

## ZDRAVOTNÍ RIZIKA RTUŤI ZE ZUBNÍCH AMALGÁMŮ

MILAN TUČEK<sup>a</sup>, VLADIMÍR BENCKO<sup>b</sup>  
a SVATOPLUK KRÝSL<sup>c</sup>

<sup>a</sup> *Klinika nemocí z povolání I.LF UK a VFN, Na Bojišti 1, 120 00 Praha 2, <sup>b</sup> Ústav hygieny a epidemiologie, I.LF UK a VFN, Studničkova 7, 120 00 Praha 2, <sup>c</sup> Zdravotní ústav se sídlem v Plzni, pobočka Klatovy, Plzeňská 165, 339 01 Klatovy II*

Došlo 6.6.06, přepracováno 1.2.07, přijato 21.6.07.

Klíčová slova: amalgám, rtuť, expozice, biologické monitorování, zdravotní rizika

### Obsah

1. Úvod
2. Profesionální expozice rtuti ve stomatologii
3. Expozice rtuti u pacientů ošetřených zubním amalgámem
4. Alergie na rtuť
5. Praktická opatření ke snížení rizika expozice rtuti z dentálních amalgámů
6. Závěry

### 1. Úvod

Současnými hlavními zdroji expozice populace rtuti je elementární rtuť ze zubních amalgámových výplní a methylhydrargyriové sloučeniny ( $\text{CH}_3\text{HgR}$ ) v potravinách<sup>1</sup>. Průměrný denní příjem elementární rtuti ze zubních amalgámových výplní se odhaduje od 3 do 17  $\mu\text{g}/\text{den}$  v závislosti na počtu výplní<sup>2</sup>. Zubní amalgám je materiál ze slitiny stříbra, cínu a mědi míchané těsně před aplikací se rtutí v poměru přibližně 1:1. Značný obsah rtuti v zubním amalgámu vedl v minulosti a vede v současnosti ke snahám o jeho vytlačení ze stomatologické praxe. Hlavním argumentem proti amalgámům je rtuť uvolňovaná z výplní v průběhu expozice<sup>3</sup>. První amalgám v Evropě se objevuje zřejmě již mezi léty 1500 a 1513, jeho používání ve stomatologii se datuje od 1. poloviny 19. století<sup>4</sup>. Ve druhé polovině minulého století byla v USA vedena tzv. „první amalgámová válka“, která měla zamezit šarlatánům používat tuto jednoduchou techniku; tehdejší amalgám uvolňoval velké množství rtuti, což se projevovalo u některých pacientů závažným ústupem chronického onemocnění po odstranění amalgámových výplní. „Druhá amalgámová válka“ začala v Německu a byla zahájena upozorněním německého chemika

Alfreda Stocka na fakt, že rtuť se kontinuálně uvolňuje z výplní, což může být spojováno s některými symptomy nemocí. Od počátku 80. let minulého století byla zveřejněna řada studií prokazujících, že amalgámová výplň podléhá korozi a stává se tak důležitým zdrojem expozice iontovým formám rtuti ( $\text{Hg}^{2+}$  a  $\text{Hg}_2^{2+}$ ) a rtuťovým parám ( $\text{Hg}^0$ ) (cit.<sup>5</sup>). Ojediněle byl prokázán vznik dimethylrtuti v ústní dutině pokusy *in vitro*<sup>6</sup> a *in vivo*<sup>7</sup>. Žvýkání nebo čištění zubů mohou zvýšit několikanásobně rychlost uvolňování rtuti z amalgámu<sup>8</sup>.

Spotřeba rtuti v zubních amalgámech v zemích Evropské unie dosáhla 110 tun v roce 1990 a poklesla na 70 tun v roce 2000 (v Polsku, České republice a ve Slovinsku představovala 20 tun v roce 2000)<sup>9</sup>.

Tato práce hodnotí zdravotní rizika používání rtuti ve stomatologii ze dvou hlavních pohledů – profesionální expozice rtuti u stomatologických pracovníků při práci se zubním amalgámem a expozice rtuti u pacientů ošetřených amalgámovými zubními výplněmi. Článek uvádí možnosti dalšího používání zubního amalgámu ve stomatologii v souvislosti s probíhající diskusí o jeho omezení až zákazu.

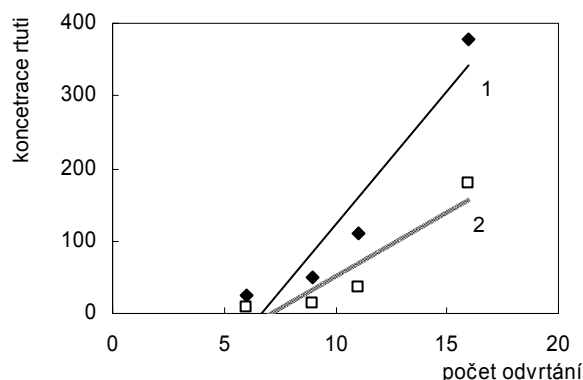
### 2. Profesionální expozice rtuti ve stomatologii

