

Toto PDF obsahuje kapitolu z knihy:  
Zdeněk Fiala, Drahomíra Holmannová (ed.):  
*Uhlíkové nanomateriály. Biomedicínské aplikace a toxicita*,  
Praha: Karolinum 2025,  
<https://doi.org/10.14712/9788024659848>.

## **7. Toxicita vůči močovému ústrojí**

(Zdeněk Fiala, Drahomíra Holmannová)

© Univerzita Karlova, 2025

© Zdeněk Fiala, Drahomíra Holmannová, 2025

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

<https://doi.org/10.14712/9788024659848.7>

# 7 TOXICITA VŮČI MOČOVÉMU ÚSTROJÍ

Uhlíkové nanomateriály (CNM) vstupují do živých systémů většinou inhalačně, perorálně nebo transdermálně. V případech terapeutického použití přichází v úvahu i vstup intravenózní. Z místa vstupu jsou CNM translokovány do systémové cirkulace a následně distribuovány do cílových tkání, kde interagují s bio(makro)molekulami. V dalších krocích dochází k jejich krátkodobé či dlouhodobé depozici, biotransformaci a eliminaci.<sup>1</sup>

Vylučovací soustava zajišťuje vylučování odpadních látek z těla, je součástí detoxikačních mechanismů, udržuje vodní a elektrolytovou rovnováhu, hodnotu pH a hodnoty krevního tlaku a podílí se na hormonální expresi. U člověka patří ke klíčovým složkám vylučovací soustavy ledviny, močovody, močový měchýř a močová trubice. Poškození vylučovací soustavy je spojeno s řadou patologií, které se manifestují jak na tkáních vylučovací soustavy samotné, tak i na celém organismu. Proces odstraňování xenobiotik (včetně nanočástic) vylučovací soustavou zahrnuje glomerulární filtraci, tubulární resorpci, sekreci a urinární exkreci. Xenobiotika při tomto procesu mohou poškozovat nefrony, tubulární systém i dolní cesty močové.<sup>1</sup> Mezi hlavní mechanismy poškození bývá řazen oxidační stres (produkce volných radikálů a reaktivních intermediátů), indukce mitochondriálního a endoplazmaticko-retikulárního stresu a indukce zánětu.<sup>2</sup>

## 7.1 IN VITRO STUDIE

*In vitro* studie nefrotoxicity jsou prováděny na buňkách vylučovacího ústrojí, nejčastěji na liniích odvozených od tkání ledvin. Výsledky některých studií představíme v následujícím textu.

Ku příkladu Yu et al. provedli studii na HEK-293T (lidské embryonální ledvinné buňky), které exponovali uhlíkovým nanotrubicím (CNT) funkcionalizovaným polyetylenglykolem (PEG; expoziční koncentrace 100–200 µg/ml; expoziční doba 24, 48 a 72 h). Byla pozorována lýza buněk, nekróza a snížení počtu buněk v kultuře. Vyšší dávky způsobovaly (vedle přímého poškození) i morfologické změny.<sup>3</sup>

Autoři Reddy et al. hodnotili toxicitu dvou typů různě dlouhých mnohvrstevných uhlíkových nanotrubic (MWCNT; 60–80 nm a 90–150 nm; koncentrace 3 a 300 µg/ml; 48 h) vůči buněčné linii HEK-293T. Autoři uvádějí nálezy dávkově závislého snížení viability buněk a koncentrací glutathionu, který působí antioxidačně. Naopak vzrostla míra poškození buněčných membrán, hladin laktátdehydrogenázy a prozánětlivého cytokinu IL-8. Vyšší toxicitu

vykazovaly MWCNT o délce 60–80 nm. Výsledky tedy svědčí pro přítomnost oxidačního stresu, smrti buněk a indukci zánětu.<sup>4</sup>

Toxicitu dvou typů MWCNT s rozdílnou délkou testovali i Kermanizadeh et al. Jako expoziční objekt byla použita buněčná linie HK-2 (dospělé lidské buňky proximální tubulárního epitelu). Celodenní (24h) expozice oběma typům MWCNT zvyšovala expresi volných kyslíkových radikálů (ROS) a hladiny prozánětlivých cytokinů IL-6 a IL-8 podobně jako v předchozí studii.<sup>5</sup>

