

研究论文

儿童青少年脂肪体重、去脂体重和肺通气功能的关系

王丹阳¹, 冯 逵^{1,*}, 陈 莉¹, 祖淑玉¹, 韩少梅², 朱广瑾¹

中国医学科学院基础医学研究所, 北京协和医学院基础学院¹ 生理与病理生理学系; ² 流行病学与统计学系, 北京 100005

摘 要: 本文旨在研究儿童青少年去脂体重(fat free mass, FFM)、脂肪体重(fat mass, FM)和肺通气功能的关系。随机抽取黑龙江省 10~18 岁健康儿童青少年 1 174 人(男性 583 人, 女性 591 人), 测量身高、体重和腰臀比(waist to hip ratio, WHR), 使用身体成分测量仪和肺功能仪分别测量 FFM、FM 和肺通气功能, 采用独立样本 *t* 检验、偏相关和多元逐步回归分析 FFM、FM 和肺通气功能的关系。结果显示, 无论性别, 受试者年龄与去脂体重指数(FFM index, FFMI)呈正相关($P<0.001$)。男性年龄和脂肪体重指数(FM index, FMI)呈负相关($P<0.001$), 女性年龄和 FMI 呈正相关($P<0.001$)。无论性别, 受试者 FFMI 与用力呼气肺活量(forced vital capacity, FVC)、用力呼气一秒量(forced expiratory volume in one second, FEV1)、最大呼气流量(peak expiratory flow, PEF)、用力呼出 25% 肺活量时呼气流量(forced expiratory flow at 25% of forced vital capacity, FEF25%)、FEF50% 和最大呼气中段流量(maximum mid-expiratory flow, MMEF)都呈正相关($P<0.05$), 与 FEV1/FVC 呈负相关($P<0.01$)。男性 FFMI 与 FEF75% 正相关($P<0.05$), 女性 FFMI 与 FEF75% 不相关。男性 FMI 与 FEV1、FEV1/FVC、PEF、FEF25%、FEF50%、FEF75% 和 MMEF 呈负相关($P<0.05$), 而与 FVC 不相关。女性 FMI 与肺通气功能的指标均不相关。除男性 FEV1/FVC 和 FEF75% 外, 无论性别, FFMI 对肺通气功能指标的预测作用大于 FMI。FFMI 对男性肺通气功能预测作用大于女性。男性肺功能突增发生在 12~15 岁: FVC 较前一个年龄段分别增加 10.05%、20.41%、11.75% 和 9.00%, FEV1 分别较前一年龄段增加 11.38%、20.07%、12.01% 和 9.14%。女性肺功能突增发生在 12、13 和 18 岁: FVC 较前一年龄段分别增加 13.73%、9.07% 和 9.76%, FEV1 较前一年龄段分别增加 13.17%、11.12% 和 10.62%。在肺功能突增期, 无论性别, FFMI 对肺功能的预测作用大于年龄的预测作用。综上所述, 无论性别, 反映骨骼肌力的 FFM 与肺通气功能呈正相关, 对男性肺通气功能的预测作用大于女性。FM 与男性肺通气功能呈负相关, 而与女性肺通气功能不相关。在肺功能突增期, 身高和 FFM 的快速增长可能是造成肺功能快速增长的主要原因。

关键词: 儿童; 青少年; 身体成分; 用力呼气流量; 用力肺活量; 生长突增

中图分类号: R332

Relation between fat mass, fat free mass and ventilatory function in children and adolescents

WANG Dan-Yang¹, FENG Kui^{1,*}, CHEN Li¹, ZU Shu-Yu¹, HAN Shao-Mei², ZHU Guang-Jin¹

¹Department of Physiology and Pathophysiology; ²Department of Epidemiology and Statistics, Institute of Basic Medical Sciences, Chinese Academy of Medical Sciences, Peking Union Medical College, Beijing 100005, China

Abstract: The aim of the present study was to evaluate the relation between fat mass (FM), fat free mass (FFM) and ventilatory function in children and adolescents. 1 174 healthy children and adolescents (583 males and 591 females) aged 10-18 years were selected from Heilongjiang Province through random sampling by means of questionnaire and physical examination, and measured for height, weight, waist to hip ratio (WHR), FM, FFM and ventilatory function. The data were analyzed by means of independent-samples *t* test, Pearson correlation analysis and multi-factors regression analysis. Regardless of sex, an independent positive correlation was found ($P<0.001$) between age and FFM index (FFMI). FM index (FMI) correlated negatively with age in males ($P<0.001$), but positively

