

呼吸道内颗粒物沉积的数值模拟

于 申¹, 王吉喆², 孙秀珍², 刘迎曦¹

(1. 大连理工大学 工业装备结构分析国家重点实验室, 大连 116023;

2. 大连医科大学附属二院 耳鼻咽喉科, 大连 116024)

摘要: **目的** 通过数值模拟方法研究人呼吸过程中吸入的颗粒物在呼吸道内的沉积规律及其影响因素。**方法** 建立正常人呼吸道三维数值模型, 模拟吸气过程中气流在呼吸道内的分布规律。在鼻孔或口等气流入口处释放颗粒, 模拟悬浮颗粒物随着吸入气流在呼吸道内的沉积过程。同时改变颗粒物直径、密度、呼吸气流速率等参数, 通过对比分析, 研究颗粒物在呼吸道内沉积的影响因素。**结果** 颗粒物在呼吸道内主要沉积在鼻阈、固有鼻腔气道中部、鼻咽部以及支气管内壁, 并且颗粒物的沉积率随着其直径、密度、呼吸气流速率的增大而增加, 几个参数对沉积率的影响程度也不相同。**结论** 颗粒物在呼吸道内主要沉积在气道几何形状复杂或者气道走向剧烈改变的位置, 颗粒物的直径、密度、呼吸气流速率均会影响到其在呼吸道内的沉积率。研究结果可为空气污染引发呼吸道疾病风险的临床评估提供数值依据。

关键词: 呼吸道; 吸气; 颗粒物; 沉积; 数值模拟

中图分类号: R318.01 **文献标志码:** A

DOI: 10.3871/j.1004-7220.2016.03.193

Numerical analysis on deposition of particulate matters in respiratory tract

YU Shen¹, WANG Ji-zhe², SUN Xiu-zhen², LIU Ying-xi¹ (1. *State Key Laboratory of Structural Analysis for Industrial Equipment, Dalian University of Technology, Dalian 116023, Liaoning, China*; 2. *Otorhinolaryngology Department, The Second Hospital of Dalian Medical University, Dalian 116024, Liaoning, China*)

Abstract: Objective To study the regular pattern of inhalational particulate matter deposition in respiratory tract and its influencing factors during breathing by numerical simulation method. **Methods** Three-dimensional finite element model of normal human respiratory tract was established to simulate the airflow distributions in respiratory tract during inspiration. The particles were released at the entrance of nose or mouth to simulate the deposition process of suspended particles by inhaled airflow in respiratory tract. Different parameters such as particle diameter, particle density and flow rate of air volume were used for comparative analysis to investigate their functions as influencing factors when particle deposition happened in respiratory tract. **Results** The particles were mainly deposited in nasal threshold, nasal middle airway, nasopharynx, and bronchial inner wall of respiratory tract. The particle deposition rate increased with the parameters of particle diameter, particle density and air volume flow rate increasing. The influence of different parameters on the deposition rate was not the same. **Conclusions** The particle is mainly deposited at the site with complex geometry or at the position where path direction changes violently. Particle diameter, density and breathing airflow rate will affect the deposition rate in respiratory tract. These research findings will provide numerical references for the clinical assessment on risk of respiratory disease.

ses caused by air pollution.

Key words: Respiratory tract; Inspiration; Particulate matters; Deposition; Numerical analysis