Profesionální expozici rtuti při zpracování amalgámu u stomatologických pracovníků (stomatologů, instrumentářek, zdravotních sester) bylo věnováno mnoho prací<sup>5,10,11</sup>. V úvahu přichází inhalační, případně perkutánní expozice rtuti při odstraňování starých amalgámových výplní a při jejich přípravě, aplikaci a broušení. Vedle těchto standardně prováděných úkonů však zůstává možnost náhodné kontaminace prostředí ordinace při závažné manipulaci se zubním amalgámem. Publikovány byly především údaje o koncentraci rtuti v ordinacích. V rozsáhlé švédské studii<sup>12</sup> zahrnující měření koncentrace rtuti ve 167 ordinacích a 83 sterilizačních místnostech přesáhly koncentrace hodnotu 150  $\mu\text{g m}^{-3}$  u 7 ordinací a u 2 sterilizačních místností, v průměru však nepřesáhly koncentraci 25  $\mu\text{g m}^{-3}$  v dýchací zóně. Průměrná koncentrace rtuti v tuzemských stomatologických ordinacích během 18 pracovních dnů byla v dýchací zóně stomatologa 25,1  $\mu\text{g m}^{-3}$  a u sestry 20,5  $\mu\text{g m}^{-3}$  (cit.<sup>13</sup>). Při použití speciálního pasivního dozimetru byla elementární rtuť zachycená v sorpčním loži navýšena o elementární rtuť zachycenou ve formě aerosolu ve vnější části difuzní zóny dozimetru, neboť po odpaření vody z jejího povrchu se odpařila  $\text{Hg}^0$  a vlivem difuze se dostala do sorpčního lože (maximální navýšení o 20 %). Za extrémních pracovních podmínek (18 odvrtní) bylo dosaženo vysoké koncentrace 180  $\mu\text{g m}^{-3}$  rtuti v pracovním ovzduší. I při poměrně vysokém počtu 11 odvrtní je však možné dosáhnout příznivějších koncentrací celkové rtuti

v ovzduší stomatologických pracovišť, a to až o 2 řády nižších (průměrné hodnoty  $2,2 \mu\text{g m}^{-3}$  u lékaře, resp.  $3,0 \mu\text{g m}^{-3}$  u sestry při pětihodinovém osobním odběru ovzduší). Páry kovové rtuti se chovají jako plyn rovnoměrně distribuovaný v ovzduší stomatologické ordinace, protože v nepoužívaném prostoru ordinace byl stacionárním odběrem zjištěn prakticky totožný nález koncentrace  $2,3 \mu\text{g m}^{-3}$  rtuti v ovzduší<sup>5</sup>.

Výsledky sledování expozice stomatologických pracovníků pasivním dozimetrem při odvrátání starého amalgámu nebo jeho broušení potvrzují smíšený fyzikálně-chemický charakter expozice. Zhodnocením nalezených objemových (elementární rtuť) a plošných (aerosol s Hg) koncentrací u stomatologa i u sestry byla zjištěna významná regresní závislost mezi plošnou, resp. objemovou koncentrací a počtem odvrátání u stomatologa ( $R^2=0,856$ , resp.  $0,908$ ) (obr. 1), méně významná u sestry; tento trend byl pozorovatelný i mezi plošnou, resp. objemovou koncentrací a počtem nových amalgámových výplní ( $R^2=0,357$ , resp.  $0,362$ ). Potvrzen byl trend vyšší expozice u stomatologa než u sestry a odlišné plošné a objemové koncentrace u stomatologa a u sestry. Závislost míry expozice na počtu nových výplní nebyla potvrzena u sestry (lze zde předpokládat možnost kontaminace připravovaným amalgámem), což svědčí o dobrém způsobu použití moderních technických pomůcek při přípravě amalgámu. Expozice u sestry je významná především cestou inhalace elementární rtuti, která se šíří ordinací především difuzí, na rozdíl od konvektivního šíření aerosolu zasahujícího především stomatologa, resp. pacienta.

Stanovení obsahu rtuti v biologickém materiálu významně napomáhá při zhodnocení expozice rtuti. Dlouhodobým tuzemským sledováním profesionální expozice stomatologických pracovníků bylo zjištěno, že 49 % analyzovaných vzorků moče (788) sester, laborantek a stomatologů mělo nálezy v rozpětí  $50\text{--}199 \text{ nmol l}^{-1}$  ( $10\text{--}39 \mu\text{g l}^{-1}$ ). Hodnoty biologického limitu rtuti v moči platného pro profesionálně exponované osoby ( $500 \text{ nmol l}^{-1}$ , tj.  $100 \mu\text{g l}^{-1}$ )



Obr. 1. Celosměnná expozice lékaře v závislosti na počtu odvrátaných amalgámových výplní, (1)  $\blacklozenge$  plošná koncentrace ( $\mu\text{g m}^{-2}$ ),  $R^2 = 0,908$ , (2)  $\blacksquare$  koncentrace v ovzduší ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ),  $R^2 = 0,856$

