DOI:10.16016/j.1000-5404.201605098

婴幼儿潮气呼吸肺功能指标的预计公式模型构建与评价

夏林莺,刘 莎,龚财惠,符 州 (400014 重庆,重庆医科大学附属儿童医院儿科研究所,儿童发育疾病研究教育部重点实验室,儿童发育重大疾病国家国际科技合作基地,儿科学重庆市实验室,重庆医科大学附属儿童医院呼吸中心)

[**摘要**] **目的** 建立及评价西南地区婴幼儿(0~3岁)潮气呼吸肺功能预计公式。**方法** 采用德国JAEGER体积描记肺功能仪(MasterScreen™ Babybody plethysmograph),对来自西南地区166名0~3岁婴幼儿,进行潮气呼吸肺功能共12个指标的测定。通过SPSS18.0统计软件对数据进行处理,首先对各个肺功能指标与肺功能影响因素作相关性分析。二分类资料对各个肺功能指标的影响通过 t 检验进行分析。各个肺功能指标作为方程的因变量,以性别(S)、年龄(A)、身长(L)、体质量(W)为自变量,作多元逐步回归,建立线性多元回归方程。将本研究构建的方程与国外文献中相应年龄范围的正常婴幼儿各个肺功能指标的方程进行比较,采用相对预测误差的平均值(%)=Σ |预计值-实测值|/预计值×100%/n,评价各预计公式的优劣。**结果** 肺功能指标与年龄、体质量、身长及性别相关,婴幼儿呼吸频率与年龄呈直线负相关($r=-0.5$),$RR=30.30-0.06\times A$;婴幼儿潮气量与年龄呈直线正相关($r=0.8$),$V_T=20.80+0.34\times A+4.38\times W+4.91\times S$;峰流速与潮气量的比与年龄呈直线负相关($r=-0.4$),$PTEF/V_T=130.72-0.27\times A-8.98\times S$; 流速指标均与体质量呈直线正相关($r=0.5,0.5,0.6,0.6$),$PEF=25.62+6.88\times W$;$TEF75=20.33+6.99\times W$;$TEF50=23.07+6.39\times W$;$TEF25=0.07+2.57\times W+0.55\times L$。预计公式模型比较后显示,构建的预计模型及Nguyen TT的模型对本研究群体有较好的适用性。**结论** 建立的婴幼儿各项潮气呼吸肺功能指标的预计公式适用于中国西南地区3岁以下儿童的相关指标的预测。潮气呼吸肺功能指标与年龄和/或体质量呈线性相关。

[**关键词**] 肺功能;潮气呼吸;多元线性回归;预计公式
[**中图法分类号**] R174;R195.2;R332.1 [**文献标志码**] A

Modeling and evaluation of reference equations for lung function in tidal breathing measurement among infants and young children

Xia Linying, Liu Sha, Gong Caihui, Fu Zhou (Pediatric Research Institute, Key Laboratory of Child Development and Disorders of Ministry of Education, International Science and Technology Cooperation Base of Child Development and Critical Disorders, Chonqing Key Laboratory of Pediatrics, Center of Respiratory Medicine, Children's Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400014)

[**Abstract**] **Objective** To develop and evaluate the reference equation of tidal breathing parameters for Chinese infants and young children up to 3 years old in the Southwest. **Methods** Pulmonary function tests were measured in 166 infants using the Jaeger BabyBody system with standard protocols. Twelve tidal breathing parameters were analyzed. SPSS software (version 18.0) was used for statistical analyses. Association between each parameter and related variables on lung function were quantified using Pearson correlation. The impact of Dichotomous variables on lung function was analyzed by independent sample t test. Reference equations adjusted for independent variables, *i.e.*, body weight (W) and length (L), age (A), and sex (S) were built using stepwise regression model. A comparison between our estimates and those

[**基金项目**] 重庆医科大学附属儿童医院转化医学/疑难罕见病专项(223-zhyx2013-4)
[**通信作者**] 符 州, E-mail:fu_zhou7979@sina.com
[**优先出版**] http://www.cnki.net/kcms/detail/51.1095.R.20160612.0901.008.html

published reference equations was done by the mean of relative prediction error (RPE%), which was defined as RPE% = Σ | predicted value-observed value | / predicted value * 100%/n. **Results** The following equations described the correlation of tidal breathing parameters to the variables W, L, A and S: V_T (tidal volume) = 20.80 + 0.34 × A + 4.38 × W + 4.91 × S; RR (respiratory rate) = 30.30 − 0.06 × A; PTEF/V_T (peak tidal expiratory flow to tidal volume) = 130.72 − 0.27 × A − 8.98 × S; PEF (peak expiratory flow) = 25.62 + 6.88 × W; TEF75 (tidal expiratory flow when 75% of tidal volume remained in the lungs) = 20.33 + 6.99 × W; TEF50 = 23.07 + 6.39 × W; TEF25 = 0.07 + 2.57 × W + 0.55 × L. Among them, RR and PTEF/V_T were negative linear correlated to age. The correlation coefficient r were −0.5 and −0.4, respectively. In contrast, a positive linear relationship was found between VT and age (r = 0.8) as well as expiratory flow (including both PEF and TEF) and body weight (r = 0.5, 0.5, 0.6, and 0.6 for PEF, TEF75, TEF50, and TEF25). The RPE% analysis indicated that our developed reference equations and equations reported by Nguyen TT were more applicable to 0 ~ 3 years' old infants and children of our population. **Conclusion** Our newly defined reference equations for tidal breathing parameters are applicable for infants and young children up to 3 years old in Southwest China by using commercially available equipment. The tidal breathing parameters are linear related to age and/or weight.

