

PACHOVÁ STOPA PROFESORA Z CHEMICKÝCH LISTŮ

Věnováno prof. RNDr. Jiřímu Barkovi k jeho 75. narozeninám.

ULRIKA MALÁ^a, MARTIN ANDERS^b a ŠTĚPÁN URBAN^a

^a Ústav analytické chemie, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6, Česká republika,

^b Psychiatrická klinika I. LF UK a VFN v Praze, Česká republika

ulrika.sandra.mala@gmail.com

Došlo 5.9.24, přijato 1.10.24.

Nepředpokládáme, že by pan profesor Berek páchal trestnou činnost, ale pokud bychom jeho pachovou stopu přesto odebrali a provedli detailní chemickou analýzu, mohli bychom se přesvědčit o tom, že je to muž, že je europoidní rasy a případně zjistit, jaká v jeho žilách koluje krev, zda patří do skupiny A, B nebo 0. Pachová stopa je zdroj informací, který orgány činné v trestním řízení prostřednictvím speciálně cvičených psů používají pro individuální identifikaci již desítky let. Nyní je snaha vytvořit instrumentální metodu pro detailní chemickou analýzu pachové stopy tak, aby pachová identifikace mohla být objektivizována a používána jako důkazní prostředek a samozřejmě, aby poskytovala řadu dalších informací o poskytovateli pachu.

Klíčová slova: forenzní olfaktorika, medicínální olfaktorika, olfaktorika, dvoudimenzionální plynová chromatografie, pachová stopa

Obsah

1. Úvod
2. Lidská pachová stopa
3. Forenzní olfaktorika a olfaktorika
4. Medicínální olfaktorika
5. Sorbenty pro odběr lidského pachu
6. Instrumentace
7. Závěr

1. Úvod

Pachová stopa je v řadě zemí používána orgány činnými v trestním řízení pro zjištění, zda byla daná osoba přítomna na určitém místě. K tomu se používá tzv. metoda pachové identifikace (MPI)¹, v rámci které speciálně cvičení policejní psi porovnávají pachové vzorky odebrané na místě činu s pachovými vzorky odebranými podezřelým a dalším osobám². Tato, tak zvaná olfaktorická metoda pachové identifikace, využívá jednak vynikající citlivost³ čichového ústrojí psů a jednak skutečnost, že tito speciálně cvičení psi jsou schopni se naučit rozeznávat tzv. individuální pachovou signaturu, tedy takovou část lidského pachu, o které se předpokládá, že je unikátní pro každého člověka^{4,5}. Tato pachová signatura je považována za geneticky podmíněnou⁶, z čehož vyplývá již zmíněná individualita. Naopak nevýhodou olfaktorické identifikace je určitá subjektivnost celého postupu, která je dána používáním psů

a související závislosti na jejich náladách, případnému vlivu psovodů a obecně okolí. Jinými slovy, i když budou pachové identifikace opakovány za stejných podmínek, nemusí být výsledky porovnávání identické. Z tohoto důvodu jsou v posledních letech vyvíjeny objektivní metody pro detailní chemickou analýzu pachových stop z místa činu⁶⁻⁹. Jedná se o tzv. olfaktoriku, která by měla využívat pokročilé metody analytické instrumentální chemie.

2. Lidská pachová stopa

Pojem lidská pachová stopa označuje skutečnost, že sloučeniny pachu konkrétní osoby jsou zanechány na určitém místě a logicky dávají toto místo do souvislosti s touto osobou. Pojem lidský pach je obvykle spojován s čichovým vjemem, který tyto sloučeniny vyvolávají a chemicky uvažující člověk, tedy i profesor Jiří Berek, si v této souvislosti vybaví v první řadě těkavé látky. Avšak obecně je tento pojem mnohem širší. V tomto článku se budeme zabývat pouze kožním pachem, tedy budeme uvažovat sloučeniny, které prochází pokožkou. Tento kožní pach obvykle lidé vnímají jen podprahově a to, co vytváří často nepříjemný čichový vjem, jsou až sloučeniny vzniklé degradací některých těchto látek mikroorganismy na povrchu kůže.