随着工业的发展,空气污染日益严重,空气中所含的颗粒物是空气污染的主要因素之一。当颗粒物的粒径小于 $10\ \mu\text{m}$ 时 (PM_{10}),可以长时间悬浮于空气中,随人的呼吸进入人体呼吸道内,造成呼吸道炎症、哮喘等疾病;当颗粒物直径小于 $2.5\ \mu\text{m}$ 时 ($\text{PM}_{2.5}$),可以随呼吸直接进入肺部形成尘肺,甚至还会成为呼吸道癌症的诱因,威胁人类的健康^[1-3]。因此,悬浮颗粒物在呼吸道内的沉积规律一直是热点研究问题,主要采用实验或者数值模拟的方法。目前最常用的实验方法为根据人体呼吸道影像学数据构造真实的或理想化的实体物理模型,进行颗粒沉积实验;在呼吸道入口释放不同颗粒物,观察颗粒物在呼吸道内不同位置的沉积情况^[4-6]。较多的数值模拟研究以口腔为呼吸道入口建立模型^[7-8]。例如:Stapleton 等^[9]建立等比例的真实三维口喉模型,包括口腔、咽腔和喉腔,用标准 $k-\varepsilon$ 模型模拟呼吸道气流场,得到呼吸道内颗粒物的沉积率及其分布模式,并将计算结果与实验数据进行对比;该模拟结果在低呼吸强度下与实验数据吻合较好,但在高呼吸强度下却出现了较大的偏差。也有研究以鼻孔为呼吸道入口建立模型。例如:Dastan^[10]建立3个人体鼻腔模型,研究不同尺寸鼻腔中在不同呼吸速率下非圆形颗粒物的沉积规律。针对颗粒物在人体呼吸道内沉积规律的研究,多数关注于人体呼吸道的一个或几个部位(如口腔、咽部、喉部及气管等),而呼吸系统作为一个完整的系统,其各部分相互关联,某部位结构的异常与其他部位的疾病通常有很密切的关联。因此,在数值研究中建立较完整的呼吸道模型,考虑呼吸道各个部位之间的相互影响十分必要。本文建立了一例较完整的呼吸道数值模型,模拟人吸气过程中悬浮颗粒物随着吸入气流在呼吸道内的沉积过程,同时研究不同影响因素以及呼吸路径对颗粒物沉积率的影响。

1 材料与方法

根据大连医科大学附属第二医院所提供的一例健康志愿者呼吸道CT数据,建立较完整的人体呼

吸道模型(见图1),包括鼻腔、咽腔、喉腔、口腔、器官以及部分支气管结构(到前4级支气管,部分支气管延伸至第5级)。对其进行网格划分,通过网格无关性验证后,该模型节点数约为 5.7×10^5 ,网格数量约为 2.98×10^6 。采用 Fluent 软件对呼吸道模型内的气流场以及颗粒运动过程进行数值模拟。

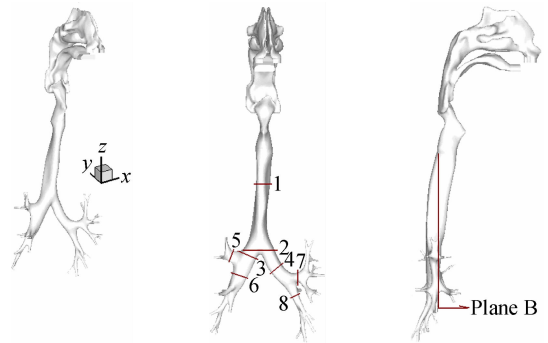


图1 人体呼吸道三维数值模型

Fig. 1 3D model of human respiratory tract

对该模型进行计算参数和计算边界条件的设定,所有的设定均模拟实际情况。气流场设定为 $k-\varepsilon$ 湍流模型。为了简化计算,针对颗粒相进行以下假设:①颗粒相处于稀相状态,忽略颗粒之间的相互碰撞,颗粒运动也不会影响气相流场;②颗粒不会在呼吸道内发生分裂或破碎;③颗粒相密度远大于气相流密度;④计算区域内的颗粒有完全相同的直径,形状均为规则的球体;⑤单个颗粒在流场中运动时,只考虑颗粒所受重力、Stokes阻力和Saffman升力。颗粒不受热泳力影响,也不会发生布朗运动^[11]。

设定一个呼吸周期为3s,吸气和呼气过程各占1.5s,本文只模拟吸气过程的1.5s。鼻孔或口为气流的入口,根据正常人的潮气量设定入口气流量率 $Q = 19.5\ \text{L}/\text{min}$ 。在加入颗粒相之后,颗粒相保持与气相相同的入口速度。支气管末端为气流出口,设定为相对压力边界 $p = 0\ \text{Pa}$ ^[12-13]。颗粒随气流运动到达支气管末端,定义为逸出。呼吸道壁面设定为气流无滑移、无渗透条件。由于呼吸道壁