[**Key words**] lung function tests, tidal breathing; multiple regression; predictive equation

Supported by the Special Project of Translational Medicine/Incurable Rare Diseases of the Children's Hospital of Chongqing Medical University (223-zhyx2013-4). Corresponding author: Fu Zhou, E-mail: fu_zhou7979@sina.com

在儿科疾病中呼吸系统疾病发病率占第1位。肺功能检测可以评估肺及呼吸道的发育情况、辅助疾病的诊断、判断病情严重程度及临床疗效[1-2]。临床上肺功能检查结果的正确解释,依赖于与所测量人群相似的正常人群的参考值进行比较,因此,选用合适的肺功能正常参考值,对于正确解读肺功能各指标非常重要[3-4]。

欧洲呼吸协会(European respiratory society, ERS)和美国胸科协会(American thoracic society, ATS)颁布了一系列关于婴幼肺功能测定的操作指南[5-8]。广州呼吸疾病研究所于2002年对我国肺功能检测应用现状进行调查,在71家已开展儿童肺功能临床应用的医院中,仅有12家能明确该室选用了婴幼儿的正常值(年龄范围 < 14岁),但其中大部分选用的是机器自带的国外婴幼儿预计公式[9]。由于尚未在全国开展过统一的婴幼儿肺功能正常值调查,且由于种族和地区的差异,国外的肺功能指标的预计公式是否适合中国的婴幼儿,有待进一步确证。2013年我国肺功能应用现状调查报告指出德国JAEGER肺功能仪器在现今开展肺功能的临床单位中构成比达56.2%[10]。本研究采用德国JAEGER MasterScreen™ Babybody体积描记肺功能仪对0~3岁婴幼儿进行潮气肺功能测定。通过分析婴幼儿肺功能的影响因素(年龄、性别、体质量和身长)[11-12],探索性地建立婴幼儿潮气呼吸肺功能各指标的预计公式。

1 资料与方法

1.1 研究对象

2014年4月到2016年4月,在重庆医科大学附属儿童医院的整形外科和泌尿外科住院部收治的166名3岁以下婴幼儿(男性103人,女性63人,平均年龄1岁4个月),均来自我国西南地区(包括重庆、四川、云南和贵州)。所研究对象均无呼吸系统疾病及心血管系统疾病,无胸廓发育异常。研究对象整形外科仅限多指/趾、并指/趾畸形术前患儿,泌尿外科仅限隐睾术前患儿,不伴其他泌尿系统异常。父母均来自中国西南地区,平时无反复呼吸道感染史,术前胸片检查无异常且在肺功能检测前3周内无上呼吸道感染史。家族中无哮喘等过敏性疾病家族史。本研究获得了重庆医科大学附属儿童医院伦理评审委员会审批,且检测前均征得患儿家属的知情同意。

1.2 测量方法

采用基本信息采集表,在医师的指导下进行填写,采集内容包括性别、民族、胎龄、出生日期、出生体质量、测量日期、出生情况(有无窒息史,有无吸氧史等),分娩方式、母亲怀孕时年龄、家庭中有无吸烟人员及是否与孩子共处一室。对小儿的身长及体质量进行测量[13]。用德国JEAGER公司生产MasterScreen™ Babybody Plethysmograph (CareFusion Germany 234 GmbH, Höchberg, Deutschland)进行测定。环境定标后,用100 mL定标桶进行容量的校正。镇静后,使小

儿仰卧于体描箱操作平台上,待其安静睡眠后开始操作[13]。选用合适的面罩大小(0、1、2 号),并对面罩进行固定,使面罩紧扣于面部。①开始记录的 20 个潮气呼吸环不进入最后的均值计算,以避免面罩对于面部神经的刺激而导致异常的呼吸。②期间判断是否有容量的异常,通过观察流速-容量环是否过小,及潮气每千克体质量的测量值低于 6 mL/kg,但未出现明显的呼吸频率增快时,提示有面罩漏气,需重新对面罩进行调整。③质控:每人均需有 5 次有效测量值,每次记录 20~25 个潮气呼吸。5 次测量值的呼吸频率差异在 0%~5%之间,以保证肺功能测量在平静睡眠期间;5 次测量值的潮气量差异在 0%~5%之间,以保证无面罩漏气。

