

**NANOROBOTI - fantazie nebo převrat v medicíně ?**  
(Say „Ah“ !)

Robert A. Freitas Jr.

The Sciences, July/August 2000, Vol.40, č.4., s. 26-31

Volně přeložil a značně zkrátil MUDr. Vladimír Plesník

*Nanoroboti velikosti bakterií se jednou mohou potulovat v lidských tělech, hubit původce nemocí a opravovat poškozené tkáně.*

Nositel Nobelovy ceny za chemii, Richard E. Smalley, z texaské univerzity v Houstonu, referoval v červnu 1999 kongresovému podvýboru o novém vědním oboru – nanorobotice. Jde o diagnostiku, léčení i předcházení nemocím pomocí moderních molekulárních technik, lišících se od dosavadních nešetrných postupů vůči cílovým orgánům či buňkám využíváním miniaturních robotů, které mohou vpravit potřebnou látku do buněk nebo ji z buněk odebrat, ba dokonce mohou proniknout do buněčných jader a opravovat poškozené geny.

Nanomedicína je podoborem v současné době rozvíjející se nanotechnologie. Předpona „nano“ (z řeckého slova *nanos* – trpaslík) znamená jednu miliontinu ( $10^{-9}$ ) čehokoli. Nanotechnologie pracuje ve velikostech jednoho nanometru tj. rozměru šesti atomů uhlíku. Její začátek souvisí s vývojem ultramalých komputerů, několik tisíckrát menších než jsou dnešní. Konkrétní výsledky jsou zatím malé a velmi draze získané. Cílem nanotechnologie je napodobit postupy Přírody precizním skládáním jedné molekuly k druhé a k dalším. Lidský plod je v počátcích jedinou buňkou, postupně se dělicí na dvě, čtyři, osm atd. Nanotechnologie se snaží postupovat obdobně tím, že konstruuje nový objekt z jeho základních složek. Tím se podstatně liší od typických výrobních postupů přípravy a montáže objektu (výrobku) z dílčích komponentů. Tvorba objektu postupným skládáním jednotlivých molekul představuje nebývalý stupeň preciznosti konečného produktu a jeho kontroly. Tak mohou být vyrobeny i velmi složité nástroje mikroskopické velikosti, s řadou součástí.

Biologové dnes vědí, že každý proces v těle je specifickou interakcí mezi molekulami. Nanotechnologie se svým zaměřením na přesnost molekul se může stát postupem, který povede k dramatickému vylepšení terapie nemocí. Již dnes, v prvopočátcích nanomedicíny, se na lidech testují uměle zkonstruované molekuly, i když dosud nejde o nástroje připravené na molekulární úrovni. Na rozdíl od většiny současných léků, které v cévním řečišti kolují bezcílně po celém těle, působí tyto chytré molekuly selektivně v cílových buňkách (např. nádorových), nebo jsou aktivní jen za určitých podmínek. Jeden nový typ molekuly, vyvinutý na japonské univerzitě v Kyoto, uvolňuje antibiotika jen v přítomnosti nějaké infekce.

V budoucnu, až molekulární biologie bude využívat nanotechnologie, bude možné připravit mnohem dokonalejší nástroje. Bude možné sestavit chytré roboty, které budou cíleně putovat lidským tělem, přenášet potřebné molekuly, manipulovat s objekty mikroskopické velikosti a komunikovat s lékařem prostřednictvím miniaturních senzorů, motorků, manipulatorů, pohonných generátorů a komputerů velikosti molekul.

Nanomedicína a zvláště nanoroboti mohou vypadat jako nový žánr science fiction. Ale řada vědců vkládá do nanomedicíny velké naděje. V roce 1997 panel expertů sponzorovaný americkým ministerstvem obrany usoudil, že nanomedicína se stane realitou do roku 2020. V jejich zprávě se píše, že „pravděpodobné využití zahrnuje v sobě programovatelné imunitní stroje, pohybující se v cévním řečišti a doplňující přirozený imunitní systém, nebo stroje soustřeďující buňky k podpoře rychlého hojení a rekonstrukce tkání, ale též stroje k operaci genů v buňkách“.

Představa o aplikaci milionů samostatných nanorobotů do těla je zlá a ohromující. Ve skutečnosti je však tělo prošípováno obrovským množstvím mobilních nanorobotů, vzniklých přirozenou cestou, nikoliv lidskou rukou. Jsou to třeba neutrofilny, lymfocyty a jiné bílé krvinky. V měřítku nanometru jsou poměrně velké, mají v průměru zhruba 10.000 nm, ale fungují jako přírodní nanoroboti, kteří stále cestují tělem, opravují poškozené tkáně, napadají a likvidují do těla proniklé mikroorganismy a odstraňují z různých orgánů cizí částice tím, že je rozkládají nebo vylučují. Všichni jsme na činnosti těchto buněk životně závislí.