面覆盖黏液痰,故将颗粒设定为“捕获”条件,即颗粒一旦与壁面碰撞,即被黏液捕获,发生沉积,中止计算。

在数值计算过程中,通过改变颗粒粒径、颗粒密度以及呼吸气流量速率的数值(见表1),研究影响颗粒物在呼吸道内沉积率的因素。

表1 颗粒粒径、颗粒密度以及呼吸气流量速率取值

Tab.1 Values of particle size, particle density and respiratory airflow rate

| 参数 | 取值 |
|--|---|
| 颗粒粒径, $d/\mu\text{m}$ | 0.25, 0.5, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 |
| 颗粒密度, $\rho/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$ | 950, 1 250, 1 550, 1 850, 2 150 |
| 气流体积流量, $Q/(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$ | 鼻 19.5, 39.0, 58.5 ^[14] ; 口 19.5 |

2 结果

2.1 呼吸道内气流速度分布

当人用鼻吸气时,气流流经鼻腔进入咽喉腔,口腔中没有气流通过。图2显示了经鼻腔吸气时呼吸道内的速度分布情况,气流主要从鼻腔中部气道流过,在鼻阈和声门部位速度较快;进入主气管后,气流速度在气道内渐渐形成近似二次分布,如截面1所示,中间速度高,靠近壁面处速度低。进入主支气管后,中心处的高速区一分为二,沿着左右两个主支气管继续前进,故可以在截面3、4观察到气流刚进入主支气管内时,在靠近内侧出现高速区。随着气流的继续流动,可以在截面6、8看到速度又恢复到二次分布形式。而从几何结构上看,截面5所在气道与主支气管几乎垂直,故在截面5可以观察到气流的窝状结构。

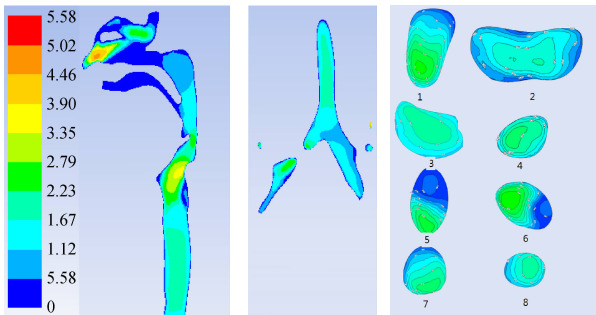


图2 吸气时呼吸道内的速度分布

Fig.2 Contours of velocity in respiratory tract during inspiratory period

2.2 呼吸道内颗粒沉积分布

在 $Q = 19.5 \text{ L/min}$ 、 $d = 2.5 \mu\text{m}$ 、 $\rho = 1 550 \text{ kg/m}^3$ 的条件下,经鼻吸气时整个呼吸道壁面有几个颗粒浓度较大的区域,即颗粒容易沉积的部位分别位于固有鼻腔前端、鼻腔气道中部、咽腔后壁、支气管内壁。口腔内由于没有气流经过,故口腔内没有颗粒沉积。经口吸气时,在整个呼吸道中,口腔、喉腔后壁以及支气管内壁等区域颗粒密度较大,即颗粒容易沉积在此处。鼻腔内由于没有气流通过,故鼻腔内没有颗粒沉积。

2.3 影响颗粒物在呼吸道内沉积规律的因素

为研究颗粒物粒径对颗粒物在呼吸道内沉积率的影响,模拟7种粒径的颗粒物在 $\rho = 1 550 \text{ kg/m}^3$ 、 $Q = 19.5 \text{ L/min}$ 的条件下,在人体呼吸道内的运动情况。其中,最小粒径为 $0.25 \mu\text{m}$,最大粒径为 $10 \mu\text{m}$,所选粒径数值均在可吸入颗粒物粒径范围内。图3所示为颗粒物沉积率随颗粒物粒径的变化规律,可以看出,随着颗粒物粒径的增大,颗粒物沉积率也随之增大;并且当 $d > 2.5 \mu\text{m}$ 后,颗粒物的沉积率迅速增加。