Received 2010-06-07 Accepted 2010-08-13

This work was supported by Key Basic Research Program of Ministry of Science and Technology of China (No. 2006FY110300) and National Key Technology Research and Development Program, China (No. 2008BAI52B02)

*Corresponding author. Tel: +86-10-65296464; Fax: +86-10-65296476; E-mail: fengkui@sina.com

with age in females ($P<0.001$). Regardless of sex, FFMI correlated positively with forced vital capacity (FVC), forced expiratory volume in one second (FEV1), peak expiratory flow (PEF), forced expiratory flow at 25% of forced vital capacity (FEF25%), FEF50%, and maximal mid-expiratory flow (MMEF) ($P<0.05$), while negatively with FEV1/FVC ($P<0.01$). FFMI was correlated positively with FEF75% in males ($P<0.05$), but not correlated in females. In males, FMI correlated negatively with FEV1, FEV1/FVC, PEF, FEF25%, FEF50%, FEF75% and MMEF ($P<0.05$), but not correlated with FVC. No correlation was found between the ventilatory function indices and FMI in females. Except FEV1/FVC and FEF75% in males, the effect of FFMI in predicting ventilatory function was higher than FMI regardless of sex. Moreover, the predicting effect of FFMI was higher in males than that in females. Growth spurt of lung function occurred in the ages of 12-15 years in males, while in the ages of 12, 13 and 18 years in females. During the period of growth spurt of lung function, regardless of sex, the effect of FFMI in predicting the lung function was higher than that of age. In conclusion, regardless of sex, FFMI correlates positively with ventilatory function, as a reflection of muscle mass. The effect of FFM in predicting ventilatory function is higher in males than that in females. FM correlates negatively with ventilatory function in males, but not in females. The rapid growth of height and FFM are possibly the main reasons for growth spurt of lung function.

Key words: child; adolescent; body composition; forced expiratory flow rates; forced vital capacity; growth spurt

根据身体成分在代谢中的作用,一般将体重分为脂肪体重(fat mass, FM)和去脂体重(fat free mass, FFM)。FM是指能用乙醚提取的纯脂肪的重量,而FFM则是包括肌肉、骨骼及其他器官组织的重量,其中主要部分是肌肉,其化学组成为蛋白质^[1]。FFM是反映肌肉力量大小的良好指标^[2,3]。大量研究表明,身体成分和儿童青少年呼吸系统疾病密切相关:非洲儿童青少年镰刀性红细胞贫血病(sickle cell disease)患者常伴发FFM的下降,导致肺通气功能的降低^[4],而肥胖儿童青少年发生哮喘的几率比正常儿童青少年高^[5-8]。国内外在儿童青少年中开展的有关研究表明,身体成分对肺功能有明显影响:FM增加使肺通气功能下降,而FFM增加则使肺通气功能增强^[9-14]。考察非疾病人群的身体成分与肺通气功能的关系有助于加深对相关疾病病理生理的认识,同时对监测儿童青少年肺生长发育以及各种相关疾病的预防诊断等也具有重要意义。目前国内尚未有大人儿童青少年FM、FFM与肺通气功能关系的研究报道;此外,国内外有关研究均未考察儿童青少年肺功能突增(growth spurt)期身体成分和肺通气功能的关系。本文利用本课题组承担的科技部基础性专项“人体生理常数数据库扩大人群调查”中黑龙江省的人群资料,探讨分析儿童青少年FM、FFM与肺通气功能的关系,以期阐明FM、FFM与常用肺通气功能指标的相关性及二者和儿童青少年肺功能突增的关系。

1 对象和方法

1.1 检测对象 以2008年7月至10月在黑龙江

省调查现场进行的人体生理常数调查资料为基础,选取已通过问卷调查、体检、肺功能检查的10~18岁儿童青少年受试者1 174人,其中男性583人,女性591人。此调查工作经过中国医学科学院基础医学研究所伦理委员会批准,并取得了受试者和受试者监护人的书面知情同意。本工作以1岁为一个年龄段。