Nebo si vzpomeňme na ribosomy, organely v cytoplasmě buňky, na nichž probíhá syntéza bílkovin. Genetický materiál pocházející z jádra (nucleus) buňky je řetězec nukleových kyselin fungující podobně jako počítačový vzor. Ribosomy putují podél řetězce a upravují sekvenci aminokyselin. Výsledkem je řetěz aminokyselin představující novou bílkovinu. Tedy ribosomy pracují jako velepřesný montér (*assembler*) v měřítku nanohodnot, což je právě ten typ přístroje, který se snaží výzkumníci stvořit.

*Trocha futurologie nikoho nezabije:*

*Představte si, že v roce 2030 přijde k praktickému lékaři mladý muž s nevelkou horečkou, kašlem a plným nosem. Lékař sáhne do kapsy pro přístrojek podobný kapesní počítače. Vytáhne z něj malou anténku podobnou tužce a vloží ji pacientovi do úst tak, jakoby to byla špátle. Anténka je s přístrojkem spojena bezdrátově a navíc se po použití sama sterilizuje. Na špičce má miliardy receptorů pro detekci molekul, které jsou po stovkách uloženy na automaticky vystupujících a ustupujících vláčkových čidlech. Každý receptor je specificky citlivý na chemické složení určité bakterie nebo viru.*

*Po několika vteřinách se na displeji přístroje objeví trojrozměrné, barevné zobrazení pacientova hrdla. Za ním jsou tři sloupce se stále aktualizovanými daty. Levý sloupec obsahuje jména deseti nejpočetnějších druhů bakterií a virů, které jsou právě zjištěny. V prostředním sloupci jsou klíčové biochemické markery každého z těchto druhů a v pravém sloupci je počet zjištěných zárodků detekovaných druhů. Za dalších několik vteřin se náhle červeně rozsvítí údaje jednoho druhu bakterií, majícího charakteristické molekulární rysy patogena.*

*Tím je diagnóza určena a původce nákazy lze zlikvidovat. Nebude k tomu třeba žádných anti-histaminik, kapek do nosu, ani týdenního užívání antibiotika. Lékař uchovává v ordinaci právě pro tento účel několik rodově příbuzných nanorobotů. Napiše jméno zjištěného původce počítači a podle jeho instrukcí naprogramuje miliardy nanorobotů, kteří původce vypátrají a zničí. Pacient vdechne nanoroboty spolu s aerosolem, ve kterém jsou suspendováni.*

*Lékař se může na krátkou dobu věnovat jiným činnostem. Mezi tím nanoroboti vniknou do hrdla pacienta pomocí svých autonomních pohybových orgánů, kterými mohou být nožky, šroubovnice, bičiky atd. Roboti vyhledávají a po setkání ničí určeného mikroba-patogena. Pacient nic nepocítuje: nanoroboti mají velikost bakterií, které se stále pohybují na těle a v něm, aniž bychom je vnímali. Po několika minutách se lékař vrátí k pacientovi. Pomocí zvukového signálu svolá nanoroboty zpět do hrdla pacienta, odkud je posbírání speciálním sběračem na konci tykadla přístrojku. Pomocí něho se také opakovaným vyšetřením přesvědčí, že příslušný patogen už není v těle přítomen.*

I když výše uvedená vize se zdá velmi málo pravděpodobná, převážně je založena na již probíhajícím vývoji biosenzorů a dalších diagnostických postupů. Pracovníci jedné výzkumné agentury amerického ministerstva obrany sestrojili na biologickém principu přístroj, který

dokáže detekovat přítomnost chemické nebo biologické zbraně. Jeden izraelský podnik nedávno vyvinul minivideokameru, která po polknutí vysílá obrazy ze zažívacího traktu.

Než začne vývoj nanorobotů použitelných v medicíně, musí se uskutečnit příprava jednodušších aparátů a sestav molekul. Jsou dva hlavní směry zhotovení nanometrických aparátů: sestavování molekul do žádoucích pozic, nebo jejich samoslučování. V prvním případě používá výzkumník některé nástroje („ruku“ miniaturního robota, nebo soupravu pinzet mikroskopických rozměrů) k tomu, aby molekuly postupně složil. Postup samoslučování je méně pracný, neboť využívá přirozenou vlastnost některých molekul navzájem se vyhledávat a spojovat. Výzkumník prostě vloží miliardy molekul do kádinky a umožní tak, aby se podle přirozené afinity automaticky spojovaly do požadované struktury. Sestavit tímto způsobem složitější struktury je však téměř nemožné. Proto se řada výzkumníků zabývá cíleným sestavováním molekul pomocí „molekulárního montéra“, přístroje, který dokáže sestavovat molekuly až do formy práceschopných nanorobotů, podobně jako se v automobilce sestavují auta.

Hledá se možnost sestavování miniaturních motorků k pohybu nanorobotů, k čerpání tekutin a podobně. Největší současný problém tkví v napodobování přirozených mechanismů, jaké například umožňují pohyby bičíků a membrán bakterií. Biologický motor k pohybu bičíků je v podstatě rotor točící se ve statoru, nebo připojený k povrchu prstence, ale mající rozměry asi 30 nanometrů. Jeho pohyb působí změna elektrického napětí a pH.