V policejní praxi se používá pojem „pachová signatura“, který vyjadřuje skupinu sloučenin v pachové stopě, které umožňují identifikaci jedince. Nedávné výzkumy prokázaly^{10,11}, že v jedné pachové stopě je několik tako-

vých pachových signatur, které se odlišují rozdílnou těkavostí, mluvíme o tzv. multiplicitě pachové signatury. Tyto studie^{10,11} také ukazují, že speciálně cvičení policejní psi používají pro identifikaci sloučeniny velmi málo těkavé látky, s vyšší molekulovou hmotností¹², jako jsou zejména estery vyšších mastných kyselin, vitaminy a steroly, které zůstávají na místě činu relativně dlouhou dobu a jejichž relativní koncentrace se mění minimálně.

V odorologické literatuře¹³ jsou sloučeniny lidského pachu děleny do tří, potažmo čtyř skupin, na primární, sekundární, terciární a kvartérní. Primární a sekundární pachové sloučeniny procházejí pokožkou. Primární část pachu je považována za geneticky determinovanou, přičemž relativní koncentrace těchto sloučenin jsou v dlouhodobém horizontu časově nejstabilnější. V rámci této skupiny je uvažována i již zmíněná pachová signatura. Nicméně časté výroky o neměnnosti primárního pachu jsou hluboce nesprávné, ať pro epigenetické změny DNA nebo pro degenerativní choroby (cukrovka, nádorová onemocnění, Parkinsonova choroba, Alzheimerova choroba, Huntingtonova choroba a jiná onemocnění neurodegenerativní povahy, včetně schizofrenie atp.). Sloučeniny sekundárního pachu jsou ovlivňovány hlavně aktuálním metabolizmem, infekcemi, duševní a fyzickou kondicí nositele. Závisí tak na stravě, užívaných léčivých přípravcích nebo potravních doplňcích, zdravotním a hormonálním stavu apod. Jak již bylo zmíněno, jde tedy také o transdermální sloučeniny ovšem ovlivněné mnoha faktory a vnějším prostředím. U terciární části pachu jde o sloučeniny, které jednak pochází z kosmetiky a z okolního prostředí, jako jsou například specificky významně zapáchající oblasti, jako nemocnice, benzínové pumpy, chemické laboratoře a podobně. Podstatné je, že terciární látky neprocházejí pokožkou dotyčné osoby, ale při kontaktu s jinými osobami mohou být přeneseny i transdermální sloučeniny, které prošly kůží jiných osob, tedy jejich primární a sekundární látky. V poslední době je uvažována i kvartérní skupina. Je tvořena metabolity mikroorganismů na povrchu kůže, které jsou tvořeny degradací látek s vyšší molekulovou hmotností pocházejících z lidského pachu, zejména působením kvasinek a bakterií, které vegetují obvykle v nevětraných vlhkých oblastech lidského těla¹⁴. Tyto sloučeniny často charakteristicky zapáchají. Je zřejmé, že hranice mezi jednotlivými skupinami lidského pachu nejsou ostré a vzájemně se překrývají, jde tedy spíše o formální dělení, které má umožnit hlubší pochopení podstaty lidského pachu.

