, genisteina, resweratrol, karoten czy kwas askorbinowy [5].

Nanotechnologia w walce o zdrowie i życie

Ogromne zainteresowanie wzbudza również zastosowanie nanotechnologii w przemyśle farmaceutycznym i medycynie. Leki oparte na nanotechnologii zostały dopuszczone przez Agencję Żywności i Leków w Stanach Zjednoczonych (FDA) i są stosowane od kilku lat. Jednym z nich jest DOXIL® – liposomowy preparat doksorubicyny, zalecany do stosowania w przypadku mięsaka Kaposiego i w przypadkach opornego na leczenie raka piersi i jajnika [12]. Do grupy nanopreparatów zaliczyć można też inne chemioterapeutyki, jak Eligard®, Genexol®, Opaxio® czy Zinostatin Stimalamer®. Kolejnym przykładem może być antynowotworowy lek zawierający gemcytabinę, oparty na nanocząstkach złota pełniących funkcję systemu „drug delivery” [1]. W badaniach zespołu Zakładu Nanobiotechnologii SGGW wykazano antynowotworowe właściwości nanopłatków grafenu wobec guza mózgu (glejaka wielopostaciowego), a także udokumentowano, że nanocząstki platyny w porównaniu do tradycyjnie stosowanej cis-platyny mają równie skuteczne działanie, a znacząco mniejszą toksyczność. W kolejnych badaniach stwierdzono, że synergistyczne działanie obu czynników (nanocząstki platyny osadzone na płatkach grafenu) wykazuje największą skuteczność antynowotworową [7, 10, 20].

W medycynie znalazło zastosowanie również srebro, chociaż jako metal ciężki wzbudza ogromne kontrowersje. Robert Burrell stworzył pierwszy dopuszczony do stosowania produkt Acticoat™ (Smith and Nephew, London, UK), zalecany do leczenia ran, oparzeń, owrzodzeń, martwicy naskórka i pęcherzy. Nanocząstki srebra i ich antybakteryjne właściwości znalazły zastosowanie w produkcji narzędzi medycznych – kateeter Silverline (Spiegelberg GmbH and Co. KG, Hamburg, Germany) oraz ON-Q Silver Soaker™ (I-Flow Corporation, CA, USA), które również są dostępne na rynku [6].

Kiedy jeszcze nie znano antybiotyków, związki srebra były powszechnie używane w leczeniu ran, a podczas wojen jedną ze skuteczniejszych metod leczenia ran było okładanie chorych miejsc srebrnymi monetami. Niszczące w stosunku do mikroorganizmów działanie srebra zostało potwierdzone w licznych badaniach [17, 21, 23, 26]. Srebro koloidalne, według badań EMSL (Analytical, Inc. Microbiology Division), zabija takie mikroorganizmy, jak: *Aspergillus niger*, *Candida albicans*, *Escherichia coli*, *Escherichia coli* 0157H7, metycylinooporny *Staphylococcus aureus* (MRSA), *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Trichophyton rubrum*, wankomycynooporny *Enterococcus faecalis* (VRE) czy wankomycynooporny *Staphylococcus aureus* (VRSA). Wydaje się więc, że katastrofalne skutki stosowania antybiotyków mogą być w pewnym stopniu zniwelowane poprzez wprowadzenie antybakteryjnych preparatów opartych na nanocząstkach Ag. Co więcej, srebro ma nie tylko właściwości przeciwbakteryjne, lecz również antyzapalne, a wydaje się, że również przeciwnowotworowe [18, 25].

Bezpieczeństwo czy zagrożenie

Wydaje się, że nanomateriały mogą zrewolucjonizować większość dziedzin życia, z którymi styka się współczesne społeczeństwo. Z pewnością nanotechnologia i nanobiotechnologia mogą zadecydować o postępie w medycynie, a także o rewolucji w elektronice. Z drugiej jednak strony trzeba mieć świadomość, że wiedza na temat zachowania się nanomateriałów w organizmie żywym czy też w środowisku jest niewielka. Co więcej, ustawodawstwo w tym zakresie również jest niepełne lub wręcz nie istnieje, a na fundamentalne pytanie: czy normy i procedury odnoszące się do tradycyjnych form pierwiastków dotyczą również ich nanocząstek czy nanowarstw – brak odpowiedzi. Odmienność nanostruktur jest przyczyną ich zaskakującego i spektakularnego działania w odniesieniu do żywych organizmów, a w konsekwencji coraz szerszego zastosowania w otaczającym środowisku życia człowieka, jednak również wiąże się z potencjalnym zagrożeniem wynikającym z braku wiedzy na temat form „nano”. Co więcej wszelkie normy,