1.3 主要参数

1.3.1 潮气呼吸 呼吸频率(respiratory rate,RR)、潮气量(tidal volume,V_T)、潮气呼气峰流速(peak expiratory flow,PEF)、呼出 25%潮气量时的呼气流速(tidal expiratory flow when 75% of tidal volume remained in the lungs,TEF75),呼出 50%潮气量时的呼气流速(tidal expiratory flow when 50% of tidal volume remained in the lungs, TEF50),呼出 75%潮气量时的呼气流速(tidal expiratory flow when 25% of tidal volume remained in the lungs, TEF25)。见图 1。

1.3.2 潮气流速-容量环的形状 到达呼气峰流速的时间与总呼气时间之比(达峰时间比)(time to peak tidal expiratory flow as a percentage of total expiratory time,tPTEF/tE),到达呼气峰流速的容积与呼气容积之比(达峰容积比)(volume until peak expiratory flow to total expiratory volume,VPEF/V_E),呼出 75%潮气量时的呼气流速/潮气呼气峰流速(tidal expiratory flow when 25% of tidal volume remained in the lungs as a ratio of peak tidal expiratory flow,TEF25/PTEF),潮气呼气峰流速/潮气量(peak tidal expiratory flow to tidal volume,PTEF/V_T),潮气呼气中期流速与吸气中期流速之比(呼吸中期流速比,tidal expiratory flow when 50% of tidal volume remained in the lungs to tidal inspiratory flow when 50% of tidal volume remained in the lungs,TEF50/TIF50),吸气时间/呼气时间(ratio of inspiratory time to expiratory time,TI/TE)。见图 1。

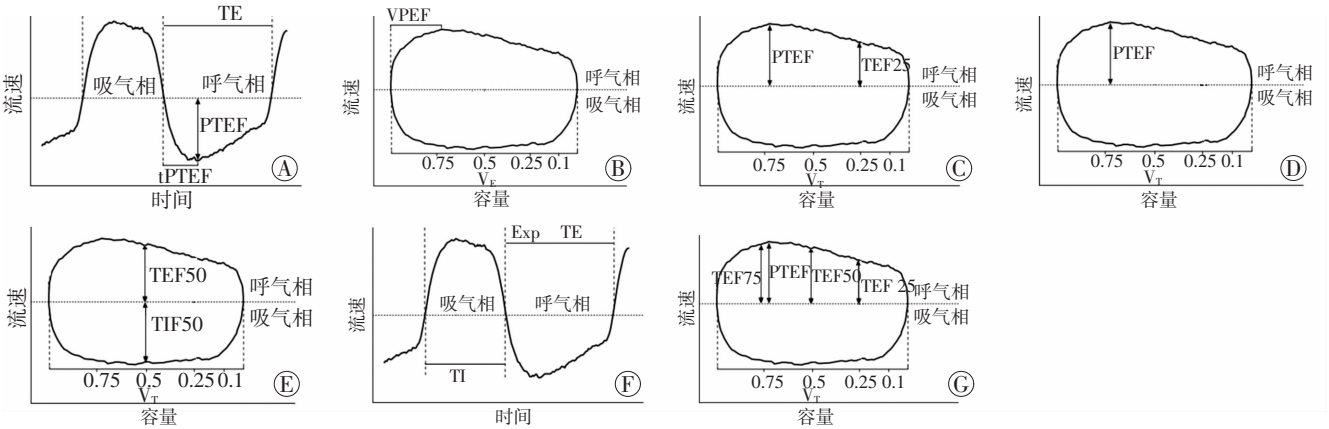
1.4 统计学处理

采用 SPSS 18.0 统计软件。首先检验各个肺功能指标与肺功能影响因素(年龄、身长、体质量、出生体质量,母亲怀孕时的年龄,胎龄)作相关性分析。性别、民族、烟草暴露、分娩方式等二分类变量对各个肺功能指标的影响通过 t 检验进行分析。各个肺功能指标作为方程的因变量,以性别(S)、年龄(A)、身长(L)、体质量(W)为自变量,作多元逐步回归,建立线性多元回归方程。变量选择阈值设定为入选变量 $P<0.05$,剔除变量 $P>0.10$,方程中自变量个数相同时以拟合方程的决定系数 R^2 值最大为最佳预计方程。采用相对预测误差的平均值(%)=Σ|预计值-实测值|/预计值×100%/n,对本研究构建的方程与国外文献中的方程进行比较,以评价各预计公式的优劣[11]。

2 结果

2.1 基本信息表

2014 年 4 月到 2016 年 4 月于我院整形外科及泌尿外科收治的 3 岁以下婴幼儿 166 名。其中男性 103 名(62.0%),汉族 142 名(85.5%),分娩方式为剖宫产的 93 名(56.0%),有烟草暴露的 68 名(41.0%),出生体质量(3.3±0.4)kg(2.5~5.8 kg),胎龄(39.6±1.1)周(36.0~42.4 周)。



