

Kašelj – udarni pnevmatski val v telesu

Zvone BALANTIČ

■ Uvod

Kašelj označuje refleksno dejanje, izzvano z namenom, da očisti dihalne poti, v katerih se iz najrazličnejših vzrokov pojavi sluz ali tujek. Do kašlja lahko pride tudi zaradi draženja sluzi s prahom, dimom in plinom [1]. V respiratornem sistemu v času aktivne refleksije prihaja do posebnih stanj, ki sprožijo sunkovito spremembo tlakov in hitrosti zračnih mas. Hitro gibajoči se zračni tokovi omogočijo hitro in učinkovito čiščenje dihalnih poti. Mehanizem kašlja izvira iz usklajenega delovanja organskega sistema, ki ga poskušamo pojasniti z biološkimi procesi, izraženimi s fizikalnimi in kemičnimi zakonitostmi. Čeprav je človeški organizem kompleksen, lahko na celoto gledamo z integracijo enostavnih osnovnih mehanizmov, ki se povezujejo v celovit sistem – tudi v primeru kašlja.

■ Vzroki za nastanek kašlja

S pomočjo kašlja se torej čistijo dihalne poti, ki se ožijo zaradi vnetij zgornjega dela dihalnega sistema. Hujšo obliko kašlja s pojavom močne sluzi povzroči bronhitis (vnetje bronhijev). Do pojava suhega kašlja lahko pripelje tudi začasna zožitev bronhijev, značilna za astmo, nekatere okužbe in alergični odziv. Boleč kašelj s postopnim pojavom sluzi povzročita pljučnica (vnetje pljuč) in nabiranje tekočine v pljučih (pljučni edem). Kašelj se pojavi tudi kot odziv na kronično pljučno okužbo (tuber-

Izr. prof. dr. Zvone Balantič, univ. dipl. inž., Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede

kuloza) ali na dolgotrajno vdihavanje prašnih delcev. Silovito reakcijo sproži vdihani tujek, saj se tako dihalni sistem odzove na zaprto dihalno pot, kar lahko povzroči zadušitev. Če tujek zapre bronhij, se prizadeti del vname. Tu se začne izločati sluz in pojavi se neprestan kašelj. Kašelj se postopoma pojavlja tudi pri nastanku pljučnega raka in tumorskih tvorbo in se s prizadetostjo stopnjuje, vzporedno pa se pojavi tudi izloček. Ob vseh pojavnih oblikah kašlja lahko izpostavimo tudi t. i. kadilski kašelj, ki je posledica kronične obstruktivne pljučne bolezni. V teh primerih kašelj sproži nabiranje izločka v dihalnih poteh.

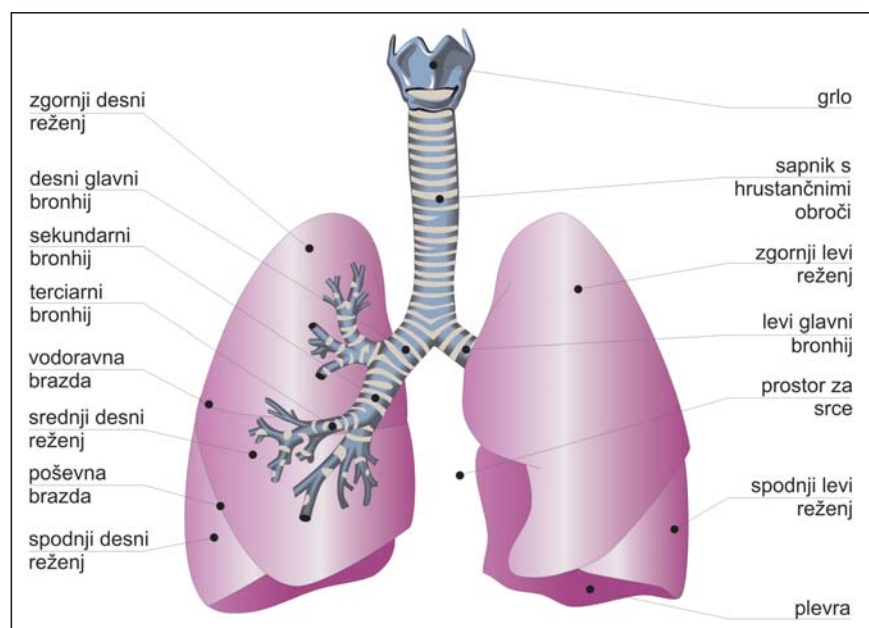
Ločimo dve vrsti kašlja:

- produktivni kašelj, pri katerem se izločata sluz ali izmeček – v tem primeru izločena sluz ovira normalen pretok zraka skozi dihalne poti;

- neproduktivni kašelj, to je suhi kašelj, brez izločkov – v tem primeru kašelj ne pripomore k čiščenju dihalnih poti, saj se sluz ne izloča. Tak kašelj človeka le izčrpava.

■ Refleks kašlja

Kašelj je eksploziven prisilni izdih, ki omogoča čiščenje sluzi in tujkov s področja dihalnih poti. Kašelj se pokaže kot obrambni mehanizem proti prodiranju tujka in tekočine v nižje plasti dihalnega vejevja. Refleks kašlja je normalen odziv na draženje v dihalnih poteh, trebušni predponi, ušesu in trebuhu. Posebno je občutljiv vstopni del poti v dihalni sistem, ki jo sestavljajo grlo, sapnik in razdelitev v levo in desno sapnico [2]. Srednji del dihalnega vejevja in posebno končni del, ki se zaključuje v t. i. respiratornem delu pljuč in je sestavljen iz drobnih



Slika 1 Dihalni sistem pri človeku

cevčic in končnih sferičnih prostorov, je posebno občutljiv na kemične dražljaje (slika 1).

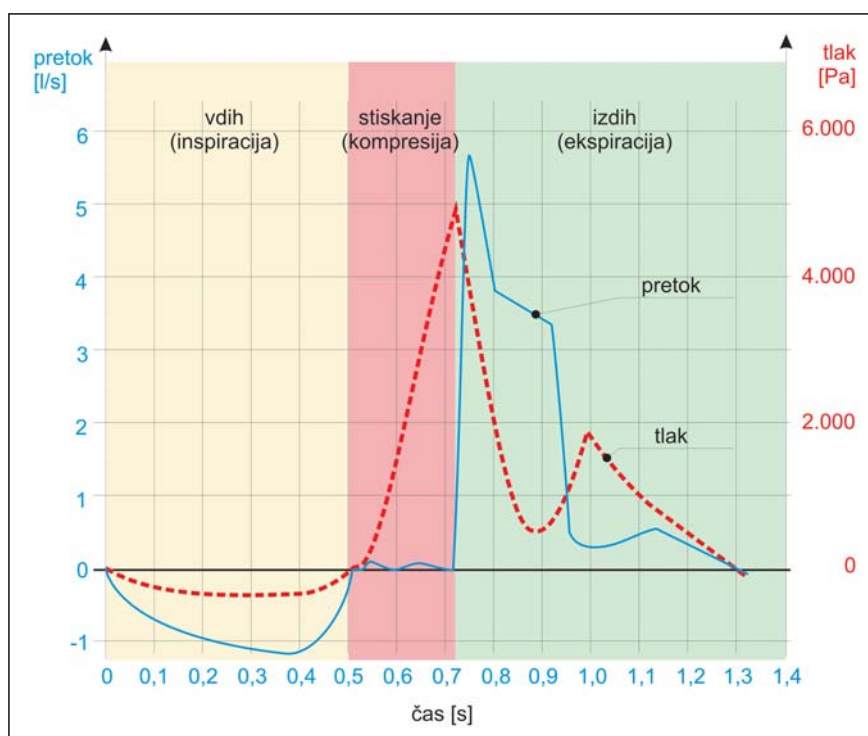
Kašelj kot refleks nastane zaradi različnih izvornih dražljajev in se razvija po določenem zaporedju:

- izvorni dražljaj (vnetje; kemični dražljaj – Cl, SO₂, NO₂, amonijak; mehanski dražljaj – prah, dim, megla, tujek, pritisk; toplota – vroče, hladno; psiha);
- zunanji receptorji (v dihalih – mehano-receptorji v prvem delu dihalnih poti in zunanjem ušesu in kemoreceptorji v respiratornem delu pljuč; izven dihal – trebušna predpona, požiralnik, zunanje uho in bobnič v ušesu);
- dovodne poti (živci);
- center za kašelj (na vstopu hrbtenjače v spodnji predel možganov);
- odvodne poti (živci);
- živčni končiči, ki se končajo v efektorjih (predpona, trebušne mišice, medrebrne mišice, glasilke).

■ Mehanizem kašlja

Signali, ki nosijo informacijo za sprožanje refleksa kašlja, prihajajo predvsem iz velikih dihalnih poti in tudi globoko iz vejevja dihalnega drevesa ter ostalih receptorjev v grlu, nosu, ušesu, sinusih, pljučni preponi, osrčniku in celo želodcu. Ko se vzpostavi celotni informacijski tok, pride do verižne reakcije, ki sproži odziv v štirih fazah (slika 2):

1. Refleks kašlja sproži draženje, ki je lahko posledica vnetja, ima kemični ali mehanski izvor, je lahko posledica temperaturnih sprememb ali psihe.
2. Faza vdihava: Pri tem človek vdahne približno 2,5 l zraka. Pri tem globokem vdihu dihalne mišice razširijo prsni koš, medrebrne mišice pa prsni koš dvignejo in ga razširijo v stran in naprej [3]. V tem trenutku se prepona splošči in poveča prostornino prsne votline navzdol. Pljuča se razširijo tudi zaradi znižanega tlaka v prsni votlini. V pljučnih mešičkih oz. alveolah se poveča prostornina, zračni tlak se zaradi tega zmanjša in vanje se vsega zrak.
3. Faza stiskanja oz. kompresije: V začetku te faze se najožji del

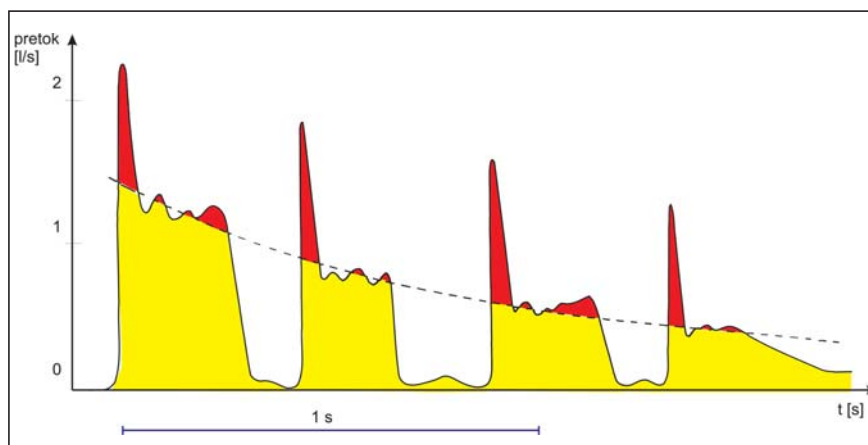


Slika 2 4 faze mehanizma kašlja

grla v višini glasilk zapre, prepona pa se sprost. Prsne in trebušne mišice se sunkovito stisnejo. Prostornina prsnega koša se nenadoma zmanjša in tako v pljučih povzroči povišanje celega sistema tlakov (abdominalni tlak, plevalni tlak, alveolni tlak ...). Prisilni izdih se torej začne s kompresijo in iztiskanjem zraka, katerega tok doseže največjo vrednost že v prvem trenutku izdiha. Največji pretok med izdihom je močno odvisen od moči mišičevja. Takoj za to fazo prihaja do omejitve pretoka zraka iz pljuč in tako pretok ni več odvisen od naraščanja mišičnega napora pri izdihu. Gonilna moč prihaja iz