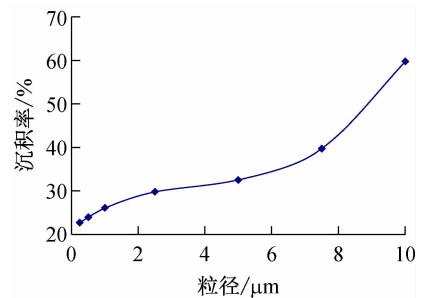


图3 颗粒物沉积率随粒径变化的规律

($Q = 19.5 \text{ L/min}$, $\rho = 1 550 \text{ kg/m}^3$)

Fig.3 Variation of particle deposition rate with particle size

可吸入颗粒物的各种组分的密度范围为 $600 \sim 2 300 \text{ kg/m}^3$ ^[13,15-16],故改变颗粒物密度,研究颗粒物密度对颗粒物沉积率的影响。在 $950 \sim 2 150 \text{ kg/m}^3$ 之间设置5种不同密度值, $Q = 19.5 \text{ L/min}$ 、 $d = 2.5, 5, 10 \mu\text{m}$ 时,得到3种粒径下颗粒物沉积率随密度变化的规律(见图4)。在 $d = 2.5, 5 \mu\text{m}$ 条件下,颗粒物沉积率随密度增加而增加,但增加幅度微小,当 $\rho \geq 1 550 \text{ kg/m}^3$ 后沉积率基本不再增加。与之相比, $d = 10 \mu\text{m}$ 的颗粒物沉积率增加较明显。总体上,颗粒物沉积率随密度增加

而增加,但是不同粒径颗粒物的沉积率随密度增加的幅度不同,粒径越大,沉积率随密度增加幅度越大。

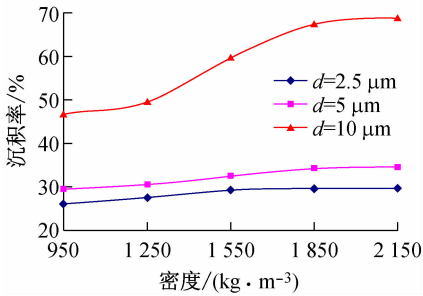


图4 不同粒径下颗粒物沉积率随密度变化的规律
($Q = 19.5 \text{ L/min}$)

Fig. 4 Variation of particle deposition rate with particle density under different particle size

吸气气流量也是影响颗粒物沉积率的重要因素之一。在 $\rho = 1550 \text{ kg/m}^3$ 的条件下,对 $d = 2.5, 5, 10 \mu\text{m}$ 的3种情况,分别计算 $Q = 19.5, 39, 58.5 \text{ L/min}$ 时颗粒物沉积率。图5显示了不同粒径下颗粒沉积率随气流量变化的规律。随着气流流量的增加,颗粒物的沉积率也增加。 $d = 2.5 \mu\text{m}$ 的颗粒,其沉积率随气流量增加幅度相对较小。粒径越大,沉积率随气流量增加幅度就越大。

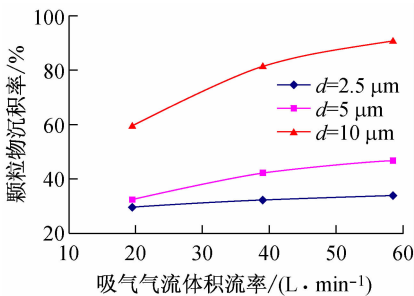


图5 不同粒径下颗粒沉积率随呼吸速率变化的规律

Fig. 5 Variation of particle deposition rate with respiratory airflow rate under different particle size