1.2 检测方法

1.2.1 人群筛选调查 采用分层整群抽样方法,在黑龙江省按城乡分层,在城市和农村各选取2个点,对9岁以上(不包括9岁)人群进行检测,样本量为15 000名。受试者首先填写调查问卷,内容主要包括人口学特征、健康状况(慢性病史等)、生活习惯(吸烟史、饮酒史、饮食情况等)等内容。随后进行体格检查,包括身高、体重、三围、心率、血压、心电图、心功能、血常规、血液生化等项目。

1.2.2 肺功能受试者入选标准 本项目抽样过程考虑了城乡、职业、性别及年龄的差别。入选标准为:(1)身体发育正常;(2)无心、肺、肝、肾等脏器的器质性疾病、无各类慢性疾病;(3)近期无感冒、发热等急性疾病;(4)血液检验指标正常。从合格者中选取约25%进行肺功能检测。为减少混杂因素,去除有吸烟史者。

1.2.3 项目质控 为保证调查数据的可靠性和准确性,数据质控小组当天在现场对每天的调查问卷均进行数据审查(完整率98%),使用EpiData 3.0软件对调查表数据进行双录入和核对。所有用仪器测量的数据均由仪器直接转出,数据准确性100%。

1.2.4 身体成分测定 人体成分分析仪的工作原

理为：人体是由脂肪与非脂肪物质组成，非脂肪组织含有大量的水分，是电的良好导体，而脂肪是含水量较少的物质，是电的不良导体，通过导入人体一定频率的电流，测量人体的电阻值，可以间接测量人体的体脂含量^[15]。受试者 24 h 内未饮酒，禁食 4 h 以上，无剧烈运动。本研究采用美国 Biodynamics 公司 310e 型人体成分分析仪，根据受试者性别、年龄、身高、体重等参数，计算出受试者 FM、FFM。为排除身高影响，按以下公式计算 FM 指数(FM index, FMI)和 FFM 指数(FFM index, FFMI)：FMI=FM (kg)/ 身高的平方(m²)，FFMI=FFM (kg)/ 身高的平方(m²)。

1.2.5 肺功能检查 应用德国 Jaeger 公司 Scope Rotary 便携式肺功能仪(型号为 Master Screen Rotary, 软件版本为 Lab5.10)进行肺通气功能检查。测定取坐位，受试者处于安静状态下。肺通气功能测量指标包括用力呼气一秒量(forced expiratory volume in one second, FEV1)、用力呼气肺活量(forced vital capacity, FVC)、一秒率(FEV1/FVC)、最大呼气流量(peak expiratory flow, PEF)、用力呼出 25% 肺活量时呼气流量(forced expiratory flow at 25% of forced vital capacity, FEF25%)、FEF50%、FEF75%、最大呼气中段流量(maximum mid-expiratory flow, MMEF)。

1.2.6 肺功能检查质控 测试人员固定、仪器固定、方法固定。肺功能仪每天使用前用 3 000 mL 标准容积定标筒标化，并做室温、湿度、海拔、气压校正。操作者对受试者培训并示范；参照美国胸科协会要求流速容量曲线无差异，时间容量曲线示呼气相出现平台^[16,17]。受试者须连续 3 次或多次测试，直到合格为止，取最佳值。

1.3 统计学处理 计量资料数据以 means±SD 表示。使用 SPSS15.0 进行统计分析。组间比较采用独立样本 *t* 检验，使用 Pearson 相关分析观察年龄和 FFMI 和 FMI 的关系以及 FFMI、FMI 和肺通气功能指标的关系。通过多元逐步回归分析判断 FM、FFM 对肺通气功能预测作用的大小。使用单因素方差分析考察 FVC 和 FEV1 随年龄变化趋势。*P*<0.05 时认为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 调查儿童青少年的人口学特征、身体成分和肺通气功能的一般情况

表 1 为受试人群的人口学特征、身体成分和肺通气功能一般情况。从表 1 中可见不同性别间年龄差异无统计学意义，男性身高、腰臀比和腰围均高于女性(*P*<0.001)。受试人群男性 FFMI 大于女性，而男性 FMI 小于女性(*P*<0.001)。男性一秒率(FEV1/FVC)小于女性(*P*<0.001)，其他肺通气功能指标男性都大于女性(*P*<0.001)。