alveolnega tlaka, ki je povprečni tlak v perifernih delih pljučnih mešičkov. Pri inspiriju se zniža pod raven atmosferskega tlaka za najmanj 0,133 kPa, pri ekspiriju pa za 0,133 kPa naraste nad njegovo raven. Pri zaprtem grlu pri kašlju lahko ob največjih naporih izdiha ta tlak naraste za več kot 13,3 kPa nad atmosferski tlak.

4. Faza prisilnega izdiha: Glasilke se v trenutku razprejo in omogočijo prost pretok izdihanemu zraku. Zrak zaradi velike razlike med tlakom v pljučih in atmosferskim tlakom z veliko hitrostjo zapušča pljuča. Na dvig hitrosti še dodatno vpliva zožitev sapnika. Hitrosti na najožjem delu (glasilke) dosega-



Slika 3 Spreminjanje pretoka zraka pri ponavljajočem se kašlju [6]

jo izjemne nivoje do 180 km/h [4]. Zaradi intenzivnega trenja zračnega toka ob stene sapnika nastanejo velike strižne sile, ki omogočajo zagon transporta sluzi iz notranjosti dihal. Sluz, ki vsebuje tujke, tako zapušča dihalni sistem. Ob koncu kompresijske faze se grlo odpre, stiskanje sklopa mišic, ki pomagajo pri izdihu, pa se nadaljuje do zaključka izdiha.

Kašelj omogoča učinkovito čiščenje dihalnih poti s pomočjo transporta sluzi in s tem odstranjevanja tujkov, ki so se znašli v dihalnem sistemu. Kašelj se običajno pojavlja v napadih (zakašljamo 5- in večkrat). Tak način oscilatornega prisilnega izdiha je namenjen čiščenju globljih dihalnih poti [5] (slika 3).

Pri zaporednem kašljanju se volumen pljuč postopoma zmanjšuje, točka enakih tlakov (izenačena tlaka: tlak v tkivu, ki deluje na sapnik z zunanje strani, in tlak v sapniku, ki deluje iz

notranjosti dihalne poti na sapnik) pa se pomika periferno iz dihalnega sistema proti ustom. Kašljanje z majhnimi dihalnimi volumni je namenjeno predvsem čiščenju pljučne periferije. Če vdahnemo tujek, se refleks kašlja sproži nekoliko prej, saj se s tem telo brani pred aspiracijo (vsesanje tujka v globino dihalnega vejevja). Obramba se izkaže s tem, da zakašljamo pred globokim vdihom, oz. kašelj se sproži, ko tujek doseže glasilke.

■ Zaključek

Kašelj je zelo pomemben refleks, saj predstavlja obrambo dihalnega sistema pred vdorom tujkov. Močna kompresija pljuč in s tem stiskanje elastičnih sapnic (manjše dihalne cevčice – vejice v globini dihalnega sistema) in zadnje stene sapnika (nima hrustanca) povzroči "izstrelitev" zraka, pomešanega s sluzjo, oz. udarni pnevmatski val. Pri tako sunkovitem gibanju pride do učinkovitega čiščenja zgornjih dihalnih poti.