Stokes常数是管流中使用的一种力学参量,其定义为:

$$St = \rho d^2 U / (18\mu D)$$

其中: ρ 为颗粒密度; d 为颗粒粒径; U 为呼吸气流量; μ 为动力黏度系数,对于空气, $\mu =$

$18 \mu\text{Pa} \cdot \text{s}$; D 为呼吸道结构几何参数。由于本研究使用一个呼吸道模型, D 可以视为常数。因此,采用Stokes常数与 D 乘积($St \cdot D$)作为参数综合考虑颗粒粒径、密度以及气流体积流量对沉积率的影响。图6显示了颗粒物沉积率随 $St \cdot D$ 的变化规律,可以看出,颗粒物沉积率随着 $St \cdot D$ 的增加而增加,可以将其拟合为二次曲线。

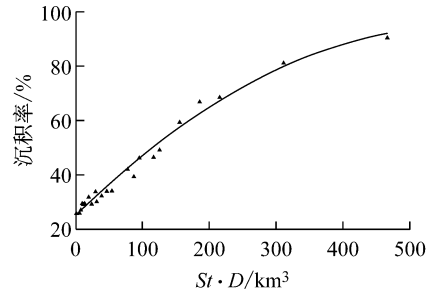


图6 颗粒沉积率随 $St \cdot D$ 的变化规律

Fig. 6 Variation of particle deposition rate with $St \cdot D$

3 讨论

对于微米级的颗粒,惯性是影响其沉积规律的主要因素。当气流流经几何结构变化剧烈或者曲率较大的气道结构时,颗粒容易在惯性的作用下,碰撞到呼吸道壁面,进而被呼吸道表层黏液捕捉。从呼吸道的结构来看,鼻阈作为一个呼吸道的瓶颈结构,其面积剧烈收缩,进入固有鼻腔时又剧烈扩张,故在固有鼻腔前端(即下鼻甲前端)会产生一个颗粒沉积浓度较高的区域。固有鼻腔内的结构复杂,3个鼻甲构成了气道内的褶皱结构,增加了气道内表面积,这对于吸入气流的加温、加湿都有一定的帮助,同时吸入的颗粒物也容易在此沉积,进而被排出体外。而固有鼻腔气道中部为气流主要的流经区域,故吸入气流中所含悬浮颗粒物会在此形成浓度较高的颗粒沉积区域。Vecellio等^[17]研究发现,鼻腔内第一个颗粒沉积浓度较高区域距离前鼻孔约2 cm,位于固有鼻腔前端的位置。

当气流流经固有鼻腔后进入咽腔,鼻腔和咽腔的走向几乎相差 90° ,故气流在此处流动方向急剧变化,颗粒物容易在惯性作用下碰撞到咽后壁上。因此,咽后壁也是颗粒物沉积浓度较高的区域。研究发现,咽后壁的颗粒沉积浓度要高于鼻腔内的颗

粒沉积浓度^[18]。因此,在空气污染较为严重的地区,容易诱发咽部炎症。由模拟的速度分布结果可知,当气流由主气管流入支气管时,中心的气流高速区域一分为二流入两个支气管,靠近支气管内壁的气流速度较高,气流变化梯度也较大,气流中的颗粒物容易在支气管内壁形成一个浓度较高的沉积区域。

当人用口腔呼吸时,气流由口腔流入,口腔由上部的上颚和下部舌表面构成,整个口腔气道为弯曲形状,故气流在流经口腔时,颗粒物容易沉积在口腔上下表面。气流由口腔流入咽部时,气流走向剧烈变化,气流中的颗粒物容易碰撞到咽腔下部和喉腔气道后壁^[19],口腔气道相对宽敞且几何形状较为简单,故颗粒物虽然在此有较高沉积浓度,但是沉积颗粒总量并不多。因此,大部分颗粒经过口腔后,仍然可以进入并沉积在咽喉腔以及下部气道。这种分布规律可以解释为什么在空气污染严重地区用口呼吸会引起喉炎及肺部炎症。由不同呼吸路径颗粒沉降的数值模拟结果比较可以看出,经口呼吸气道的过滤能力要明显小于经鼻呼吸气道的过滤功能,故过滤空气中的粉尘为鼻腔的基本功能之一。