Barillet et al. testovali několik druhů CNM (včetně MWCNT) na řadě buněčných linií, mezi kterými byla i linie reprezentující ledvinovou tkáň NKR-52E (kryší epitelové buňky ledvin). Expozice dávkám 0,25–100 µg (kultivace 1 až 72 hodin) narušovaly buněčnou integritu, zvyšovaly expresi ROS a indukovaly buněčnou smrt. Genotoxická analýza (kometový test) odhalila zvýšený výskyt zlomů DNA řetězců.<sup>6</sup>

Autoři Blazer-Yost et al. testovali toxicitu fullerenu ( $C_{60}$ ), jednovrstvých uhlíkových nanotrubic (SWCNT) a MWCNT na buněčné linii kortikálních sběrných kanálek myších ledvin (*mouse kidney cortical collecting duct cell line*, mpkCCD<sub>c14</sub>). Po dvoudenní expozici byla zjištěna snížená transepitelová elektrická rezistence, což indikovalo narušení integrity a buněčné viability jednovrstvé buněčné kultury. Velmi zajímavým způsobem byla narušena rovněž exprese řady proteinů. Autoři popsali, že dávka 0,004 µg  $C_{60}$ /cm<sup>2</sup> ovlivnila expresi 61 proteinů (u 34 došlo ke zvýšení exprese a u 27 ke snížení exprese). Jednalo se hlavně o proteiny zapojené do buněčné smrti, produkce energie, vzniku nádorů, tj. i proteinů ovlivňujících buněčný růst, proliferaci a buněčný cyklus. Je zajímavé, že vyšší dávky měly nižší dopady na expresi proteinů. Pokud se podíváme na SWCNT a MWCNT, tak i zde došlo ke změnám v expresi proteinů. K nejvýraznějším změnám opět došlo v případě nejnižší dávky, tj. 0,004 µg/cm<sup>2</sup>. Tato dávka SWCNT zvýšila expresi 57 proteinů a snížila expresi 59 proteinů, v případě MWCNT to bylo zvýšení exprese 45 a snížení exprese 60 proteinů. Opět se jednalo hlavně o proteiny zapojené do základních funkcí buněk jako v případě  $C_{60}$ . Navíc autoři zaznamenali také snížení exprese ribozomálních a histonových proteinů. Z uvedeného je zřejmé, že různé druhy CNM indukují různé buněčné odpovědi a že v charakteru tohoto procesu hraje významnou roli expoziční koncentrace.<sup>7</sup>

Je známo, že biologickou aktivitu CNM mohou snižovat či zvyšovat jejich povrchové modifikace/funkcionalizace. Autoři Johnson-Lyles et al. exponovali LLC-PK1 (prasečí buňky proximálního ledvinného tubulu) hydroxylovanému fullerenu (fullerenolu) v dávkách 0,6–60 mM po dobu 24 nebo 48 hodin. Expozice fullerenolu indukovala buněčnou smrt a ztrátu mitochondriálního membránového potenciálu. Byl narušen cytoskeleton, došlo ke kumulaci autofagozomových vakuol a k depleci ATP. Zajímavé je, že navzdory poškození mitochondriálních struktur nebyla pozorována zvýšená hladina volných kyslíkových radikálů (ROS).<sup>8</sup>

## 7.2 IN VIVO STUDIE

*In vivo* studie nefrotoxicity jsou prováděny nejčastěji na hlodavcích. Z testovaných CNM jednoznačně převažuje grafen a jeho deriváty (například oxid grafenu; GO). Patlolla et al. testovali nefrotoxické účinky GO na potkanech (5 dní; orální expozice; dávky 0, 10, 20 a 40 mg/kg). Expozice zvyšovala aktivitu superoxidodismutázy, katalázy a glutathionperoxidázy a poškozovala funkce ledvin. Byl zaznamenán nárůst hladiny sérového kreatininu,

hladiny BUN (*blood urea nitrogen*) a hladiny oxidačního stresu, přestože se aktivita anti-oxidačních enzymů zvýšila. Histologická analýza potvrdila poškození ledvinových tkání. Dávka 10 mg/kg způsobovala dilataci tubulů a renální tubulární separaci; dávka 20 mg/kg vyvolávala tubulární nekrózu, dezintegraci tubulů, degeneraci hematopoetické tkáně a eozinofilní exsudát a dávka 40 mg/kg měla za následek závažnější formy všech dříve zmíněných patologií. Všechny pozorované změny byly závislé na dávkách.<sup>9</sup>

Na rozdíl od výše popsaných výsledků však skupina jiných autorů (Karsh et al.) v *in vivo* experimentu přítomnost nefrotoxických účinků GO nezjistila. Tito autoři aplikovali potkanům po dobu jednoho týdne intraperitoneálně GO v denní dávce 1 mg/kg.<sup>10</sup> Zjištěnou neshodu by bylo možné přisuzovat rozdílné formě expozice a výrazně rozdílným expozičním dávkám, neboť Patlolla et al. podávali dávky 10–40 mg/kg.