3. Forenzní olfaktorika a olfaktronika

Individuální charakteristika lidského pachu, resp. jeho pachové signatury, je v řadě zemí světa využívána orgány činnými v trestním řízení v rámci forenzní praxe pro identifikaci osob, kdy pachová stopa může spojit konkrétní osobu například s místem činu. Pro tyto účely se dosud využívá olfaktorická metoda pachové identifikace (MPI), kdy speciálně cvičený policejní pes porovnává vzorek

pachové stopy z místa činu s pachovými vzorky podezřelých osob². Tato identifikace je používána jako operativně pátrací prostředek a její použití jako důkaz u soudu je ve většině zemí nepřijatelné vzhledem k její subjektivitě, nicméně v některých zemích, včetně České republiky, se používá jako podpůrný důkaz. S rozvojem pokročilých metod analytické chemie, kdy v latentním pachovém vzorku lze pozorovat desetitisíce pachových sloučenin, vzniká postupně olfaktronická analýza pachových stop, která má již objektivní charakter, a je statisticky vyhodnotitelná. Takto může forenzní olfaktronika doplnit stávající MPI, a tak vytvořit důkazní řetězec, který lze použít u soudu.

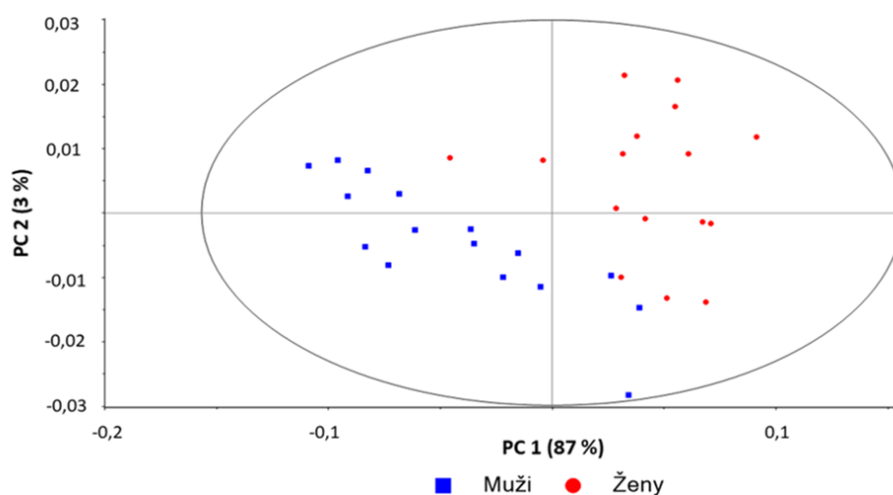
V rámci forenzní aplikace olfaktronické analýzy lidské pachové stopy je nejen evidentní individuální identifikace, ale zároveň bude možné využívat další forenzní potenciál olfaktroniky, který olfaktorika pomocí speciálně cvičených psů obvykle nenabízí. Jde především o skupinovou identifikaci. Vzhledem ke genetické a metabolické determinaci lidského pachu lze podle pachové stopy v budoucnu určovat např. pohlaví, etnický původ, krevní skupinu zůstavitele pachu a řadu dalších informací¹⁶. Samozřejmě z pohledu orgánů činných v trestním řízení, taková analýza konkrétní pachové stopy z místa činu povede buď přímo k určení jedince, který stopu zanechal, případně k podstatnému zúžení okruhu potenciálních podezřelých (viz obr. 1, 2, 3).