颗粒物的沉积率受到颗粒粒径、密度以及呼吸气流量流率的影响,微米级的颗粒在呼吸道内运动过程中,其惯性力为主要影响因素,故随着粒径和密度的增大,沉积率也随着增加。通过比较可以发现,颗粒密度的影响较小,颗粒粒径的影响较为明显。这是由于能在空气中长期悬浮的颗粒物,其密度变化的范围较小,而粒径变化的范围较大;同时质量与粒径之间为3次方关系,而与密度为1次方关系,故颗粒粒径的影响比颗粒密度要明显。且粒径越大,沉积率随密度变化幅度越大。随着呼吸气流速率的增加,气道内气流速度梯度也随之增加,颗粒运动的惯性力也在增加,故随着呼吸速率的增加,颗粒沉积率也随之增加。粒径越大,惯性力的影响就越大,沉积率随气流量流率变化的幅度就越大。Stokes 常数是一个综合参数,包含5个参数,体现了颗粒密度、颗粒粒径、呼吸速率的共同影响。由Stokes 常数的表达式可以看出,沉积率对粒径的变化更为敏感。考虑惯性力为主要影响因素的情况,去掉 $d < 1 \mu\text{m}$ 的数据,Stokes 常数与沉积率之间的关系曲线拟合程度较高;当 $d = 1 \sim 10 \mu\text{m}$ 时,颗粒

物沉积率与Stokes 常数成二次函数关系(见图6)。

4 结论

本文在不同粒径、不同密度颗粒以及不同吸气气流量流率条件下,对呼吸道内颗粒物的沉积规律进行数值模拟,研究了呼吸道内颗粒物沉积的影响因素。由数值分析结果可知,颗粒物在呼吸道内主要沉积在几何形状变化剧烈或气道方向发生转弯的位置。随着颗粒粒径、颗粒物密度以及气流量流率的增加,颗粒物的沉积率也在增加,并且颗粒粒径对沉积率的影响要更加明显一些。综合考虑3个因素的影响,颗粒物的沉积率与Stokes 常数可拟合成二次函数关系。本文研究颗粒物在呼吸道内的沉积规律,可为空气污染引发呼吸道疾病风险的临床评估提供数值依据,同时也有助于针对鼻腔疾病的喷雾式药剂的研发。

参考文献:

- [1] Kleinman MT, Bufalino C, Rasmussen R, et al. Toxicity of chemical components of ambient fine particulate matter (PM_{2.5}) inhaled by aged rats [J]. *Appl Toxicol*, 2000, 20(5): 357-364.
- [2] Broday DM, Georgopoulos PG. Growth and deposition of hygroscopic particulate matter in the human lungs [J]. *Aerosol Sci Technol*, 2001, 34(1): 144-159.
- [3] 时彦玲, 邓林红. 细颗粒物(PM_{2.5})对气道的病理作用及其与哮喘病理机制的关系[J]. *医用生物力学*, 2013, 28(2): 127-134.
Shi YL, Deng LH. Pathological effects of particulate matter (PM_{2.5}) on pulmonary airways and its roles in asthma pathobiology[J]. *J Med Biomech*, 2013, 28(2): 127-134.
- [4] Yung-Sung C, Yue Z, Bean CT, et al. Particle deposition in a cast of human oral airways [J]. *Aerosol Sci Tech*, 1999, 31(4): 286-300.
- [5] Hofmann W, Asgharina B, Winkler-Heil R. Modeling inter-subject variability of particle deposition in human lungs [J]. *J Aerosol Sci*, 2002, 33(2): 219-235.
- [6] Zhang Y, Finlay WH, Matida EA. Particle deposition measurements and numerical simulation in a highly idealized mouth-throat [J]. *J Aerosol Sci*, 2004, 35(7): 789-803.
- [7] Zhang Z, Kleinstreuer C, Kim CC. Micro-particle transport and deposition in a human oral airway model [J]. *J Aerosol Sci*, 2002, 33(12): 1635-1652.