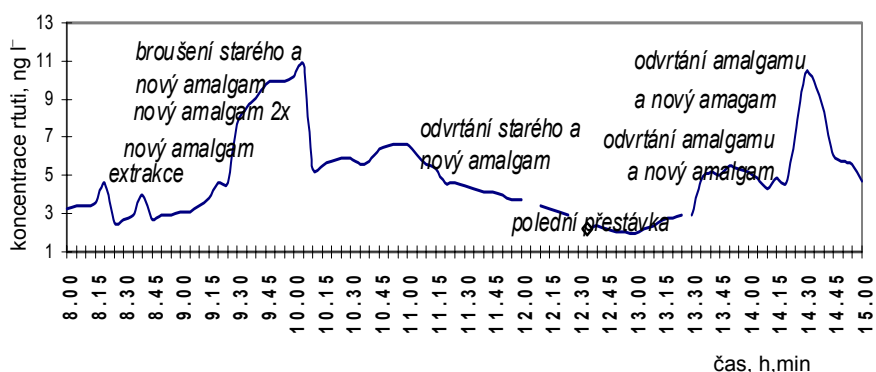
bylo dosahováno jen ojediněle, a to pouze u sester a laborantek u 1,9 % vzorků. Přestože vlasy jsou považovány především za ukazatel expozice dimethylrtuti<sup>14,15</sup>, lze jich využít ke stanovení celkového obsahu rtuti i u stomatologických pracovníků; většina analyzovaných vzorků vlasů (96 % u sester a laborantek, 95 % u stomatologů) měla nálezy do  $10 \mu\text{g g}^{-1}$  celkové rtuti. Nálezy u české profesionálně neexponované populace jsou v řádu desetin  $\mu\text{g g}^{-1}$  celkové rtuti.

Sledování expozice stomatologů a sester v tuzemsku přineslo vcelku jednoznačný závěr o vyšší expozici stomatologů oproti sestřám a o kritickém stomatologickém úkonu z hlediska expozice, tj. odstraňování amalgámové vložky odvrátáním resp. broušením. Tento závěr dokumentuje i časový snímek pořízený kontinuálním měřením koncentrace rtuťových par (obr. 2). Nástupem nové techniky v zubolékařské praxi došlo v tomto ohledu k významnému posunu z hlediska expozice rtuti, kdy rizikovou operací bylo též míchání amalgámu, resp. manipulace s kůžičkou na míchání amalgámu, což vedlo dříve k významné expozici stomatologických sester<sup>16</sup>.

### 3. Expozice rtuti u pacientů ošetřených zubním amalgámem

V současnosti jsme svědky základní změny v posuzování potenciálních rizik spojených s expozicí rtuti ze zubního amalgámu zejména pro pacienta. Jde zejména o škodlivé účinky zubního amalgámu na ledviny a neuropsychologické účinky u dětí studované testováním paměti, pozornosti a koncentrace, motorických a vizuálně motorických funkcí měřením rychlosti vedení nervových podnětů<sup>17,18</sup>. V roce 1995 Evropská komise vytvořila pracovní skupinu, která měla analyzovat situaci ve využívání zubního amalgámu a podat závěry a doporučení pro jeho další použití<sup>19</sup>. Ve Švédsku a v Německu byly ustaveny již dříve podobné odborné komise, jejichž závěry vyzněly v neprospěch využití zubního amalgámu, pokud je dostupná jiná alternativní technika<sup>20</sup>. Manipulace se zubním amalgámovou výplní nebyla doporučena u těhotných žen. V roce 1992 švédské medicínské výzkumné kolegium uspořádalo konferenci o potenciálních biologických důsledcích rtuti uvolněné ze zubního amalgámu, která dospěla k závěru, že nejsou dostupné údaje o systematickém vlivu zubního amalgámu kromě alergických reakcí na rtuťové zubní výplně, které jsou však velmi vzácné<sup>21</sup>. Výplně ze rtuťového zubního amalgámu představují významný zdroj chronické expozice rtuti u prakticky celé populace a speciální pozornost má být věnována nejen profesionální expozici rtuti při přípravě a aplikaci amalgámu, ale též nebezpečí alergizace rtuti a možnosti vzniku organických sloučenin rtuti v ústní dutině<sup>22</sup>.

Kromě absorpce rtuti inhalací v podobě par, pozitivním a kůží je popisována u potkanů absorpce retrográdním axonálním transportem centripetálně do těl nervových buněk<sup>2,23</sup>. Tyto výsledky vedly k domněnce o podílu rtuti