A:达峰时间比;B:达峰容积比;C:呼出 75%潮气量时的呼气流速/潮气呼气峰流速;D:峰流速与潮气量的比;E:呼吸中期流速比;F:吸气与呼气时间比;G:流速指标

图 1 潮气肺功能参数变化

2.2　基本测量及潮气各指标测量值表

对166名年龄范围在11.6~153.5周的婴幼儿,进行肺功能的检测。其中7人镇静效果不佳。最终159人参与了潮气肺功能的测定,24人婴幼儿的呼吸频率变异系数>5%,13人婴幼儿的潮气量变异系数>5%,最终有效测量122人(男性76人,女性46人),其中<6月龄的婴幼儿4人,6~12月龄婴幼儿33人,12~24月龄婴幼儿66人,>24月龄婴幼儿19人。潮气变异率为0.6%~5%,呼吸频率变异率为0.7%~5%。基础测量及各项潮气指标测量值见表1。

2.3　潮气各指标及各计量资料变量的正态性检验

潮气各项指标、年龄、身长及体质量的Q-Q图见图2~4,图形散点基本上分布在对角线上,各测量指标呈正态分布,满足回归分析建模条件。

2.4　潮气各指标及计量资料的变量的相关性分析

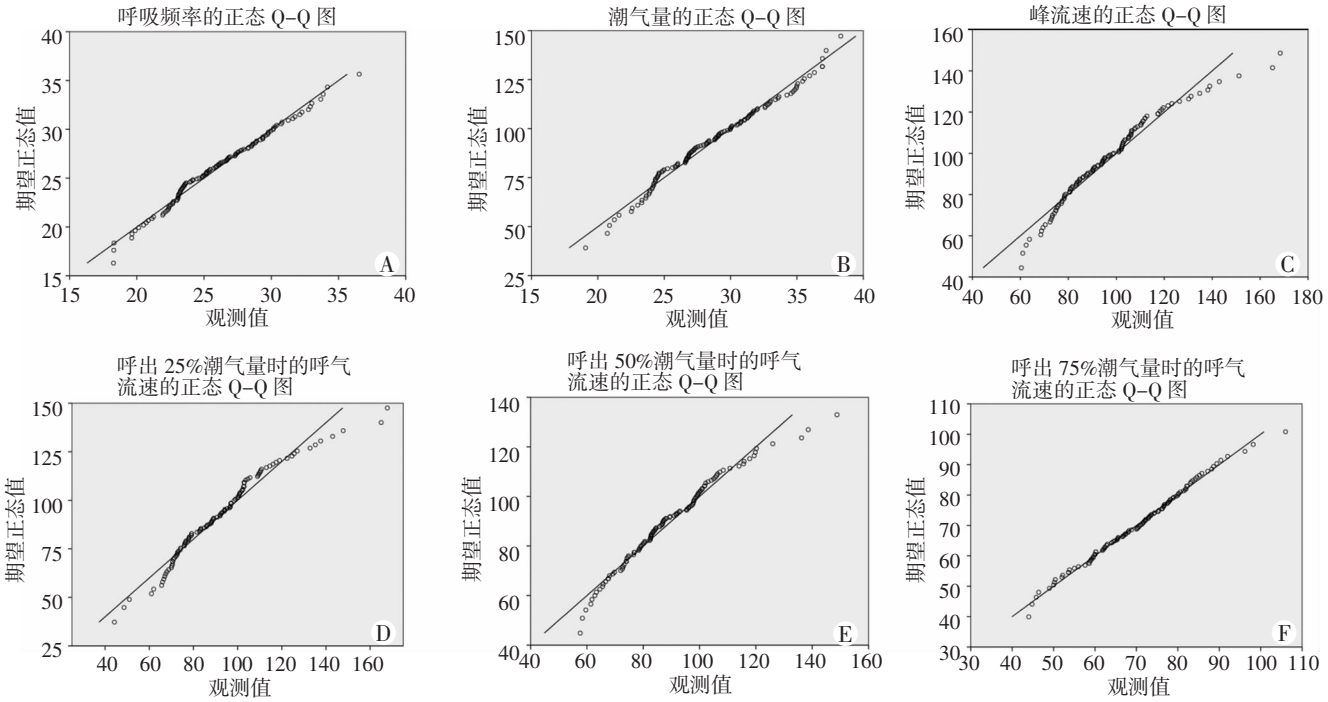
相关性检验结果提示身长、体质量、年龄与潮气功能各指标(RR,V_T,PTEF/V_T,PEF,TEF75,TEF50,TEF25)相关性具统计学意义。潮气各指标与潜在相关变量的相关性分析的相关系数r值见表2。