4. Medicinální olfaktronika

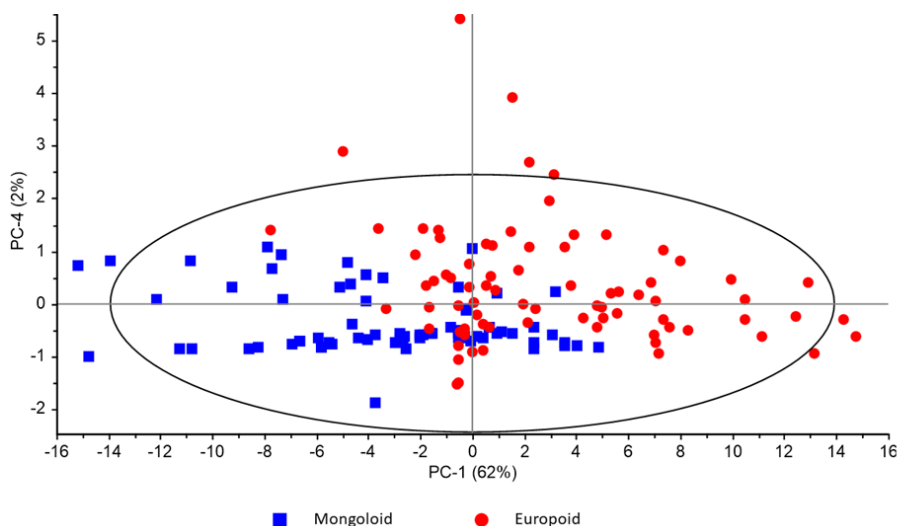
V souvislosti se skupinovou identifikací se ukazuje, že obrovský informační potenciál lidského pachu bude možné využívat i v lékařství například při neinvazivní pomocné diagnostice některých nemocí (viz obr. 4)^{15,19–21}. Předmětem olfaktronického výzkumu jsou především nádorová onemocnění. Principiální možnost neinvazivního vyšetření pachu by mohla přispívat ke včasnému zachytu těchto onemocnění tak, aby následná léčba byla po definitivním ověření nálezu co nejrychlejší, nejefektivnější a tím pádem byla doprovázena největší šancí na úspěch.

Vedle diagnostiky různých nádorových onemocnění se rozvíjí i výzkum olfaktronické diagnostiky psychických poruch, které jsou prakticky všechny doprovázeny neurodegenerativními procesy²². Může se jednat o neuropsychická onemocnění projevující se různorodými příznaky v oblasti pohybu anebo kognitivních funkcí jedince, například Parkinsonova a Huntingtonova choroba či jiné typy demencí, ale také o neurovývojová onemocnění s významnou neurodegenerativní složkou, které jsou dnes označovány jako schizofrenie, a kde věda stále hledá etiopatogenetické mechanismy, přičemž není stále vyloučeno neurotoxické působení různých látek²³. Neméně významnou kapitolou by se také mohlo stát hledání markerů či prediktorů odpovědi na léčbu v oblasti diagnostiky a léčby stále se rozšiřujících poruch nálad.

Tyto druhy chorob jsou často spojovány se změnami neurotransmitterových systémů podmíněných mutacemi DNA a výsledné produkty, které tyto mutace ovlivňují nebo přímo doprovázejí by měly být i skrze lidský pach



Obr. 1. PCA graf rozdělení lidského pachu na základě pohlaví muže a ženy. Hotellingova křivka pro hladinu významnosti 5 %. Pachové vzorky byly měřeny dvoudimenzionálním plynovým chromatografem s hmotnostním detektorem. Převzato z disertační práce¹⁷