Obr. 2. Časový průběh koncentrace rtuti ve stomatologické ordinaci

Tabulka I

Koncentrace rtuti v biologickém materiálu a rychlost vylučování rtuti močí

Biologický materiál	Počet vzorků	Aritmetický průměr	Směrodatná odchylka	Minimum–maximum	Geometrický průměr	95%-ní interval spolehlivosti pro geometrický průměr	
<i>Koncentrace rtuti v moči [<math>\mu\text{g l}^{-1}</math>]</i>							
M0	82	5,72	10,12	0,04–78,50	2,60	2,33–2,88	
M1	74	4,21	12,72	0,10–110,30	2,05	1,82–2,27	
M2	70	2,95	4,58	0,10–36,40	1,84	1,62–2,06	
M3	48	3,61	2,77	0,33–11,73	2,57	2,32–2,57	
<i>Koncentrace rtuti ve slině [<math>\mu\text{g l}^{-1}</math>]</i>							
S0	81	40,81	109,10	1,01–703,00	14,80	11,32–9,37	
S1	81	4892,49	24056,40	32,00–204560,00	484,40	329,30–712,70	
<i>Koncentrace rtuti v krvi [<math>\mu\text{g l}^{-1}</math>]</i>							
K0	81	0,97	0,85	0,00–4,13	0,72	0,59–0,88	
K1	81	1,27	0,94	0,00–4,92	0,98	0,84–1,17	
<i>Koncentrace rtuti ve vlasech [<math>\mu\text{g g}^{-1}</math>]</i>							
V	81	0,38	0,24	0,11–1,48	0,32	0,21–0,44	
<i>Rychlost vylučování rtuti močí [<math>\mu\text{g h}^{-1}</math>]</i>							
Biologický materiál	Počet vzorků	Doba sběru moče [h]	Aritmetický průměr	Směrodatná odchylka	Minimum–maximum	Geometrický průměr	95%-ní interval spolehlivosti pro geom. průměr
M0	82	2,0±0,0	0,12	0,22	0,01–1,81	0,06	0,05–0,08
M1	72	7,7±2,7	0,22	0,48	0,04–4,02	0,11	0,07–0,14
M2	68	9,4±3,9	0,14	0,27	0,00–1,85	0,07	0,05–0,09
M3	45	7,8±2,5	0,17	0,16	0,01–0,69	0,11	0,08–0,15

Krev K0, sliny S0, moč M0, vlasy V – odběry před zákrokem; krev K1, sliny S1 – odběry 4 hodiny po zákroku; moč M1, moč M2, moč M3 sbírána po zákroku po uvedenou dobu.

na etiopatogenezi některých případů onemocnění motorického neuronu, např. amyotrofické laterální sklerózy.

Halbach a spol.<sup>24</sup> ve své práci na 29 dobrovolnících s nízkou amalgámovou zátěží sledovali kombinací různých parametrů přenos rtuti z výplně přes ústní dutinu a krev do moče. Uzavírají, že stanovení rtuti v plasmě a rychlost jejího vylučování do moče je nevhodnější cestou pro určení příjmu rtuti z amalgámu. Vrchol obsahu rtuti v plasmě (v průměru  $0,6 \text{ ng l}^{-1}$ ) po odstranění amalgámových výplní klesal s poločasem mezi 5 a 13 dny a signifikantního poklesu exkrece rtuti nebylo dosaženo dříve než za 100 dní po odstranění výplně. Průměrná koncentrace rtuti v celé krvi dobrovolníků byla  $0,96 \text{ ng ml}^{-1}$ .

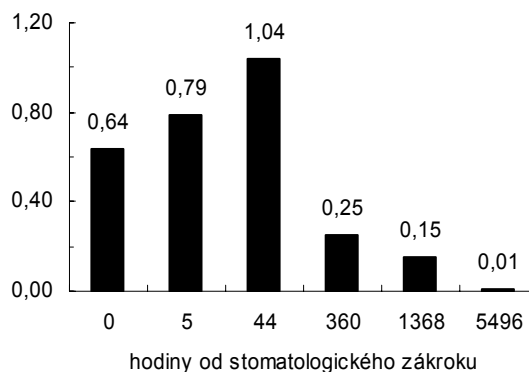
V tuzemské studii<sup>13</sup> na 83 testovaných osobách se ošetření jedinou amalgámovou výplní odrazilo ve zvýšeném obsahu rtuti ve slinách po cca 4 hodinách po ošetření amalgámem, nárůst byl oproti stavu před ošetřením 32,7 násobný ( $P < 0,001$ ). Vzestup obsahu celkové rtuti v krvi byl po ošetření 1,4 násobný ( $P < 0,001$ ), prokázán byl i 1,8 násobný nárůst rychlosti vylučování rtuti do moče v období cca 1,1 až 8,8 hodiny po ošetření ( $P = 0,01$ ), který byl následován návratem rychlosti vylučování na zhruba původní úroveň (tab. I). V porovnání s výsledky studie na 20 000 sledovaných osobách z Německa<sup>8</sup> byly zjištěny shodné hodnoty „normálního“ obsahu rtuti ve slinách (zjištěný medián  $11,8 \mu\text{g l}^{-1}$  oproti literárnímu  $11,6 \mu\text{g l}^{-1}$ ; žvýkáním se tato koncentrace zvýšila cca 2,5krát). Závislost koncentrace rtuti ve slinách na počtu amalgámových výplní se však nepodařilo prokázat. Hladiny rtuti v séru korelují s počtem amalgámových výplní<sup>7,8</sup>.