procedury czy wskaźniki stosowania, toksyczności i bezpieczeństwa opracowane dla tradycyjnych materiałów i ich związków chemicznych, w odniesieniu do nanomateriałów mogą być zupełnie nieadekwatne. Wychodząc naprzeciw tym dylematom naukowcy starają się stworzyć rodzaj programu komputerowego, pozwalającego na symulację potencjalnej toksyczności nanomateriałów [13]. Doświadczalna ocena toksyczności jest kosztowna i czasochłonna, a metody obliczeniowe oparte na systemie quantitative structure-activity relationship (QSAR) mogą znacząco przyspieszyć proces oceny bezpieczeństwa nanostruktur. Autorzy systemu QSAR przeprowadzili badania wpływu 17 rodzajów nanocząstek różnych tlenków metali na bakterię *Escherichia coli* i na podstawie uzyskanych wyników stworzyli model matematyczny, pozwalający na przewidywanie toksyczności tych związków.

Pomimo tego, istnieje konieczność określenia bezpieczeństwa stosowania nanostruktur w produktach, lekach czy żywności przeznaczonej dla człowieka. Z czego wynikają trudności w badaniach biologicznych właściwości nanostruktur? Z punktu widzenia fizycznego, problem ten związany jest z właściwościami nanomateriałów, które w zasadniczy sposób różnią je od materiału wyjściowego. Nanostruktury charakteryzują się wysoce rozwiniętą powierzchnią, co oznacza, że na przykład wskutek rozdrobnienia nanocząstki zawarte w kropli wody mogą pokryć powierzchnię boiska do piłki nożnej. Co więcej, zwiększanie się powierzchni wraz ze zmniejszeniem się rozmiarów nanocząstki prowadzi do zmian w odległościach międzycząsteczkowych w cząstce i powstawaniu niewysokich wiązań na jego powierzchni. W efekcie nanocząstki charakteryzują się większą energią powierzchni i unikalną aktywnością [10, 11, 19]. Struktura elektronowa nanocząstek decyduje o ich odmiennych właściwościach w porównaniu do makrobryły, w stosunku do otaczającego środowiska i obecnych w nim molekuł nieorganicznych i organicznych [2]. Ponadto, kolejnym interesującym zjawiskiem jest tworzenie się pewnych nanostruktur, które są stabilne tylko w skali nanometrycznej, a nie istnieją w skali makro. Do takich struktur należą pewne układy quasi-kryształiczne. Należy również pamiętać, że nanocząstki nie są solami i ich pochodnymi, są „zerowartościowymi” drobkami pierwiastków i związków chemicznych. Wobec tego nanocząstki nie zachowują się jak standardowe związki chemiczne (cząsteczki soli, kwasów czy zasad), a przede wszystkim nie tworzą roztworów właściwych, a roztwory koloidalne lub zawiesiny.

Powyższe cechy nanomateriałów powodują, że tradycyjne metody badań toksyczności nie zawsze są właściwe. Przede wszystkim chemiczne metody oceny zawartości pierwiastka, poprzez jego oznaczenie w jego soli, nie znajduje zastosowania w przypadku nanocząstki, która jest jedynie źródłem niewielkiej ilości jonów. Ponadto bardzo mała wielkość nanocząstek (1-100 nm), a także ich ogromna pylistość i często właściwości elektrostatyczne mogą powodować zaburzenia przyrządów pomiarowych, ubytki masy czy inne problemy analityczne. Nanocząstki nie są rozpuszczalne w wodzie, tworzyć mogą wodne koloidy, często jednak są to struktury o charakterze hydrofobowym, co sprawia, że mogą tworzyć koloidy czy zawiesiny w rozpuszczalnikach organicznych, a to może dodatkowo utrudniać badanie toksyczności nanocząstek. Podstawowym zjawiskiem w badaniu nanocząstek jest ponadto ich duża tendencja do tworzenia aglomeratów. Proces ten utrudnia, a czasem wręcz uniemożliwia badanie toksyczności metodą „dose response”, ponieważ większa koncentracja nanocząstek powoduje destabilizację koloidu, aglomerację części nanocząstek i ich sedymentację, co w efekcie powoduje, że badana koncentracja pozostałych w koloidzie cząstek jest mniejsza [16]. Kolejnym ważnym zjawiskiem jest proces samoorganizacji, który polega na spontanicznym tworzeniu nowych układów z otaczającymi nanocząstki molekułami, a w konsekwencji zmianą właściwości fizyko-chemicznych tych molekuł i nanocząstek, co determinuje ich zachowanie w organizmie żywym [22].