Ve experimentech byla pochopitelně věnována pozornost i vlivu povrchové modifikace/funkcionalizace CNM na jejich biologickou aktivitu. Například Jasim et al. sledovali distribuci GO funkcionalizovaného kyselinou 1,4,7,10-tetraazacyklododekan-1,4,7,10-tetraoctovou (GO-DOTA značený radioaktivním indiem). Po intravenózní aplikaci (50 µg) myším byl GO-DOTA detekován v moči, v močovém měchýři, ve slinivce a v játrech.<sup>11</sup>

S ohledem na pozitivní nálezy *in vitro* experimentů byla potenciální nefrotoxicita uhlíkových nanotrubic (CNT) testována rovněž i v experimentech *in vivo*. Například Lacerda et al. aplikovali myším intravenózně nefunkcionalizované a funkcionalizované MWCNT (funkcionalizace amoniakem a karboxylovými skupinami; dávka 200 µg). Po 24 hodinách od aplikace byly myším odebrány vzorky ledvin, jater, sleziny a plic. Z nálezů vyplývá, že čím vyšší byl stupeň funkcionalizace, tím menší byla jejich akumulace ve tkáních. Nefunkcionalizované MWCNT se akumulovaly téměř výhradně v plicích a játrech (ne v ledvinách). Vybrané indikátory analýz séra a moči neindikovaly fyziologické abnormality u žádného z odebraných orgánů. Autoři se domnívají, že kritickým faktorem, vedoucím k menší akumulaci CNT ve tkáních a k normální tkáňové fyziologii, je stupeň funkcionalizace, a nikoli povaha funkčních skupin.<sup>12</sup>

K opačným závěrům došli Maha Gazia a Mohammed El-Magd, kteří známky nefrotoxicity MWCNT popsali. V jejich experimentu byly potkanům intratracheálně podány nefunkcionalizované a funkcionalizované MWCNT (amylované a obalené polyethylenglykolem – pegylované; dávka 1 mg/kg). Nefunkcionalizované a amylované MWCNT způsobovaly prakticky stejnou formu poškození ledvinové tkáně, která měla za následek snížení ledvinových funkcí. V histologických preparátech byly patrné kolabované nebo edematózní hemoragické glomeruly, poškozené mezangiální a endotelové buňky a mnoho apoptotických buněk. V krvi byly nalezeny zvýšené hladiny močoviny a kreatininu. Příčinu poškození autoři připisují zvýšené hladině oxidačního stresu, která indukovala zánětlivou odpověď a apoptózu. Přítomnost zánětu byla potvrzena nárůstem hladiny prozánětlivého IL-1β a zvýšenou aktivitou kaspázy 3. V případě pegylovaných MWCNT výše uvedená poškození a změny pozorovány nebyly.<sup>13</sup>

Nefrotoxické účinky CNT popisují rovněž Zahra Matouri a Ali Noori, kteří intraperitoneálně aplikovali potkanům MWCNT, funkcionalizované karboxylovými skupinami (dávky 2,5, 5, 10 a 20 mg/kg). Po jednom dni od aplikace byla u dávek 2,5 a 5 mg/kg nalezena snížená hladina sérové kyseliny močové. Po dvaceti dnech od aplikace byly u všech dávek zjištěny snížené hladiny sérové kyseliny močové a močoviny. Snížené hladiny kreatininu byly nalezeny pouze u dávek 5 a 10 mg/kg. Histologická analýza prokázala poškození ledvinové tkáně. Zajímavý byl nález ložisek hyalinu podobné substance, která vznikla (pravděpodobně) v důsledku zvýšené aktivity eozinofilů a dalších zánětlivých buněk (bazofilů a neutrofilů).