Krauß a spol.<sup>8</sup> upozorňují, že tolerovatelný týdenní příjem rtuti z potravy, vzduchu, tekutin a slin  $300 \mu\text{g}$  stanovený WHO jako PTWI (provisional tolerable weekly intake) překračuje kolem 30 % německé populace. WHO stanovila denní příjem rtuti mezi  $10,6$  až  $27,7 \mu\text{g}$ , zatímco podle Krauße<sup>8</sup> jsou uváděny v literatuře hodnoty vyšší (denní zátěž i vyšší než  $45 \mu\text{g}$ , z toho  $22 \mu\text{g}$  rtuti z potravy, vdechovaného vzduchu a pitné vody; denní zátěž rtuti z amalgámových výplní se pohybuje kolem  $20 \mu\text{g}$ ). Německá společnost pro farmakologii a toxikologii stanovila zátěž rtuti ze zubního amalgámu nejvýše  $8 \mu\text{g}$  denně. Rtuť ze zubního amalgámu představuje tedy kolem 47 % denní zátěže organismu rtutí.

Elementární rtuť ( $\text{Hg}^0$ ) je rychle enzymaticky oxidován v krvi a komplexní oxidační procesy probíhají též ve slinách a vedou ke vzniku iontů  $\text{Hg}^{2+}$ . Tyto ionty tak mohou být vytvářeny ve slinách jak elektrochemickou korozí, tak postupnou oxidací iontů  $\text{Hg}^0$ . Následnými reakcemi v organismu jsou tvorba komplexů  $\text{Hg}^{2+}$  s SH-skupinami proteinů slin, redoxní reakce mezi  $\text{Hg}^0$  a proteiny obsahujícími síru a také methylace.

#### 4. Alergie na rtuť

Ve vztahu k expozici rtuti byly popsány glomerulopatie a autoimunitní onemocnění. Alergická reakce I. typu na



Obr. 3. Časová závislost koncentrace rtuti v krvi po odstranění amalgámových výplní (34letá žena s alergií na rtuť)

rtuť je velmi vzácná a byla popsána ojedinele po zhotovení amalgámové výplně i po parenterální aplikaci vakcíny obsahující rtuť v jejím stabilizátoru.

Hypersenzitivní reakce na rtuť popisované většinou jako reakce IV. typu (oddálený typ přecitlivělosti) se vyznačují celkovými příznaky (mohou být doplněny symptomy v ústech nebo mohou chybět), vyrážkou na tváři, krku a ve flexních rýhách končetin několik hodin po kontaktu s alergenem (vzácně také po zhotovení nové amalgámové výplně, reakce po 10–14 dnech odezní) nebo nespecifickým poškozením v ústech označovaným lichen ruber planus (u přecitlivělosti na rtuť i po aplikaci preparátů obsahujících soli zlata). Na velmi vzácnou možnost kontaktní kožní a slizniční alergie typu IV upozorňuje i doporučení Německé společnosti pro pracovní prostředí a medicínu prostředí<sup>27</sup>. Má se za to, že přecitlivělost na rtuť je poměrně vzácná a objevuje se u 1–4 % obecné populace.

Záchyt potenciálních alergií lze zvýšit využitím speciálního dotazníku s následným vyšetřením krve *in vitro* využitím testu MELISA (Memory Lymphocyte Immunostimulation Assay)<sup>28,29</sup>.

Přecitlivělost na rtuť zprostředkovaná T lymfocyty byla demonstrována na řadě klinických případů<sup>30</sup>. Je popsána kontaktní dermatitida u dělníků exponovaných thiomersalu, která je spojována s polymorfismem glutathion-S-transferasy (GSTT1 a GSRM1)<sup>31</sup>. Vztah mezi rtutí ze zubních amalgámů a řadou neurologických onemocnění jako roztroušenou mozkomíšni sklerózou může být podle Reynoldse, Stejskalové a Griesz-Brissona (2006, nepublikovaná informace) podceněn pro zvažování pouze tradičních toxikologických mechanismů, které neberou v úvahu diverzitu fenotypu.

U jednoho z případů lze dokumentovat změny obsahu rtuti v biologickém materiálu po postupném odstraňování amalgámových výplní<sup>32,33</sup> (obr. 3). Časový vývoj koncentrace rtuti v krvi pacientky s prokázanou alergií na rtuť po postupném odstranění 15 amalgámových výplní má shodný trend jako uvádějí Halbach a spol.<sup>24</sup>. Počáteční nárůst je

sledovaný pozvolným poklesem na hladinu podstatně nižší než při přítomnosti amalgámových výplní. Toto zjištění rovněž potvrzuje, že přítomnost amalgámových výplní je nezanedbatelným zdrojem trvalého příjmu rtuti do organismu a každý zásah do starých výplní vede k přechodnému znatelnému zvýšení hladiny rtuti v krvi.

Kritickým zhodnocením nejnovější studie<sup>17</sup> lze dospět k závěru, že nebyla prokázána nebezpečnost rtuti z amalgámových výplní pro ošetřené pacienty; k takovému závěru by bylo zapotřebí daleko většího počtu sledovaných osob.