表 1. 受试人群的人口学特征、身体成分和肺通气功能一般情况
Table 1. Anthropometric, body composition and respiratory parameters of the studied participants

	Male (n=583)	Female (n=591)
Age (years)	14.38±2.13	14.35±2.20
Height (cm)	163.71±11.87 [#]	157±7.67
WHR	0.82±0.06 [#]	0.77±0.05
WC (cm)	72.12±10.04 [#]	67.82±8.23
FMI (kg/m ²)	1.81±1.77 [#]	3.34±1.82
FFMI (kg/m ²)	18.58±2.64 [#]	16.73±1.95
FVC (L)	3.98±1.01 [#]	3.07±0.57
FEV1 (L)	3.67±0.93 [#]	2.93±0.53
FEV1/FVC (%)	92.41±5.67 [#]	95.64±4.38
PEF (L/s)	8.03±2.17 [#]	6.51±1.15
FEF25% (L/s)	6.95±1.96 [#]	5.96±1.13
FEF50% (L/s)	4.9±1.54 [#]	4.34±1.00
FEF75% (L/s)	2.59±1.05 [#]	2.36±0.75
MMEF (L/s)	4.40±1.44 [#]	3.91±0.93

WHR: waist to hip ratio; WC: waist circumference; FMI: fat mass index; FFMI: fat free mass index; FVC: forced vital capacity; FEV1: forced expiratory volume in one second; PEF: peak expiratory flow; FEF25%: forced expiratory flow at 25% of forced vital capacity; FEF50%: forced expiratory flow at 50% of forced vital capacity; MMEF: maximal mid-expiratory flow; FEF75%: forced expiratory flow at 75% of forced vital capacity. MMEF: maximal mid-expiratory flow. [#]*P*<0.001 vs Female.

2.2 男、女性儿童青少年年龄与 FFMI、FMI 相关性分析

由于 FFMI 与 FMI 存在正相关关系(男性 *r*=0.316, *P*<0.001; 女性 *r*=0.401, *P*<0.001)，因此在观察年龄与二者关系时，通过偏相关分析分别将二者作为混杂因素加以控制(如在观察年龄和 FFMI 关系时，把 FMI 作为混杂因素加以控制)，结果显示，无论性别，受试者年龄与 FFMI 呈显著正相关(男性 *r*=0.519, *P*<0.001; 女性 *r*=0.122, *P*<0.001)，年龄和 FMI 的关系存在性别差异：男性年龄和 FMI 呈负相关(*r*=-0.372, *P*<0.001)，而女性年龄和 FMI 呈正相关(*r*=0.257, *P*<0.001)。

2.3 男、女性儿童青少年 FFMI、FMI 与肺通气功能各指标相关性分析

年龄、身高对肺功能有明确作用, 而 FFMI、FMI 对肺通气功能也可能有影响, 因此在观察二者与肺通气功能关系时, 通过偏相关分析将年龄、身高和 FFMI、FMI 二者之一加以控制。结果显示: 无论性别, 受试者 FFMI 与 FVC、FEV1、PEF、FEF25%、FEF50% 和 MMEF 都呈正相关($P<0.05$), 与 FEV1/FVC 呈负相关($P<0.01$)。男性 FFMI 与 FEF75% 呈正相关, 而女性 FFMI 与 FEF75% 不相关(表 2)。男性 FMI 与 FEV1、FEV1/FVC、PEF、FEF25%、FEF50%、FEF75% 和 MMEF 都呈负相关($P<0.05$), 而与 FVC 不相关。女性 FMI 与肺通气功能各指标均无相关性(表 3)。