Liczne badania dotyczące bioaktywności różnych nanocząstek, przeprowadzone w Zakładzie Nanobiotechnologii SGGW, wskazują na dualistyczną rolę tych nanostruktur. Nanocząstki (nanopłatki) w zależności od ich morfologii, funkcjonalizacji powierzchni, zastosowanej koncentracji mogą być zabójcze lub promujące zdrowie. Co więcej, takie same nanocząstki, w identycznej koncentracji, aplikowane różnym gatunkom zwierząt, podawane różnymi metodami, czy też obserwowane z zastosowaniem różnych modeli badawczych (*in vitro* i *in vivo*) mogą wywoływać całkowicie przeciwstawne skutki. Tak więc nanotechnologia i nanobiotechnologia przynieść może wiele pozytywnych zmian w otaczającym nas świecie, a przede wszystkim nadzieję na postęp medycyny. Jednak z drugiej strony, odkrywany świat nanostruktur jest niezbadany, co więcej, zarówno metody, jak też narzędzia do oceny toksyczności nanostruktur nie są jednoznacznie określone.

**Referat plenarny wygłoszony podczas LXXXI Zjazdu Naukowego PTZ w Warszawie. Część prezentowanych wyników badań prowadzono w ramach projektu NCN 2011/03/B/NZ9/03387.*

Literatura: 1. Alanazi F.K., Radwan A.A., Alsarra I.A., 2010 – Biopharmaceutical application of nanogold. Saudi Pharm. J. 18, 179-193. 2. Chen P.C., Mwakwari S.C., Oyelere A.K., 2008 – Gold nanoparticles: From nanomedicine to nanosensing. Nanotechnology, Science and Applications 1. 3. Chen Y., Cao X., Chang P.R., Huneault M.A., 2008 – Comparative study on the films of poly(vinyl alcohol)/pea starch nanocrystals and poly(vinyl alcohol)/native pea starch. Carbohydr. Polym. 73, 8. 4. Dufrene Y.F., 2004 – Using nanotechniques to explore microbial surfaces. Nature review. Microbiology 2, 451-460. 5. Ganesan P., Choi D-K., 2016 – Current application of phytocompound-based nanocosmeceuticals for beauty and skin therapy. Int. J. Nanomedicine 1, 1987-2007. 6. Ge L., Li Q., Wang M., Ouyang J., Li X., Xing M., 2014 – Nanosilver particles in medical applications: synthesis, performance, and toxicity. Int. J. Nanomedicine 9, 2399-2407. 7. Grodzik M., Sawosz E., Wierzbicki M., Orłowski P., Hotowy A., Niemiec T., Szmida M., Mitura K., Chwalibóg A., 2011 – Nanoparticles of carbon allotropes inhibit glioblastoma multiforme angiogenesis in ovo. Int. J. Nanomedicine 6, 1-8. 8. http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/consumer. 9. <http://statnano.com/news/54311>. 10. Jaworski S., Sawosz E., Kutwin M., Wierzbicki M., Hinzmann M., Grodzik M., Winnicka A., Lipińska L., Włodyga K., Chwalibóg A., 2015 – In vitro and in vivo effects of graphene oxide and reduced graphene oxide on glioblastoma. Int. J. Nanomedicine 10, 1585-1596. 11. Kurantowicz N., Sawosz E., Jaworski S., Kutwin M., Strojny B., Wierzbicki M., Szeliga J., Hotowy A., Lipińska L., Koziński R., Jagiełło J., Chwalibóg A., 2015 – Interaction of graphene family materials with *Listeria*