## 5. Praktická opatření ke snížení rizika expozice rtuti z dentálních amalgámů

Poznání bližšího charakteru expozice stomatologů umožňuje lépe hodnotit způsob osobní ochrany při práci. Běžně jsou používány roušky a štíty, někdy se ovšem pracuje bez jakékoliv ochranné pomůcky. Ochrana před elementární rtutí při použití štítu je méně účinná (cca dvojnásobné snížení koncentrace  $\text{Hg}^0$ ) než před aerosolem s obsahem rtuti (až dvacetinásobné snížení koncentrace  $\text{Hg}^0$ ). Celosměnné použití roušky signalizuje problém její kontaminace rtutí z aerosolu (až jednotky  $\mu\text{g Hg cm}^{-2}$ ), která se pak stává zdrojem sekundární expozice parám rtuti. Účinně se lze chránit pomocí štítu v kombinaci s použitím roušky, je tím zamezeno její kontaminaci. Roušku je však nutné často vyměňovat, nejlépe po každém odvtáření amalgámové výplně. Další možností snížení expozice rtuti ve stomatologické ordinaci je použití čističů vzduchu. Problém představuje uvolnění rtuti z filtru při spuštění čističe; rtuť je zde přítomna v tuhé fázi jako kovová rtuť sorbovaná na prachových částicích nebo v částicích zubního amalgámu a vlivem tenze páry je uvolňována do ovzduší<sup>5,13</sup>.

S ohledem na účinky rtuti a jejich forem je proto nutno s maximální opatrností vážit nutnost zásahu do starých výplní a aplikaci amalgámových výplní vůbec, zejména u těhotných žen a žen plánujících početí. Nezbytnost těchto stomatologických zákroků musí být velmi odpovědně individuálně posuzována, a to i u osob s onemocněními nervové soustavy nebo ledvin. U jedinců s prokázanou alergií na rtuť je vhodným řešením odstranění amalgámových výplní pokud možno s využitím moderních přístupů (kaučuková zábrana). Z důvodu udávané snazší koroze neleštěných amalgámových výplní je žádoucí aplikované výplně vždy následně vyleštit.

Kritickými úkony z hlediska expozice rtuti pro pacienta jsou odvtáření a broušení starého amalgámu, kdy rtuť přechází do vodného i plynného prostředí. Kontaminované prostředí pro pacienta – ústní dutina – je stejně nebezpečné jako pracovní prostředí stomatologa, tj. ovzduší v jeho ordinaci při prováděném úkonu. Odstraňování starého amalgámu vede k vzniku velmi jemného vodného aerosolu (60–70 % kapének je menších než  $1 \mu\text{m}$ ) obsahujícího elementární i dvojjazvou rtuť, ale též velmi malých částic zubního amalgámu o velikosti  $1\text{--}7 \mu\text{m}$ , které mohou

být též součástí vodného aerosolu, neboť v něm mají minoritní zastoupení i částice větší než  $1 \mu\text{m}$ . Obsah rtuti v tuhé fázi a v iontové formě je cca 67 %, zbývající rtuť je elementární a vyskytuje se jak v plynné, tak kapalné fázi. Sekundárním zdrojem elementární rtuti mohou být i částice zubního amalgámu, z kterých se elementární rtuť odpařuje vzhledem ke své tenzi par.

Oxidací elementární rtuti na oxid rtuťnatý nelze za běžných podmínek v ovzduší předpokládat. Podle některých autorů<sup>8</sup> lze předpokládat, že elementární rtuť zůstává částečně v tomto stavu, i když je převedena do vodné fáze. Tento předpoklad byl potvrzen Krýslem a Tučkem<sup>13</sup>, neboť aerosol obsahoval asi 20 % elementární rtuti. Při odvtáření amalgámové slitiny probíhají však i oxidační děje, které vedou ke vzniku  $\text{Hg}^{2+}$  (poměr koncentrací  $\text{Hg}^0/\text{Hg}^{2+} = 1,8$ ). Předpoklad o stabilitě elementární rtuti neplatí též pro biologické tekutiny (krev, sliny). Zde je  $\text{Hg}^0$  rychle oxidována přítomnými enzymatickými systémy. Průkaz byl proveden ve slinách v případě elementární rtuti pocházející z amalgámové výplně již dříve<sup>4</sup>, když byla zjištěna přítomnost  $\text{Hg}^{2+}$ . Vyšší a méně stabilní oxidační stav rtuti umožňuje řadu následných reakcí včetně methylace rtuti<sup>6,7</sup>.

Osud dvojjazvé rtuti přítomné ve vodném aerosolu ve stomatologické ordinaci není jistě tak dramatický. Pitná voda používaná většinou pro chlazení při odvtáření nebo broušení neumožňuje její následné reakce. Ion  $\text{Hg}^{2+}$  přítomný v jemné mlze s nízkou disperzí kapiček je však spolu s ostatními formami rtuti inhalován, přičemž nelze opomenout možnost expozice sliznic a kůže.

## 6. Závěry

Zubní amalgám je používán v lidské populaci více než 150 let a otázka jeho vlivu na zdraví je stále diskutována. Pravidelné žvýkání a obrušování zubů stimuluje uvolnění rtuti ve formě jejích par z povrchu zubního amalgámu, je uváděno rozpouštění zubního amalgámu ve slinách a jeho přítomnost ve vzduchu v ústní dutině. Stále není spolehlivě stanovena denní dávka inhalovaných par rtuti.