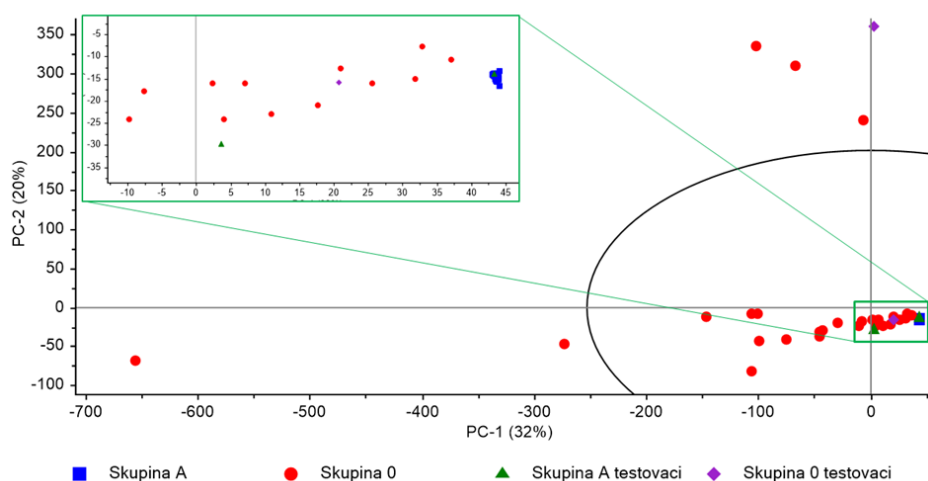


Obr. 2. PCA graf rozdělení dobrovolníků mongoloidního a europoidního typu dle lidského pachu. Hotellingova křivka pro hladinu významnosti 5 %. Pachové vzorky byly měřeny dvoudimenzionálním plynovým chromatografem s hmotnostním detektorem. Převzato z diplomové práce¹⁸

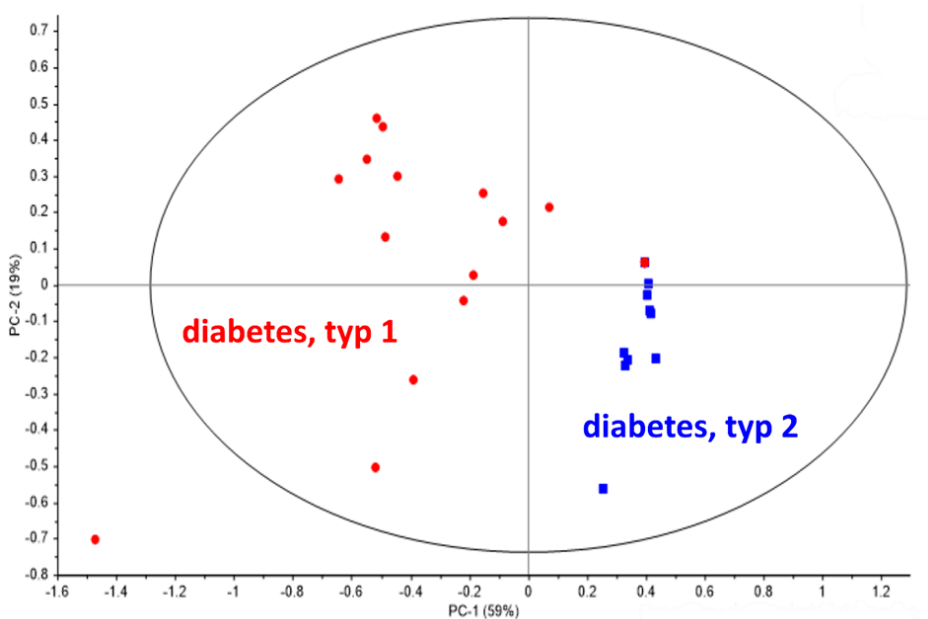
detegovány daleko dříve, než jsou pozorovány např. klasické symptomy onemocnění. Nejnovější nálezy potvrzují²⁴, že v etiopatogenezi řady duševních poruch hraje klíčovou roli aktivace imunitních buněk, které produkují vysoké koncentrace cytokinů, které ovlivňují vznik a metabolismus neurotransmiterů přímo v lidském mozku. Detekce neurotoxických látek by mohla být vodítkem pro volbu nejvhodnějšího léčivého přípravku a jeho případného vlivu na tyto procesy apod.

Olfaktronický výzkum prokázal, že lidský pach se sestává z desetitisíců, možná statisíců různých sloučenin,

kteří se dramaticky odlišují v relativních koncentracích a obsahuje geneticky podmíněnou složku, tzv. primární pach. V případě degenerativních onemocnění dochází k ovlivnění DNA nositele pachu a následně dochází ke specifickým změnám relativních koncentrací sloučenin primárního pachu. Základní výhodou medicínální olfaktoriky je tedy jednak neinvazivnost v porovnání s běžnými metodami diagnostiky těchto onemocnění a možnost získat z detailní chemické analýzy jednoho pachového vzorku informace o celé řadě chorob.