■ Literatura

- [1] Balantič, Z., Fležar, M., Razvoj in delovanje dihalnega sistema, Pliva International, Ljubljana, 2007 (<http://www.pliva.si/dihalnisistem/>).
- [2] Guyton, A. C., Hall, J. E., Textbook of Medical Physiology, 9th edition, Saunders, 1996.
- [3] Pedley, T. J., Corieri, P., Kamm, R. D., Grotberg, J. B., Hydon, P. E., Schroter, R. C., Gas flow and mixing in the airways, Critical Care Medicine, Vol 22, No. 9, S24–S36, 1994.
- [4] Mc Coll, F. D., Global Physiology and Pathophysiology of Cough, Chest, 2006.
- [5] Fležar, M., Fiziologija kašlja, Simpozij o kašlju, Združenje pnevmologov Slovenije, UL MF Ljubljana, 2008.
- [6] Balantič, Z., Fležar, M., Pregled delovanja dihalnega sistema, Moderna organizacija, Kranj, 2004.

Ali je idealen hidravlični fluid mogoč?

Že takoj lahko ugotovimo, da je pri današnjem in predvidljivem stanju tehnike v strogem pomenu besede idealni hidravlični fluid nemogoče izdelati. Saj si mnoge njihove lastnosti za različne namene uporabe diametralno nasprotujejo. Ustrezna izbira hidravličnega fluida je zato (zopet strogo rečeno) vedno kompromisna rešitev.

Vzemimo npr. *viskoznost*, ki predstavlja merilo odpornosti proti toku. Viskoznost fluida lahko zagotavlja visok volumetrični izkoristek in sočasno majhne izgube zaradi netesnosti. Ker pa mora črpalka pri tem premagovati večje tlačne izgube, deluje s slabšim mehanskim izkoristkom. Zato morajo biti hidravlične sestavine konstruirane za delovanje znotraj določenih vrednosti viskoznosti delovnega fluida, kar zahteva sprejemljiv kompromis med skupnim izkoristkom in izgubami zaradi puščanja. To pa zopet zahteva izbiro sestavin znotraj naprave – sistema,

ki so konstruirane tako, da lahko vse delujejo z istim fluidom. Projektiranje naprav zato zahteva ustrezne kompromise.

Modul stisljivosti je druga takšna pomembna lastnost. Od njega je odvisna odpornost fluida proti stisljivosti. V mnogih primerih, posebno pri krmiljih z zaprto zanko, je zato zaželen čim večji modul stisljivosti, če hočemo zagotoviti ustrezno »togost« sistema. Fluid z visokim modulom stisljivosti pa tudi bolj neposredno prenaša udarce in vibracije kot fluid z nizkim modulom stisljivosti. Zato je pri sistemih s pogostejšimi pojavi udarcev hidravličnih udarcev in vibracij boljše izbrati fluid z nižjim modulom stisljivosti.

Še bolj resne pa so razmere pri uporabi vode kot hidravličnega fluida. Voda ima manjšo viskoznost, višji modul stisljivosti, večji parni tlak in večjo gostoto kot olje. Je pa tudi nevarna, cenena in okolju nenevarna. Nekatere od teh lastnosti so

nadvse zaželeni, druge pa seveda ne, vse je odvisno od uporabe. Ni presenetljivo, da je nenevarnost za okolje nadvse zaželena. Zato je vse večja uporaba nestrupenih fluidov z visoko biorazgradljivostjo.

Idealnega hidravličnega fluida ni!

Vse, kar lahko dosežemo, je optimalen kompromis različnih lastnosti za določen namen uporabe. V prihodnosti bodo verjetno razviti »pametni« hidravlični fluidi s samodejnim prilagajanjem lastnosti spreminjajočim se pogojem uporabe. Nekaj o tem je že znanega, saj se elektro- in magnetnoreološki fluidi preskusno že uporabljajo. Seveda v glavnem šele v laboratorijskih razmerah. Kolikor pa so že komercialno na voljo, so zaradi visoke cene še daleč od idealnih fluidov. Na srečo pa je že sedaj na voljo velik nabor različnih hidravličnih fluidov z različnimi tehničnimi lastnostmi, ki ustrezajo kompromisnemu izboru za skoraj vsak način, vrsto in področje uporabe.

Po H + P 61(2008)10 – str. 6