Současné expozice stomatologických pracovníků nepřekračují přijatelnou míru rizika a jsou pod biologickým limitem pro rtuť v moči platným pro profesionálně exponované osoby (dosahují hladin v průměru několika desítek  $\mu\text{g l}^{-1}$  v moči), mohou však být provázeny krátkodobými excesy koncentrace rtuti (v elementární i iontové formě) v pracovním ovzduší, zejména při broušení a leštění amalgámových výplní, někdy za problematického dodržování hygienických zásad při práci, především v souvislosti s používáním osobních ochranných pomůcek.

Přestože současná používaná technika přípravy amalgámu je bezpečná z hlediska ochrany zdraví stomatologů, zvýšené míře expozice parám rtuti a aerosolu obsahujícím elementární a iontovou rtuť, resp. jemným částicím amalgámu jsou vystaveni stomatologové především při odvtáření a broušení amalgámových výplní. Odstraňování starého amalgámu vede k vzniku velmi jemného vodného aerosolu (60–70 % kapének je menších než  $1 \mu\text{m}$ ) obsahující

ho elementární i dvojjaznou rtuť (při odvrtávání amalgámu probíhají též oxidační děje, které vedou ke vzniku  $\text{Hg}^{2+}$  – poměr koncentrací  $\text{Hg}^0/\text{Hg}^{2+} = 1,8$ ), ale též velmi malých částic zubního amalgámu o velikosti 1–7  $\mu\text{m}$ . Obsah rtuti v částicích amalgámu vodného aerosolu a v iontové formě ( $\text{Hg}^{2+}$ ) je cca 67 %, zbývající rtuť je elementární a vyskytuje se jak v plynné, tak kapalně fázi (cca 20 % celkové elementární rtuti). Tyto zjištěné výsledky jsou možným základem pro výzkum sledování biotransformace rtuti v ústní dutině a jejího dalšího osudu v organismu ošetřeného pacienta.

K minimalizaci profesionální expozice rtuti ve stomatologii lze doporučit používání ochranných štítů v kombinaci s rouškou především při odvrtávání a broušení amalgámové výplně, častou výměnu ochranné roušky, resp. pracovního oděvu, používání dávkovaného amalgámu a spolehlivých amalgámátorů, používání účinných čistících vzduchu se speciální vložkou pro záchyt rtuti a důsledné uchovávání odstraněných výplní pod vodní hladinou v uzavřených nádobách

Aplikace byt' jediné amalgámové výplně vede k průkaznému zvýšení obsahu rtuti bezprostředně ve slinách a v krvi s maximem za 4 až 5 h po ošetření. Důsledkem této aplikace je významně zvýšená exkrece rtuti do moče s maximem do 8 h po ošetření. Je proto třeba zvažovat nezbytnost aplikace amalgámových výplní přes jejich nesporné výhody (cena a vlastnosti, zejména zvětšování objemu při tuhnutí) při stomatologických ošetřeních zejména u nervově nemocných, u osob s onemocněními ledvin, u těhotných žen a u žen zvažujících těhotenství. Veškeré amalgámové výplně nutno vyleštit a tím minimalizovat riziko jejich koroze v ústech.

Vhodné je sledování alergizace na kovy s prověřením kontrolní skupiny osob, která je exponována rtuti pouze prostřednictvím zubního amalgámu. Stanovení kontrolní skupiny osob, která by nebyla vůbec exponována rtuti, je nereálné, protože podíl osob bez zubního amalgámu je v civilizované lidské populaci velmi nízký.

Žádoucí je prohloubit a rozšířit dosavadní výsledky sledování rtuti ve vzduchu v ústní dutině a ve slinách v souvislosti s expozicí parám rtuti a s ošetřením zubů rtuťovým amalgámem. Tyto poznatky lze využít při diskusi výsledků testu MELISA<sup>®</sup>, protože lze předpokládat, že sledování koncentrace volné rtuti v ústní dutině v plynné i v kapalně fázi může významně korelovat s výsledky vyšetření imunostimulací paměťových lymfocytů.

Doporučit lze systematické sledování jednotlivých forem rtuti v dutině ústní a studium jejich vzájemné transformace se zvláštním zřetelem na možnost vzniku organických forem, sledování zdravotního významu krátkodobých excesů v koncentracích rtuti v pracovním ovzduší stomatologických ordinací a alergizace na rtuť a její sloučeniny.