V kůře a dřeni ledvin došlo vlivem expozice ke glomerulární degeneraci, dilataci Bowmanova pouzdra a degeneraci stěny proximálních tubulů. Poškození tkáně bylo závislé na dávce.<sup>14</sup>

Závěrem nutno zmínit i pozitivní účinky CNM na orgány vylučovací soustavy. Autoři Leporatti et al. popisují ve svém přehledovém článku antibakteriální aktivitu nanodiamantů při léčbě bakteriálních cystitid (vyvolaných například bakteriemi *Escherichia coli*), které jsou častou komplikací nádorových onemocnění močového měchýře. U pacientů s touto diagnózou je nutné infekci řešit, nicméně bývá problém s použitím stávající farmakologické léčby. Autoři se domnívají, že antibakteriální aktivitu nanodiamantů by bylo možné využít i u rezistentních bakteriálních druhů.<sup>15</sup>

## 7.3 ZÁVĚR

Studií, které se zabývají nefrotoxicitou není mnoho a závěry nejsou jednotné a jednoznačné, podobně jako tomu bylo v případě kožní a oční toxicity. Pokud vycházíme z principu předběžné opatrnosti a existují studie, které jistou míru toxicity prokázaly, je nutné s touto toxicitou počítat, obzvláště když právě močový systém může být jednou z eliminačních cest CNM.

## 7.4 LITERATURA

1. Iavicoli I, Fontana L, Nordberg G. The Effects of Nanoparticles on the Renal System. *Crit Rev Toxicol*. 2016;46(6):490–560. doi:10.1080/10408444.2016.1181047.
2. Zhao H, Li L, Zhan H, Chu Y, Sun B. Mechanistic Understanding of the Engineered Nanomaterial-Induced Toxicity on Kidney. *J Nanomater*. 2019;2019(1):2954853. doi:10.1155/2019/2954853.
3. Yu SP, Su XD, Du JL et al. The Cytotoxicity of Water-Soluble Carbon Nanotubes on Human Embryonic Kidney and Liver Cancer Cells. *New Carbon Mater*. 2018;33(1):36–45. doi:10.1016/S1872-5805(18)60325-7.
4. Reddy ARN, Reddy YN, Krishna DR, Himabindu V. Multi Wall Carbon Nanotubes Induce Oxidative Stress and Cytotoxicity in Human Embryonic Kidney (HEK293) Cells. *Toxicology*. 2010;272(1–3): 11–16. doi:10.1016/J.TOX.2010.03.017.
5. Kermanizadeh A, Vranic S, Boland S et al. An In Vitro Assessment of Panel of Engineered Nanomaterials Using a Human Renal Cell Line: Cytotoxicity, Pro-Inflammatory Response, Oxidative Stress and Genotoxicity. *BMC Nephrol*. 2013;14(1):96. doi:10.1186/1471-2369-14-96.
6. Barillet S, Simon-Deckers A, Herlin-Boime N et al. Toxicological Consequences of TiO<sub>2</sub>, SiC Nanoparticles and Multi-Walled Carbon Nanotubes Exposure in Several Mammalian Cell Types: An In Vitro Study. *J Nanopart Res*. 2010;12(1):61–73. doi:10.1007/s11051-009-9694-y.
7. Blazer-Yost BL, Banga A, Amos A et al. Effect of Carbon Nanoparticles on Renal Epithelial Cell Structure, Barrier Function, and Protein Expression. *Nanotoxicology*. 2011;5(3):354–371. doi:10.3109/17435390.2010.514076.
8. Johnson-Lyles DN, Peiffley K, Lockett S et al. Fullerenol Cytotoxicity in Kidney Cells Is Associated With Cytoskeleton Disruption, Autophagic Vacuole Accumulation, and Mitochondrial Dysfunction. *Toxicol Appl Pharmacol*. 2010;248(3):249–258. doi:10.1016/j.taap.2010.08.008.
9. Patlolla AK, Randolph J, Kumari SA, Tchounwou PB. Toxicity Evaluation of Graphene Oxide in Kidneys of Sprague-Dawley Rats. *Int J Environ Res Public Health*. 2016;13(4):380. doi:10.3390/ijerph13040380.
10. Karsh EH, Kadhim RJ, Jabir MS. Effect of Graphene Oxide and Gold Nanoparticles on Kidney Parameters of Male Mice. *AIP Conf Proc*. 2020;2213:020145-1–020145-6. doi:10.1063/5.0000167.