Budoucí medicínské nanoroboty mohou mít překvapující podoby. Před několika lety byl pod názvem „respirocyt“ popsán umělý erytrocyt, kulatý nanorobot velikosti bakterií. Může se skládat asi z 18 miliard atomů, které jsou přesně zasazeny do krystalické struktury, představující miniaturní tlakovou nádobku. Tato může pohltit až devět miliard molekul kyslíku a oxidu uhličitého. Po vpravení respirocytů do krevního oběhu senzory na jejich povrchu mohou detekovat hladinu obou plynů v krvi. Signalizují pak potřebu dodávky kyslíku nebo odčerpání oxidu uhličitého v plicích nebo ve tkáních. Pohyb těchto plynů by ovládaly miniaturní molekulární čerpadla respirocytů. Mohly by tak být mnohem účinnější než erytrocyty, neboť dokážou skladovat a transportovat 200x více plynů na objemovou jednotku. Větší dávka respirocytů by mohla bezpečně udržovat okysličení tkání celé čtyři hodiny po zástavě srdce. Podobně by bylo možné vydržet stejně dlouho nedýchat pod vodou, nebo spurtovat nejméně 15 minut bez nadechnutí.

První návrhy na některé medicínské nanoroboty se zabývají sestrojením přístrojů, schopných po vpravení do těla stanovit diagnózu a opravit na molekulární úrovni každou poškozenou buňku. Nezřídka může být lepší odstranit přítomné chromozomy z jadra nemocných buněk a na jejich místo vložit nové. Tyto by byly přesnou kopií pacientova genomu a vedly by k samoopravě buněk. Tento postup se označuje jako terapie pomocí náhrady chromozomů.

*Popusťme ještě chvíli uzdu fantazie:*

*Až se nanorobotika stane realitou, neskončí jen u léčení nemocí. Může vylepšovat přirozeně vzniklé vlastnosti. Kosti se mohou po vložení uhlíkové mřížky do nich stát pevnější. Bude možné změnit rozsah slyšených tónů, který umožní lidem vnímat zvuky, které slyší některá zvířata. Svalová výkonnost bude zvýšena pomocí implantovaných nanomotorů.*

*Vrcholem může být zabránění, nebo aspoň zpomalení stárnutí organismu. Většina badatelů soudí, že příčinou stárnutí jsou změny mezimolekulárních procesů a zhoršená funkce buněk. Podaří-li se nanomedicíne zjistit a napravit většinu špatně fungujících buněk, mohly by osoby středního ale i vyššího věku opět nabýt zdraví, postavu a krásu jako za mládí a stát se skoro nesmrtelnými.*

*Jediným neřešitelným problémem je ztráta rozumových schopností a paměti, jakou vidíme třeba v pokročilém stádiu Alzheimerovy nemoci, nebo po těžkém úrazu hlavy. Obnova ztracených informací, včetně celoživotních vzpomínek a zkušeností, je možná jen teoreticky a mnohem komplikovanější, než náprava činnosti srdce nebo jater.*

Současníkům se bude cíl nanorobotiky zdát přehnaný, až utopický. Připomeňme si ale, že ještě v r. 1874 tvrdil hlavní chirurg Anglie, Sir John Eric Erichsen, že „břicho, plíce a mozek zůstanou navždy mimo možnosti poznání a operátora“. Pokrok medicíny ve dvacátém století je ohromující a stále se zrychluje. Ještě před polovinou jednadvacátého století se může stát, že bude možné levně vyrábět obrovská množství miniaturních aparátů, vhodných k léčebným účelům. Ty by mohly eliminovat prakticky všechny běžné nemoci dvacátého století, stejně jako každou tělesnou bolest a utrpení.

Kopie celého textu je uložena v archivu epid. oddělení KHS Ostrava.

### **Poznámka překladatele:**

I když se některým čtenářům může zdát, že jde o aprílové číslo SMD, není tomu tak. Hrdinou článku je vynikající vědec-chemik, který v poslední době podstoupil terapii maligního lymfomu. Chemoterapie má některé nežádoucí účinky (závratě, nevolnosti, vypadávání vlasů) a aplikace léčiv může být značně nepříjemná a bolestivá. Proto se tento vědec začal zajímat o jiné způsoby léčby, které by cíleně působily jen na poškozené buňky či tkáň a dospěl k možnému využití nanotechnologie.

Originál článku obsahuje mnohem více odborných detailů a informací o již uskutečněných výzkumech a jejich výsledcích. Mým cílem však bylo podat čtenářům prvou a myslím, že překvapivou zprávu o netušené možnosti ochrany zdraví a života. Pamětníci začátků Studijních materiálů si snad vzpomenou, že před 20-30 lety byly v SM také na tehdejší stav medicínských znalostí téměř neuvěřitelné informace o žloutence, pak žloutenkách, o Australském antigenu, o epidemiologii chřipky, různých meningitid a encefalitid, o možnostech imunizace, o AIDS atd. A přece velká většina těchto nezaručených „vidin“ je dnes realitou. Každý si může představit jak obrovská změna medicíny a lidského života vůbec by nastala, podaří-li se uskutečnit cíle nanotechnologie a nanomedicíny. Vadí mi jen to, že s tím Alzheimerem nikdo brzo nezatočí.