## LITERATURA

1. Friberg L. (ed.): *WHO Environmental Health Criteria 101. Methylmercury*. World Health Organization, Geneva 1990.
2. Friberg L. (ed.): *WHO Environmental Health Criteria 118. Inorganic mercury*. World Health Organization, Geneva 1991.
3. Joska L., Marek M., Novák P.: *Čes. Stomat.* 98, 130 (1998).
4. Novák L., Půža V., Červinka M., Kolářová J.: *Čes. Stomatol.* 98, 137 (1998).
5. Tuček M.: *Čes. Prac. Lék.* 7, 26 (2006).
6. Heintze U., Edwardson S., Verand T., Birkhed D.: *Scand. J. Dent Res.* 91, 150 (1983).
7. Sellars W. A., Sellars R., Liang L., Hefley J. D.: *J. Nutr. Environ. Medicine* 6, 33 (1996).
8. Krauß P., Deyhle M., Maier K. H., Roller E., Weiss H. D., Clédon Ph.: *Toxicol. Environ. Chem.* 36, 1997.
9. Floyd P., Zarogiannis P., Crane M., Tarkowski S., Bencko V.: *Risk to Health and the Environment Related to the Use of Mercury Products. Final report prepared for The European Commission*. DG Enterprise, Norfolk 2002.
10. Cikrt M., Čábelková Z., Lukáš E., Urban P., Součková B., Volf J., Tuček M.: *Čes. Stomatol.* 92, 289 (1992).
11. Cikrt M., Čábelková Z., Součková B., Tuček M., Volf J.: *Prac. Lék.* 44, 162 (1992).
12. Nilsson B., Nilsson Br.: *Swed. Dent. J.* 10, 221 (1986).
13. Krýsl S., Tuček M.: *Závěrečná zpráva o řešení grantu reg.č.3523-3 IGA MZ ČR. MZ ČR, Praha, 1998*.
14. Berglund M., Lind B., Björnberg K. A., Palm B., Vatter M.: *Environ. Health* 4, 4 (2005).
15. Tobin J. D. (ed.): *Hair in Toxicology*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge 2005.
16. Čábelková Z., Šváblová K.: *Prakt. Zub. Lék.* 27, 142 (1979).
17. Bellinger D. C., Trachtenberg F., Barregard L.: *J. Am. Med. Assoc.* 295, 1775 (2006).
18. DeRouen T. A., Martin M. D., Leroux B. D.: *J. Am. Med. Assoc.* 295, 1784 (2006).
19. Arenholt-Bindslev D.: *Conference on Human Health Effects of Mercury Exposure, Tórshavn, 22–26 June 1997*, Book of Abstracts, str. 45.
20. Kauppi M.: *Heavy Metal Bulletin* 1, 4 (1997).
21. Sato K., Kusaka Y., Zhang Q., Yanagihara M., Ueda K., Morihiro H., Yasuo I., Mori T., Hirai T., Tomiyama T., Kazutada L.: *Allergology Int.* 46, 1 (1997).
22. Kennedy D. C.: *5th Int. Conference „Mercury As A Global Pollutant“, Rio de Janeiro, 1999*, Book of Abstracts, str. iv.
23. Schionning J. D.: *Acta Pathol. Microbiol. Immunol. Scaed.* 108, Suppl. 99, 5 (2000).

24. Halbach S., Kremers L., Willruth H., Mehl A., Welzl G., Wack F. X., Hickel R., Greim H.: *Environ. Res., Section A* 77, 115 (1998).
25. Clarkson T. W.: *Environ. Health Perspect.* 110, Suppl. 1, 11 (2002).
26. Clarkson T. W., Magos L., Myers G. J.: *N. Eng. J. Med.* 18, 1731 (2003).
27. Kraus P.: *Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed.* 38, 210 (2003).
28. Procházková J., Bártová J., Šterzl I., Kučerová H., Stejskal V.: *Čes. Stomatol.* 99, 200 (1999).
29. Stejskal V. D. M., Cederbrant K., Lindvall A., Forsbeck M.: *Toxic. In Vitro* 8, 991 (1994).
30. Prochazkova J., Sterzl I., Kucerova H., Bartova J., Stejskal V. D. M.: *Neuroendocrinol. Lett.* 25, 211 (2004).
31. Westphal G. A., Schnuch A., Schultz T. G.: *Int. Arch. Occupat. Environ. Health* 73, 384 (2000).
32. Tuček M., Krýsl S.: *Conference on Human Health Effects of Mercury Exposure, Tórshavn, 22–26 June 1997. Book of Abstracts*, str. 102.
33. Tuček M., Krýsl S.: *Toxicology Lett.* 95, Suppl. 1, 91 (1998).

**M. Tuček<sup>a</sup>, V. Bencko<sup>b</sup>, and S. Krýsl<sup>c</sup>** (<sup>a</sup> *Clinic of Occupational Diseases, First Faculty of Medicine, Charles University, Prague*, <sup>b</sup> *Institute of Hygiene and Epidemiology, First Faculty of Medicine, Charles University, Prague*, <sup>c</sup> *Institute of Public Health, Klatovy*): **Health Hazard of Dental Amalgams**

Mercury is one of the main components in dental fillings. The aim of the article is to assess the risk of the use of metallic mercury on the human health. The authors describe the exposure of stomatologists and nurses to Hg and nonoccupational exposure of patients to Hg from dental amalgams. The Hg concentration in the atmosphere depends on the phase of the amalgam preparation and handling, but the occupational exposure is acceptable as a whole. Application of amalgam fillings manifested itself by an enormous growth of Hg content in saliva and blood. The correlations are discussed between the Hg content in biological materials and special aspects of the use of amalgam fillings, in particular Hg sensitization and possible alkylation of mercury in mouth. The current Hg exposures of the stomatological staff in the Czech Republic do not exceed the acceptable hazard. Recommendations for minimization of the Hg exposure in stomatological practice are given.