11. Jasim DA, Ménard-Moyon C, Bégin D, Bianco A, Kostarelos K. Tissue Distribution and Urinary Excretion of Intravenously Administered Chemically Functionalized Graphene Oxide Sheets. *Chem Sci*. 2015;6(7):3952–3964. doi:10.1039/C5SC00114E.
12. Lacerda L, Ali-Boucetta H, Herrero MA et al. Tissue Histology and Physiology Following Intravenous Administration of Different Types of Functionalized Multiwalled Carbon Nanotubes. *Nanomedicine*. 2008;3(2):149–161. doi:10.2217/17435889.3.2.149.
13. Abu Gazia M, El-Magd MA. Effect of Pristine and Functionalized Multiwalled Carbon Nanotubes on Rat Renal Cortex. *Acta Histochem*. 2019;121(2):207–217. doi:10.1016/j.acthis.2018.12.005.
14. Poormohammad Matouri Z, Noori A. Effect of Multi-Wall Carbon Nanotubes Toxicity on Kidney Function and Tissue in Rats. *J Gorgan Univ Med Sci*. 2018;20(1):22–28.
15. Leporatti S, Carbone M, Zupančič D, Veranič P. Nanodiamonds as Possible Tools for Improved Management of Bladder Cancer and Bacterial Cystitis. *Int J Mol Sci*. 2022;23(15):8183. doi:10.3390/IJMS23158183.

# ZKRATKY

16HBE	lidská bronchiální epiteliální buněčná linie ( <i>human bronchial epithelial cells</i> )
3HFWC	hyper-harmonizovaný vodní komplex hydroxylovaného fullerenu C <sub>60</sub>
A549	alveolární epiteliální buňky A549 ( <i>adenocarcinomic human alveolar basal epithelial cells</i> )
ABCA-1	<i>ATP-binding cassette transporter</i>
ALP	alkalická fosfatáza
ALT	alaninaminotransferáza
ARPE-19	imortalizované lidské retinální buňky
AST	aspartátaminotransferáza
BAL	bronchoalveolární laváž
BEAS-2B	imortalizovaná a nenádorová linie lidských plicních epiteliálních buněk ( <i>bronchial epithelial cells</i> )
BMEC	mozkové mikrovaskulární endoteliální buňky ( <i>bone marrow microvascular endothelial cells</i> )
BSA	bovinní sérový albumin
BUN	<i>blood urea nitrogen</i>
C <sub>60</sub>	fulleren
CaCo2	buněčná linie lidského kolorektálního adenokarcinomu ( <i>human colon adenocarcinoma cell line</i> )
Caco-2	imortalizované lidské buňky kolorektálního adenokarcinomu
cAMP	cyklický adenosinmonofosfát
CAT	kataláza
CB	saze ( <i>carbon black</i> )
CD	uhlíkové tečky ( <i>carbon dots</i> )
CDH1	kadherin 1
CFU	kolonie tvořící jednotku
CHCE-T	lidské rohovkové epitelové buňky
CNF	uhlíková nanovlákna ( <i>carbon nanofibres</i> )
CNH	uhlíkové nanorohy ( <i>carbon nanohorns</i> )
CNM	uhlíkové nanomateriály ( <i>carbon nanomaterials</i> )
CNP	uhlíkové destičky ( <i>carbon platelets</i> )
CNS	centrální nervová soustava
CNT	uhlíkové nanotrubicice ( <i>carbon nanotubes</i> )
CPPED1	<i>calcineurin-like phosphoesterase domain containing 1</i>
CT	počítačová tomografie
CVD	chemická depozice z plynné fáze