2.5　潮气各指标及计数资料变量的独立样本t检验

独立样本t检验结果提示部分潮气功能指标(潮气量、潮气呼气峰流速/潮气量、呼出75%潮气量时的呼气流速/峰流速,呼出75%潮气量时的呼气流速)存在性别差异,其差值的均值[可信区间]分别为12.9[95% *CI* 5.8,20],-12.3[95% *CI* -19.9,-4.6],4.7[95% *CI* 1.0,8.3],5.9[95% *CI* 1.6,10.1]。烟草暴露对呼出75%潮气量时的呼气流速有影响,其差值的均值[可信区间]为5.7[95% *CI* 1.4,10.0]。

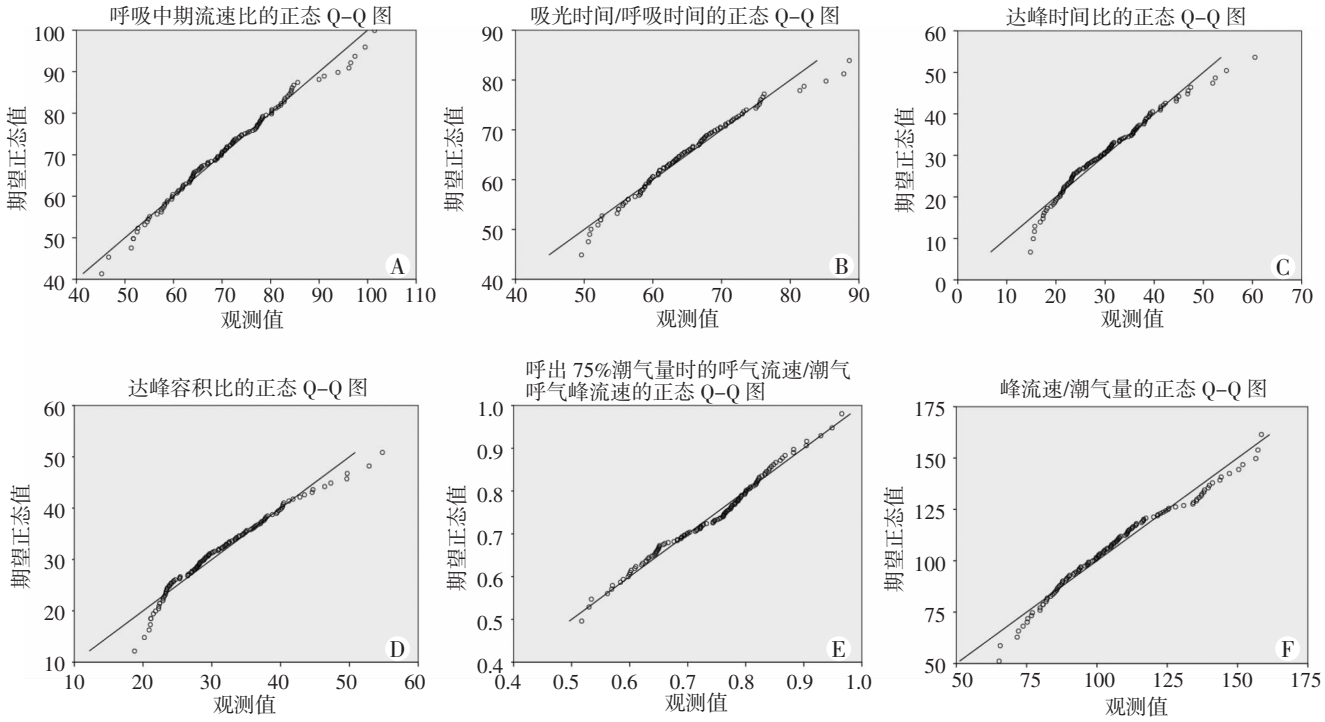
表1　婴幼儿基本信息及各潮气指标测量数据

指标	测量次数	$\bar{x}\pm s$	范围
年龄(周)	166	69.8±31.8	11.6~153.5
体质量(kg)	166	10.2±1.7	5.3~15.4
身长(cm)	166	78.7±7.7	53.0~95.4
V_T(mL)	122	93.2±21.0	45.3~141.5
V_T/kg(mL/kg)	122	9.0±1.4	6.0~12.7
RR(min^{-1})	122	26.0±3.8	18.3~36.5
tPTEF/tE(%)	122	30.2±9.1	14.8~60.5
VPEF/V_E(%)	122	31.5±7.5	18.8~54.8
TEF_{25}/PTEF(%)	122	73.8±9.4	51.7~96.5
PTEF/V_T(%)	122	106.3±21.5	65.2~158.5
TEF_{50}/TIF_{50}(%)	122	70.6±11.4	45.2~101.4
TI/TE(%)	122	64.4±7.6	49.6~88.6
PEF(mL/s)	122	96.5±20.3	60.4~168.4
TEF_{75}(mL/s)	122	92.4±21.5	44.2~167.8
TEF_{50}(mL/s)	122	88.9±17.2	57.6~148.8
TEF_{25}(mL/s)	122	70.4±11.9	44.0~106