- [8] 孙栋, 李福生, 赵秀国, 等. 真实人体口喉模型内气流喷射诱导涡结构演化[J]. 医用生物力学, 2013, 28(5): 509-514.
Sun D, Li FS, Zhao XG, *et al.* Vortex evolution induced by jets in realistic human mouth-throat model [J]. J Med Biomech, 2013, 28(5): 509-514.
- [9] Stapleton KW, Guentsch E, Hoskinson MK, *et al.* On the suitability of $k-\epsilon$ turbulence modeling for aerosol deposition in the mouth and throat: A comparison with experiment [J]. J Aerosol Sci, 2000, 31(6): 739-749.
- [10] Dastan A, Abouali O, Ahmadi G. CFD simulation of total and regional fiber deposition in human nasal cavities [J]. J Aerosol Sci, 2014, 69: 132-149.
- [11] Kleinstreuer C, Zhang Z. Laminar-to-turbulent fluid-particle flows in a human airway model [J]. Int J Multiphase Flow, 2003, 29(2): 271-289.
- [12] Zhang Z, Kleinstreuer C. Airflow structures and nano-particle deposition in a human upper airway model [J]. J Comput Phys, 2004, 198(1): 178-210.
- [13] Jin HH, Fan JR, Zeng MJ, *et al.* Large eddy simulation of inhaled particle deposition within the human upper respiratory tract [J]. J Aerosol Sci, 2007, 38(3): 257-268.
- [14] Croce C, Fodil R, Durand M, *et al.* *In vitro* experiments and numerical simulations of airflow in realistic nasal airway geometry [J]. Ann Biomed Eng, 2006, 34(6): 997-1007.
- [15] 吴禹, 周向东. 大气可吸入颗粒物与气道粘液纤毛清除机制[J]. 中国药物与临床, 2005, 5(3): 203-205.
- [16] 林启才, 张振文, 杜利劳, 等. 2013年西安市大气污染物变化特征及成因分析研究[J]. 环境科学与管理, 2014, 39(10): 52-56.
- [17] Vecellio L, De Gerssem R, Le Guellec S, *et al.* Deposition of aerosols delivered by nasal route with jet and mesh nebulizers [J]. Int J Pharm, 2011, 407(1-2): 87-94.
- [18] Xi J, Si X, Kim JW. Simulation of airflow and aerosol deposition in the nasal cavity of a 5-year-old child [J]. J Aerosol Sci, 2011, 42(3): 156-173.
- [19] 李福生, 徐新喜, 孙栋, 等. 气溶胶颗粒在人体上呼吸道模型内沉积的实验研究[J]. 医用生物力学, 2013, 28(2): 135-141.
Li FS, Xu XX, Sun D, *et al.* Experimental study on aerosol particle deposition in human upper respiratory tract model [J]. J Med Biomech, 2013, 28(2): 135-141.

《医用生物力学》杂志征稿、征订启事

《医用生物力学》杂志由中华人民共和国教育部主管、上海交通大学主办,是国内唯一一本公开发行,以积极反映生物力学基础研究与应用研究成果,推动国内外学术交流,促进医、生、理、工各学科相互了解和合作为目的的学术性刊物。报道内容主要包括生物力学领域中有关力学生物学、器官-组织生物力学、细胞-亚细胞-分子生物力学、感觉系统生物力学、骨骼肌肉系统生物力学、航空航天生物力学、颌面口腔生物力学、呼吸系统生物力学、康复工程生物力学、心血管系统生物力学、血液流变学、医用材料生物力学、运动医学生物力学等的研究论文。本刊为中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊);美国《化学文摘》、俄罗斯《文摘杂志》、荷兰《文摘与引文数据库》来源期刊;2015年入选北京大学图书馆《中文核心期刊要目总览》(2014年版)。

本刊为双月刊,每双月25日出版,16开本,96页,国内统一连续出版物号CN 31-1624/R,国际标准连续出版物号ISSN 1004-7220;定价每期15.00元,全年90.00元,由邮局向全国征订发行,邮发代号4-633。读者可在附近邮局订阅或通过邮政“11185”客户服务中心电话订阅。欢迎广大读者、作者订阅本刊,踊跃来稿。

地址:上海市制造局路639号200011

电话:(021)53315397;传真:(021)63137020;电子信箱:shengwulixue@163.com

网址:www.medbiomechanics.com, www.mechanobiology.cn