DAMP	<i>damage/danger-associated molecular patterns</i>
DWCNT	dvoustěnné uhlíkové nanotrubičky ( <i>double-walled carbon nanotubes</i> )
EC <sub>50</sub>	polovina maximální účinné koncentrace
EEG	elektroencefalografie
EKG	elektrokardiografie
EPC	endoteliální progenitorové buňky
EPO	eozinofilní peroxidáza
FBN1	fibrilin 1
FBS	fetální bovinní sérum
FDT	fotodynamická terapie
FLG	vícevrstvý grafen ( <i>few layer graphene</i> )
FLGO	několikvrstvý grafen oxid ( <i>few-layer graphene oxide</i> )
FN1	fibronektin
FSF1	fibroblasty z kůže lidského obličeje
FSH	folikuly stimulující hormon
FTT	fototerminální terapie
GGT	$\gamma$ -glutamyltransferáza
GIT	gastrointestinální trakt
GNP	grafenové nanodestičky ( <i>graphene nanoplatelets</i> )
GO	oxid grafenu ( <i>graphen oxide</i> )
GO-DOTA	oxid grafenu funkcionalizovaný kyselinou 1,4,7,10-tetraazacyklododekan-1,4,7,10-tetraoctovou
GO-QD	kvantové tečky oxidu grafenu ( <i>graphene oxide quantum dots</i> )
GP	grafenové plátky
GPCR	receptor spřažený s G proteinem ( <i>G protein-coupled receptors</i> )
GQD	grafenové kvantové tečky ( <i>graphene quantum dots</i> )
H2AFX	<i>histone family member X</i>
H9c2	kardiomyoblasty
HaCaT	imortalizované keratinocyty
HASMC	buňky hladké svaloviny aorty ( <i>human aortic smooth muscle cells</i> )
HBEC-3KT	nenádorové buňky lidského bronchiálního epitelu
hConECs	lidské epitelové spojivkové buňky
hCorECs	lidské epitelové buňky rohovky
HEB	hematoencefalická bariéra
HEK-293T	lidské embryonální ledvinné buňky
HepG2	buňky hepatocelulárního karcinomu
HK-2	dospělé lidské buňky proximální tubulárního epitelu
HLF	lidské plicní fibroblasty ( <i>human lung fibroblasts</i> )
HNEpC	primární buňky lidského nosního epitelu
hpf	hodin po fertilizaci
HSC 2012	Hazard Communication Standard
Hsp90	<i>heat shock protein 90</i>
HT29	buňky lidského kolorektálního adenokarcinomu s epiteliální morfologií
HUVEC	endoteliální buňky lidské pupečnickové žíly ( <i>human umbilical vein endothelial cells</i> )
IARC	International Agency for Research on Cancer
ICAM-1	solubilní intercelulární adhezivní molekuly 1 ( <i>intercellular adhesion molecules</i> )
IL	interleukin
LLC-PK1	prasečí buňky proximálního ledvinného tubulu
LOX-1	<i>lectin-like oxidized low-density lipoprotein receptor</i>
LPS	lipopolysacharid



MAMP	<i>microbe-associated molecular patterns</i>
MPO	myeloperoxidáza
MWCNT	vícetěnné uhlíkové nanotrubičky ( <i>multi-walled carbon nanotubes</i> )
MWCNT-PVP	mnohovrstvé uhlíkové nanotrubičky funkcionalizované polyvinylpyrrolidonem
MWCNT-TEPA	MWCNT funkcionalizované tetraetylenpentaminem
NCI-H322	nemalobuněčný bronchoalveolární karcinom
NCM460	epitelové buňky tlustého střeva
ND	nanodiamanty
NET	extracelulární neutrofilové pasti ( <i>neutrofil extracellular traps</i> )
NF- $\kappa$ B	<i>nuclear factor kappa-light-chain-enhancer of activated B cells</i>
NHBE	normální lidské bronchiální epitelové buňky
NHDF	lidské dermální fibroblasty
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
NIR	blízké infračervené záření
NKR-52E	kryší epitelové buňky ledvin
NLR	<i>NOD-like receptor</i>
NLRP3	<i>NOD-like receptor family pyrin domain containing 3</i>
NOD	<i>nucleotide-binding oligomerization domain</i>
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
Ox-MWCNT	oxidované MWCNT
PAMP	<i>pathogen-associated molecular patterns</i>
PEG	polyethylenglykol
PEG-MWCNT	polyethylenglykolované MWCNT
PRR	<i>pattern recognition receptors</i>
PTEN	homolog fosfatázy a TENSinu ( <i>phosphatase and TENsin homolog</i> )
RES	retikuloendoteliální systém
rGO	redukovaný GO
RhE	SkinEthic™ model rekonstruované lidské epidemirs
ROS	volné kyslíkové radikály ( <i>reactive oxygen species</i> )
RPE	retinální pigmentový epitel
RTG	rentgenové záření
SAEC	epitelové buňky nižších etází dýchacích cest ( <i>small airway epithelial cells</i> )
sFLG	malý vícevrstevný grafen ( <i>small few-layer graphene</i> )
SLGO	jednovrstvý grafen oxid ( <i>single-layer graphene oxide</i> )
SOD1	superoxiddismutáza
SWCNT	jednovrstvé uhlíkové nanotrubičky ( <i>single-wall carbon nanotubes</i> )
TGF	<i>transforming growth factor</i>
TGFB1	transformující růstový faktor $\beta$ ( <i>transforming growth factor <math>\beta</math></i> )
TLR	<i>Toll-Like Receptor</i>
T-MWCNT	dispergované Tweenem-80
TNF	<i>tumor necrosis factor</i>
VCAM-1	solubilní vaskulární buněčné adhezni molekuly 1 ( <i>vascular cell adhesion molecule</i> )
VEGF	vaskulární endotelový růstový faktor
Vero	buněčná linie epitelialních buněk ledvin z afrického kočkodana zeleného
ZO-1	zonula occludens-1