A:呼吸频率;B:潮气量;C:峰流速;D:呼出25%潮气量时的呼气流速;E:呼出50%潮气量时的呼气流速;F:呼出75%潮气量时的呼气流速

图2　潮气呼吸参数的Q-Q图形



A:呼吸中期流速比;B:吸气时间/呼气时间;C:达峰时间比;D:达峰容积比;E:呼出 75% 潮气量时的呼气流速/潮气呼气峰流速;F:峰流速/潮气量

图 3 潮气流速-容量环的形状描述参数的 Q-Q 图形

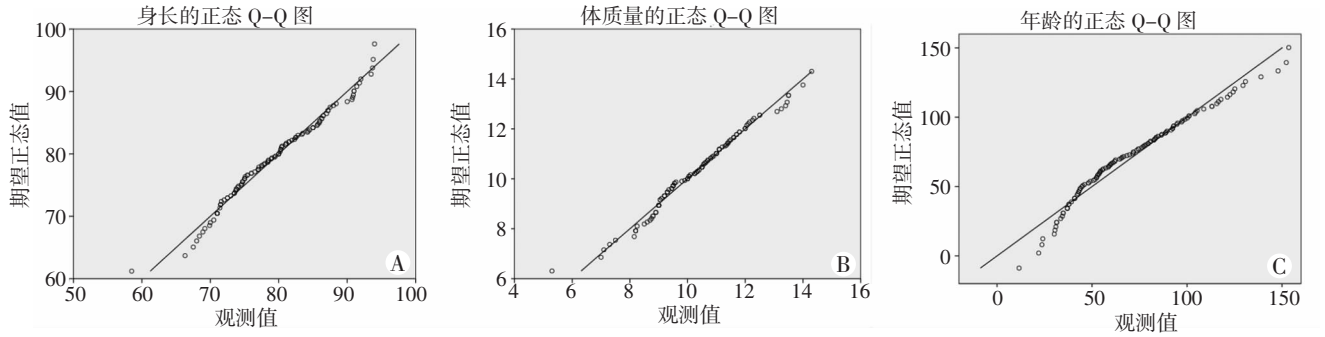


图 4 身长(A)、体质量(B)、年龄(C)的 Q-Q 图形

表 2 潮气各指标与婴儿基本信息各变量的相关性分析(相关系数 *r*)

指标	身长(cm)	体质量(kg)	年龄(周)	出生体质量(kg)	胎龄(周)	母亲怀孕时年龄
RR, /min	-0.5[a]	-0.4[a]	-0.5[a]	-0.1	0.0	0.1
V_T, mL	0.8[a]	0.7[a]	0.8[a]	0.1	-0.1	0.1
tPTEF/tE, %	0.0	-0.1	0.1	-0.0	-0.2	-0.1
VPEF/V_E, %	0.1	-0.0	0.1	-0.0	-0.1	-0.2
TEF25/PTEF, %	0.0	-0.0	0.1	0.0	-0.1	0.1
PTEF/V_T, %	-0.4[a]	-0.3[a]	-0.4[a]	-0.1	0.1	0.2
TEF50/TIF50, %	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.1
TI/TE, %	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1	-0.0	-0.0
PEF, mL/s	0.5[a]	0.5[a]	0.4[a]	0.1	0.1	0.2
TEF75, mL/s	0.5[a]	0.5[a]	0.4[a]	0.0	0.1	0.2
TEF50, mL/s	0.5[a]	0.6[a]	0.5[a]	0.1	0.0	0.2
TEF25, mL/s	0.6[a]	0.6[a]	0.6[a]	0.1	-0.1	0.1

a:$P \leqslant 0.01$,与 0 相关比较

2.6 潮气各指标的回归分析结果

年龄、体质量、性别、身长,进入预计模型。婴幼儿呼吸频率与年龄呈直线负相关($r=-0.5$);婴幼儿潮气量与年龄呈直线正相关($r=0.8$);峰流速与潮气量的比与年龄呈直线负相关($r=-0.4$);流速指标均与体质量呈直线正相关($r=0.5,0.5,0.6,0.6$)。分析结果见表3。

表3 潮气各指标的回归分析结果

潮气参数	预计公式	R^2
RR,/min	$30.30-0.06\times A$	0.25
V_T, mL	$20.80+0.34\times A+4.38\times W+4.91\times S$	0.65
PTEF/V_T, %	$130.72-0.27\times A-8.98\times S$	0.22
PEF, mL/s	$25.62+6.88\times W$	0.28
TEF_{75}, mL/s	$20.33+6.99\times W$	0.26
TEF_{50}, mL/s	$23.07+6.39\times W$	0.34
TEF_{25}, mL/s	$0.07+2.57\times W+0.55\times L$	0.41