monocytogenes and *Salmonella enterica*. Nanoscale Research Letters 10, 1, 12-15. 12. Laginha K.M., Verwoert S., Charrois G.J.R., Allen T.M., 2005 – Determination of doxorubicin levels in whole tumor and tumor nuclei in murine breast cancer tumors. Clinical Cancer Research 11, 6944-6949. 13. Puzyn T., Rasulev B., Gajewicz A., Hu X., Dasari T., Michalkova A., Hwang H., Toropov A., Leszczynska D., Leszczynski J., 2011 – Using nano-QSAR to predict the CITtoxicity of metal oxide nanoparticles. Nature Nanotechnology 6, 175-178. 14. Raj S., Jose S., Sumod U., Sabitha M., 2012 – Nanotechnology in cosmetics: Opportunities and challenges. J. Pharm. Bioallied. Sci. 4, 3,186-193. 15. Regulation (EC) No 1223/2009. 16. Sawosz E., Jaworski S., Kutwin M., Hotowy A., Wierzbicki M., Grodzik M., Kurantowicz N., Strojny B., Lipińska L., Chwalibóg A., 2014 – Toxicity of pristine graphene in experiments in a chicken embryo model. Int. J. Nanomedicine 9, 3913-3922. 17. Sawosz E., Chwalibóg A., Mitura K., Mitura S., Szeliga J., Niemiec T., Rupiewicz M., Grodzik M., Sokołowska A., 2011 – Visualisation of morphological interaction of diamond and silver nanoparticles with *Salmonella enteritidis* and *Listeria monocytogenes*. J. Nanosci. Nanotechnol. 11, 1-7. 18. Sawosz E., Grodzik M., Lisowski P., Zwierzchowski T., Niemiec T., Zielińska M., Szmida M., Chwalibóg A., 2010 – Influence of hydrocolloids of Ag, Au and Ag/Cu alloy nanoparticles on the inflammatory state at transcriptional level. Bull. Vet. Inst. Pulawy 54, 81-85. 19. Sawosz E., Grodzik M., Niemiec T., 2011 – Nanotechnologia w produkcji zwierzęcej W: Chemia i biotechnologia w produkcji zwierzęcej (red. E. Greła). PWRiL, Warszawa. 20. Sawosz E., Jaworski S., Kutwin M., Prasad Vedalasetty K., Grodzik M., Wierzbicki M., Kurantowicz N., Strojny B., Hotowy A., Lipińska L., Jagiełło J., Chwalibóg A., 2015 – Graphene Functionalized with Arginine Decreases the Development of Glioblastoma Multiforme Tumor in a Gene-Dependent Manner. Int. J. Mol. Sci. 16, 25214-25233. 21. Silver S., 2003 – Bacterial silver resistance: molecular biology and uses and misuses of silver compounds. FEMS Microbiology Reviews 27, 341-353. 22. Strojny B., Kurantowicz N., Sawosz E., Grodzik M., Jaworski S., Kutwin M., Wierzbicki M., Hotowy A., Lipińska L., Chwalibóg A., 2015 – Long Term Influence of Carbon Nanoparticles on Health and Liver Status in Rats. PLOS ONE 10, 3, 15. 23. Thurman R.B., Gerba C.P., 1989 – The molecular mechanisms of copper and silver ion disinfection of bacteria and viruses. CRC Crit. Rev. Environ. Control. 18, 295-315. 24. Tiwari J.N., Tiwari R.N., Kim K.S., 2011 – Zero-dimensional, one-dimensional, two-dimensional and three-dimensional nanostructured materials for advanced electrochemical energy devices. Progress in Material Science 57, 724-803. 25. Urbańska K., Pająk B., Orzechowski A., Sokołowska J., Grodzik M., Sawosz E., Szmida M., Sysa P., 2015 – The effect of silver nanoparticles (AgNPs) on proliferation and apoptosis of in ovo cultured glioblastoma multiforme (GBM) cells. Nanoscale Research Letters 10, 10, 98. 26. Zgłoszenie patentowe nr U.S. 6379712 B1, USA.

Dilemmas of nanobiotechnology

Summary

Materials technology of the 21st century makes it possible to obtain nanomolecules, which may exhibit exceptional biological properties, from commonly accessible materials. The extraordinary biochemical activity of nanoparticles (1-100 nm) is due to the greater percentage of atoms located on their surface. Because of the unique properties of nanostructures, they are a subject of research and have found application in various areas of life. Nano-objects are used in electronic devices, in the automotive industry, and in cosmetics and medicine. Nanoparticles of silver, gold and graphene are recognized as anticancer agents and carriers in drug delivery systems. A very important phenomenon is the antibacterial activity of silver nanoparticles. However, the toxicity of nanostructures is not fully known, and the procedures and rules for evaluating the safety of nanostructures are still controversial. Nanotechnology and nanobiotechnology have the potential to improve the life of humans and animals, particularly in the field of medicine, but advances in methods and tools for determining toxicity are essential.

KEY WORDS: nanobiotechnology, nanoparticles, silver, gold, application, medicine