Obr. 3. PCA graf rozdělení dobrovolníků s krevní skupinou A a 0 dle lidského pachu. Hotellingova křivka pro hladinu významnosti 5 %. Pachové vzorky byly měřeny dvoudimenzionálním plynovým chromatografem s hmotnostním detektorem. Převzato z práce¹⁶

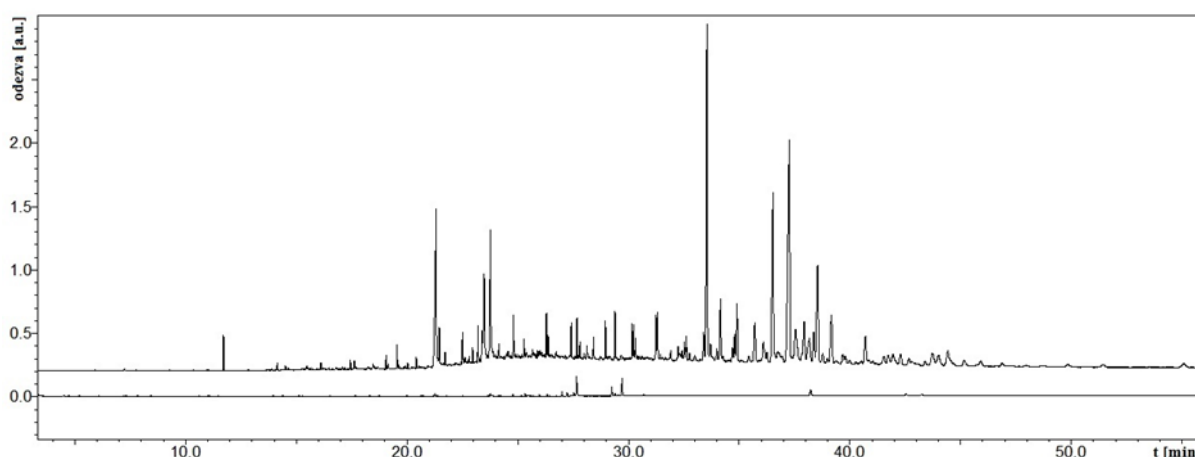


Obr. 4. Graf komponentního skóre (PCA) rozdělení pachu dobrovolníků s diabetem 1. a 2. typu. Hotellingova křivka vyznačující hladinu významnosti 5 %. Pachové vzorky byly měřeny dvoudimenzionálním plynovým chromatografem s hmotnostním detektorem. Převzato z bakalářské práce¹⁵

5. Sorbenty pro odběr lidského pachu

Pro studium latentních vzorků je extrémně důležitý jejich odběr, při kterém hraje klíčovou roli samotná čistota sorbentu. Jde totiž o to, že koncentrace pachových sloučenin je menší než běžné nečistoty. Příkladem může být „čistý sorbent“ (viz obr. 5) používaný pro olfaktorickou

identifikaci osob pomocí psů, kdy se v rámci policejní praxe ČR používá komerčně dostupná netkaná textilie Aratex® (70 % bavlna, 25 % viskóza, 5 % polyester, 280 g m⁻², výrobce CHLUM-TEX, ČR)²⁵. Tato textilie je tedy pro přístrojovou analýzu krajně nevhodná. V této souvislosti se počátky olfaktorického výzkumu^{8,26} ubíraly směrem nalezení vhodnějších alternativ. Zde je dobré zmí-



Obr. 5. Porovnání GC chromatogramů čistého Aratexu (vrchní chromatogram) a čistých skleněných kuliček (spodní chromatogram) pro odběr lidského pachu. Převzato z práce²⁷

nit hlavně dva materiály, a to sklo a teflon. Tyto sorbenty jsou však poněkud problematictější pro olfaktorické účely, proto je část experimentů věnována i sterilním netkaným lékařsky využívaným textilním jako vhodnější alternativě k již zmíněnému Aratexu.