A:年龄单位为周; W:体质量单位为kg; L:身长单位为cm; S:性别(男为1,女为0)

2.7 潮气各指标预计公式与文献报道的预计公式比较分析结果

将本研究构建的方程与国外文献中的方程通过相对预测误差的平均值进行比较。比较结果见表4。

3 讨论

平静呼吸状态下描记的潮气流速容量曲线(tidal breath flow-volume loop, TBFVL),峰流速及潮气量的变化决定了TBFV环的形态。由于婴幼儿呼吸系统解剖生理特点,健康婴幼儿TBFV环呈不典型圆形,主要是呼气高峰(PEF)靠前,降支较倾斜[14]。这种情况在小婴儿更为明显,小婴儿的膈肌在呼气初的活动性较低,使呼气流速在呼气开始后较快到高峰,因此PEF出现较早,随月龄增大,呼气高峰后移,降支抬高,PEF与TEF75较为接近,呼气曲线渐趋光滑,TBFV环增宽呈椭圆形。

Kotecha[15]指出36~37周的晚期早产儿的肺功能与足月儿差异无统计学意义。因此我们将纳入的婴幼儿的胎龄范围放宽到36~42周。本研究对象胎龄范围36~42.4周,其中有4人胎龄在36~37周。中国除台湾地区外[12],还未有关于婴幼儿预计公式的报道,婴幼儿预计公式的建立有助于对我国婴幼儿肺功能进行更为准确的评价。在构建预计公式时,为了便于对最终结果的解释,未对自变量作变量变换或对变量作乘积。因婴幼儿呼吸肌发育不全,胸廓活动范围较成人小,使潮气量受到限制。开始行走后,从胸式呼吸逐渐变为胸腹式呼吸,故随着年龄的增长,潮气量逐渐增大。小儿代谢旺盛,需氧高,为满足代谢的需要,采取浅快呼吸以弥补V_T小进而增加每份通气量(minute ventilation, $MV=V_T\times RR$),故年龄越小,呼吸频率越快。出生后3年内由于肺泡的发育逐渐完全,潮气量随年龄逐渐增加而增加,但PTEF/V_T随年龄的增加而减小,说明婴幼儿生长过程中肺容量的增加快于流速的增快[16]。国内外暂无关于婴幼儿潮气呼吸流速指标的预计公式或正常值的报道。婴幼儿潮气呼吸肺功能流速指标主要与体质量有关,推测体质量对流速指标的影响主要是生长发育对肺功能的影响。关于性别对潮气量的影响,其原因可能是由于研究样本中男性的年龄大于女性12.4[95% *CI* 1.1,23.7],导致最终的公式中存在性别差异。烟草暴露对呼出75%潮气量时的呼气流速有影响,这一发现与Jedrychowski[17]的报道一致。本研究烟草暴露的阳性定义为,若家庭吸烟者在吸烟时与受试者共处一室,则为阳性。本研究的烟草暴露信息通过受试者家属的问卷,后期可进一步采集唾液、尿液进行尼古丁定性定量分析,佐证该结论。分娩方式对婴幼儿的肺功能无影响,可能由于本研究群体年龄范围集中在6~24月龄。贺湘玲[17]指出,剖宫产对肺功能的影响呈自限性,生后24 h,剖宫产新生儿与阴道自然分娩的新生儿的肺功能差异无统计学意义。

表4 文献报道的潮气呼吸各指标预计公式比较分析

潮气参数	国内外文献	预计公式	校正 R^2	相对预测误差的平均值
RR/min	Our	$30.30-0.06\times A$	0.25	10.13
	Nguyen TT 2013	$2.59+1876.03/L+38.91/A$		10.47
	Lai SH 2015	$48.31-0.28\times L$		10.17
V_T, mL	Our	$20.80+0.34\times A+4.38\times W+4.91\times S$	0.65	10.27
	Nguyen TT 2013	$-38.35+1.13\times L+0.20\times A+3.69\times W$		10.47
	Lai SH 2015	$-101.39+2.46\times L$		11.22

A:年龄单位为周; W:体质量单位为kg; L:身长单位为cm; S:性别(男为1,女为0)

通过与其他研究者报道的潮气量及呼吸频率的预计公式进行比较后发现,Nguyen[11]于2013年所报道高加索人种的预计公式对本次研究的潮气肺功能指标有较好的适用性,且其研究的婴幼儿的年龄范围与本研究相近。2015年中国台湾地区由Lai[12]报道的潮气呼吸频率的预计公式,其预计结果与实测值差异最小,对本研究的样本群体有较好的适用性。而Quanjer[19]报道亚洲人和欧洲人的成人用力肺通气功能指标是有差异的。推测可能由于婴幼儿期的肺功能人种差异还未体现,但该推测仍需其他中心的潮气正常值相关研究结果进一步验证。因此本研究的预计公式适用于中国尤其是西南地区婴幼儿潮气呼吸肺功能相应各指标的评价。

参考文献:

[1] Santos N, Almeida I, Couto M, *et al*. Feasibility of routine respiratory function testing in preschool children[J]. Rev Port Pneumol, 2013, 19(1): 38-41. DOI:10.1016/j.rppneu.2012.09.004

[2] Godfrey S, Springer C, Bar-Yishay E. Evaluating the lung function of infants[J]. Isr Med Assoc J, 2009, 11(8): 492-497.