6. Instrumentace

Analýza lidského pachu pomocí přístrojového vybavení byla směřována hlavně směrem plynové chromatografie často ve spojení s hmotnostní spektrometrií^{7,12,28,29}. V posledních letech je sledována jako velice užitečnou metoda dvoudimenzionální komprehenzivní plynové chromatografie s hmotnostním detektorem (GC×GC-MS). Díky zapojení druhé kolony do chromatografického systému lze dosáhnout vyšší separační účinnosti, která má za následek detekci více látek než umožňuje systém jednodimenzionální. Z předchozích experimentů²⁵ bylo zjištěno, že pro účely analýzy lidského pachu je vhodnější tzv. reverzní uspořádání obou kolon. Konkrétně první třicetimetrová středně polární kolona (Rtx-200MS) s dvoumetrovou předkolonou a druhá jednometrová nepolární kolona (TG-5HT).

7. Závěr

Z předchozího textu je zřejmý obrovský informační potenciál olfaktoriky, který v sobě ukrývá lidský pach. Z pohledu orgánů činných v trestním řízení jde především o individuální a skupinovou identifikaci, která může výrazným způsobem přispět k identifikaci osob, které na daném místě svůj osobní pach zanechaly. Do skupinové identifikace patří nejen určení pohlaví, etnického původu, ale i určení nemoci, užívání konkrétních léků, rozpoznání alkoholismu případně drogové závislosti atp. Tato medic-

nální olfaktorika, která je sice zatím v počátečním stadiu výzkumu, má jednoznačně obrovský potenciál pro včasnou neinvazivní diagnostiku řady nemocí (nádorových, neurodegenerativních atp.). Z toho lze také jednoznačně usoudit, že profesor Barek stařeckou demencí netrpí, a proto mu přejeme mnoho zdraví a pracovních úspěchů u příležitosti jeho 75. narozenin.

Tento článek byl podpořen Ministerstvem vnitra České republiky, číslo projektu VJ01010123.

LITERATURA

1. Ferry B. a 12 spoluautorů: *Forensic Sci. Int.* 302, 109895 (2019).
2. Pinc L., Vyplelová P., Vlasák P., Santariová M., Čapková Z., Lněničková J.: *Komparace individuálních pachů pomocí speciálně vycvičených psů. Metodická příručka.* Nakladatelství ČZU, Praha 2015.
3. Krestel D., Passe D., Smith J. C., Jonsson L.: *Neurosci. Biobehav. Rev.* 8, 169 (1984).
4. Furton K. G., Caraballo N. I., Cerreta M. M., Holness H. K.: *Philos. Trans. Royal Soc. B: Biol. Sci.* 370, (2015). doi: 10.1098/rstb.2014.0262.
5. Natsch A., v knize: *Springer Handbook of Odor* (Buettner A., ed.), kap. 49, str. 937. Springer International Publishing, Cham 2017.
6. Curran A. M., Rabin S. I., Furton K. G.: *Forensic Science Communications* 7(2) (2005).
7. Cuzuel V., Sizun A., Cognon G., Rivals I., Heulard F., Thiébaud D., Vial J.: *J. Chromatogr. A* 1536, 58 (2018).
8. Pojmanová P., Ladislavová N., Škeříková V., Kania P., Urban Š.: *Chem. Pap.* 74, 1383 (2020).
9. Pandey S. K., Kim K.-H.: *Trends Anal. Chem.* 30, 784 (2011).

10. Doležal P., Furton K. G., Lněničková J., Kyjaková P., Škeříková V., Valterová I., Pinc L., Urban Š.: *Egypt. J. Forensic Sci.* 9, 7 (2019).
11. Malá U.: *Aktivní pachové signatury v málo tékavých frakcích pachu. Diplomová práce.* VŠCHT Praha, Praha 2022.
12. Doležal P., Kyjaková P., Valterová I., Urban Š.: *J. Chromatogr. A* 1505, 77 (2017).
13. Prada P. A., Curran A. M., Furton K. G.: *Human Scent Evidence.* CRC Press. Boca Raton 2014.
14. Starkenmann C., v knize: *Springer Handbook of Odor* (Buettner A., ed.), str. 121, Springer International Publishing, Cham 2017.
15. Prostějovská L.: *Forenzní určení příznaků nemoci podle pachové stopy. Bakalářská práce.* VŠCHT Praha, Praha 2021.
16. Čechová J., Kaminsky O., Ladislavová N., Malá U., Pojmanová P., Škeříková V., Urban Š.: *Forenzní vědy, právo, kriminalistika* 8, 6 (2023).
17. Pojmanová P.: *Molekulová skladba pachové signatury. Disertační práce.* VŠCHT Praha, Praha 2020.
18. Kroutilová K.: *Studium rozdílů v chemickém složení primárního lidského pachu Asiatů a Evropanů. Diplomová práce.* VŠCHT Praha, Praha 2022.
19. Kure S., Iida S., Yamada M., Takei H., Yamashita N., Sato Y., Miyashita M.: *Biology* 10, 517 (2021).
20. Muppidi S. S., Katragadda R., Lega J., Alford T., Aidman C. B., Moore C.: *J. Breath Res.* 15, 024001 (2021).
21. Pleil J. D., Wallace M. A. G., McCord J., Madden M. C., Sobus J., Ferguson G.: *J. Breath Res.* 14, 016006 (2020).
22. Kapczinski F., Berk M., Magalhães P. V. d. S.: *Neuro-progression in Psychiatry.* Oxford University Press, Oxford 2019.
23. Jauhar S., Johnstone M., McKenna P. J.: *The Lancet* 399, 473 (2022).
24. Orlovska-Waast S., Benros M. E., v knize: *Immuno-Psychiatry: Facts and Prospects* (Berk M., Leboyer M., Sommer I. E., ed.), kap. 1, str. 3. Springer International Publishing, Cham 2021.
25. Pojmanová P., Ladislavová N., Urban Š.: *Separations* 8, 232 (2021).
26. Bernier U. R., Booth M. M., Yost R. A.: *Anal. Chem.* 71, 1 (1999).
27. Doležal P., Cinková P., Benediktová K., Urban Š., Lněničková J., Pinc L.: *Kriminalistika: čtvrtletník pro kriminalistickou teorii a praxi* 3, 11 (2016).
28. Curran A. M., Prada P. A., Furton K. G.: *J. Forensic Sci.* 55, 50 (2010).
29. Sommerville B. A., McCormick J. P., Broom D. M.: *Pestic. Sci.* 41, 365 (1994).

U. Malá^a, M. Anders^b, and Š. Urban^a (^a *Department of Analytical Chemistry, University of Chemistry and Technology in Prague, Prague, Czech Republic*, ^b *Psychiatric Clinic, First Faculty of Medicine of Charles University and General University Hospital in Prague, Czech Republic*): **The Scent Trace of a Professor from Chemické Listy**

We do not presume that professor Berek has committed any criminal act, but, if we nevertheless collect his scent sample and conduct a detailed chemical analysis, we could confirm that he is male, of the Caucasian race, and perhaps determine which blood type flows in his veins, whether it is A, B, or O. Scent evidence is a source of information that prosecuting authorities have been using for decades to identify individuals through specially trained canines. There is now an effort to create an instrumental method for a detailed chemical analysis of the scent trace so that scent identification can be objectified and used as an evidence in court, and of course, to provide a range of additional pieces of information about the scent provider.

Keywords: forensic olfactronics, medical olfactronics, olfactory, two-dimensional gas chromatography, scent evidence

Acknowledgement

This research was supported by Ministry of Interior of The Czech Republic, project number VJ01010123.



Užití tohoto díla se řídí mezinárodní licencí Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.cs>), která umožňuje neomezené využití, distribuci a kopírování díla pomocí jakéhokoliv média, za podmínky řádného uvedení názvu díla, autorů, zdroje a licence.