[3] Stocks J, Modi N, Tepper R. Need for healthy control subjects when assessing lung function in infants with respiratory disease[J]. Am J Respir Crit Care Med, 2010, 182(11): 1340-1342. DOI:10.1164/rccm.201008-1338ED

[4] Lum S, Hoo A F, Hulskamp G, *et al*. Potential misinterpretation of infant lung function unless prospective healthy controls are studied[J]. Pediatr Pulmonol, 2010, 45(9): 906-913. DOI:10.1002/ppul.21255

[5] Gaultier C, Fletcher M E, Beardsmore C, *et al*. Respiratory function measurements in infants: measurement conditions. Working Group of the European Respiratory Society and the American Thoracic Society[J]. Eur Respir J, 1995, 8(6): 1057-1066.

[6] Frey U, Stocks J, Coates A, *et al*. Specifications for equipment used for infant pulmonary function testing. ERS/ATS Task Force on Standards for Infant Respiratory Function Testing. European Respiratory Society/ American Thoracic Society[J]. Eur Respir J, 2000, 16(4): 731-740.

[7] Bates J H, Schmalisch G, Filbrun D, *et al*. Tidal breath analysis for infant pulmonary function testing. ERS/ATS Task Force on Standards for Infant Respiratory Function Testing. European Respiratory Society/American Thoracic Society[J]. Eur Respir J, 2000, 16(6): 1180-1192.

[8] Iyer V N, Schroeder D R, Parker K O, *et al*. The nonspecific pulmonary function test: longitudinal follow-up and outcomes. [J]. Chest, 2011, 139(4): 878-886.

[8] Hyatt R E, Scanlon P D, Nakamura M. Interpretation of pulmonary function tests[M]. Lippincott Williams & Wilkins, 2014.

[9] 郑劲平. 我国肺功能检测应用现状的调查和分析[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2002, 25(2): 8-12.

[10] 郭娥. 我国肺功能应用现状调查[D]. 广州: 广州医科大学, 2013.

[11] Nguyen T T, Hoo A F, Lum S, *et al*. New reference equations to improve interpretation of infant lung function[J]. Pediatr Pulmonol, 2013, 48(4): 370-380. DOI: 10.1002/ppul.22656

[12] Lai S H, Liao S L, Yao T C, *et al*. Respiratory Function in Healthy Taiwanese Infants: Tidal Breathing Analysis, Passive Mechanics, and Tidal Forced Expiration[J]. Plos one, 2015, 10(11): e0142797. DOI: 10.1371/journal.pone.0142797

[13] 夏林莺, 刘莎, 龚财惠, 等. 婴幼儿功能残气量的预测模型构建与评价[J]. 中国卫生统计, 2016, 33(1): 35-38.

[14] 吴冀川, 樊寻梅, 刘玺成, 等. 健康婴幼儿潮气流速容量曲线特点及意义[J]. 实用儿科临床杂志, 1999, 14(1): 11-12. DOI:10.3969/j.issn.1003-515X.1999.01.006

[15] Kotecha S J, Watkins W J, Paranjothy S, *et al*. Effect of late preterm birth on longitudinal lung spirometry in school age children and adolescents[J]. Thorax, 2012, 67(1): 54-61. DOI:10.1136/thoraxjnl-2011-200329

[16] 张皓, 肖现民, 郑珊, 等. 1002例4岁以下小儿潮气呼吸流速-容量环正常值的研究[J]. 临床儿科杂志, 2006, 24(6): 486-488. DOI:10.3969/j.issn.1000-3606.2006.06.021

[17] Jedrychowski W A, Perera F P, Spengler J D, *et al*. Intrauterine exposure to fine particulate matter as a risk factor for increased susceptibility to acute broncho-pulmonary infections in early childhood[J]. Int J Hyg Environ Health, 2013, 216(4): 395-401. DOI: 10.1016/j.ijheh.2012.12.014

[18] 贺湘玲, 张兵, 陈敏, 等. 剖宫产儿潮气呼吸肺功能的动态变化[J]. 中国新生儿科杂志, 2007, 22(1): 2-5. DOI:10.3969/j.issn.1673-6710.2007.01.002

[19] Quanjer P H, Stanojevic S, Cole T J, *et al*. Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3-95-yr age range: the global lung function 2012 equations[J]. Eur Respir J, 2012, 40(6): 1324-1343. DOI: 10.1183/09031936.00080312

(**收稿**:2016-05-22;**修回**:2016-06-07)

(编辑 黄 超)