2.4 儿童青少年肺通气功能指标影响因素多元回归分析

以与身体成分指标相关的肺通气各指标为应变量, 年龄、身高、FFMI、FMI 为自变量分性别进行多元逐步回归, 结果显示: 无论性别, 受试者肺通气功能各指标与年龄呈正相关, 除 FEV1/FVC 外, 肺通气功能各指标与身高呈正相关。无论性别, FFMI 升高时 FVC、FEV1、PEF、FEF25%、FEF50% 和 MMEF 均升高。男性 FFMI 升高时 FEF75% 也升高。男性 FMI 升高时 FEV1/FVC、PEF 和 FEF75% 都降低, 与其他指标无相关性。而女性 FMI 升高时所有肺通气功能指标都无改变。从标准化回归系数(β)可以判断, 除男性 FEV1/FVC 和 FEF75% 外, 无论性别, FFMI 对肺通气功能的预测作用大于 FMI (表 4、表 5)。从回归方程(表 6)可以判断 FFMI 对男性的肺通气功能预测作用大于对女性的预测作用: FFMI 每增加 1 kg/m^2 , 男性 FVC 增加 96 mL, 女性 FVC 增加 59 mL; 男性 FEV1 增加 73 mL, 女性 FEV1 增加 47 mL; 男性 PEF 增加 187 mL/s, 女性 PEF 增加 121 mL/s; 男性 MMEF 增加 72 mL/s, 女性 MMEF 增加 36 mL/s。

2.5 儿童青少年身体成分与肺功能突增的关系

无论性别, 肺通气功能随着年龄的增加而增长($P=0.000$)(表 7、图 1), 女性的肺通气功能低于同年龄男性。女性 FVC 和 FEV1 各年龄段的增幅均值分别为 5.39%、5.91%, 而男性的为 7.90%、8.24%, 我们将增幅大于增幅均值的年龄段定义为肺功能突增期。女性肺功能突增期发生在 12、13 和 18 岁, 在这三个年龄段 FVC 分别较前一年龄段增加 13.73%、

表 2. 去脂体重指数和儿童青少年肺通气功能各指标偏相关分析(控制年龄、身高、FMI)

Table 2. Partial correlations coefficients of FFMI with ventilation indexes while controlling the effects of age, height and FMI

	Male		Female	
	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>
FVC (L)	0.368	0.000	0.308	0.000
FEV1 (L)	0.324	0.000	0.277	0.000
FEV1/FVC (%)	-0.124	0.003	-0.137	0.001
PEF (L/s)	0.263	0.000	0.250	0.000
FEF25% (L/s)	0.236	0.000	0.203	0.000
FEF50% (L/s)	0.207	0.000	0.154	0.000
FEF75% (L/s)	0.082	0.047	0.051	0.221
MMEF (L/s)	0.173	0.000	0.088	0.032

FVC: forced vital capacity; FEV1: forced expiratory volume in one second; PEF: peak expiratory flow; FEF25%: forced expiratory flow at 25% of forced vital capacity; FEF50%: forced expiratory flow at 50% of forced vital capacity; FEF75%: forced expiratory flow at 75% of forced vital capacity; MMEF: maximal mid-expiratory flow; *r*: partial correlations coefficient. When the *P* value is less than 0.05, the two indexes are significantly correlated.

表 3. 脂肪体重指数和儿童青少年肺通气功能各指标偏相关分析(控制年龄、身高、去脂体重指数)

Table 3. Partial correlations coefficients of FMI with ventilation indexes while controlling the effects of age, height and FFMI

	Male		Female	
	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>
FVC (L)	-0.052	0.186	-0.004	0.919
FEV1 (L)	-0.084	0.032	0.008	0.840
FEV1/FVC (%)	-0.078	0.046	0.027	0.519
PEF (L/s)	-0.124	0.001	-0.017	0.672
FEF25% (L/s)	-0.084	0.032	0.011	0.795
FEF50% (L/s)	-0.084	0.031	0.009	0.827
FEF75% (L/s)	-0.122	0.002	-0.040	0.331
MMEF (L/s)	-0.096	0.014	-0.009	0.823

FVC: forced vital capacity; FEV1: forced expiratory volume in one second; PEF: peak expiratory flow; FEF25%: forced expiratory flow at 25% of forced vital capacity; FEF50%: forced expiratory flow at 50% of forced vital capacity; MMEF: maximal mid-expiratory flow; FEF75%: forced expiratory flow at 75% of forced vital capacity; *r*: partial correlations coefficient. When the *P* value is less than 0.05, the two indexes are significantly correlated.

表 4. 男性受试者 FVC、FEV1、FEV1/FVC、PEF、FEF25%、FEF50%、FEF75%、MMEF 预计方程式中年龄、身高、FFMI、FMI 标准化回归系数

Table 4. Standardized regression coefficients (β) for age, height, FFMI and FMI in models predicting FVC, FEV1, FEV1/FVC, PEF, FEF25%, FEF50%, FEF75% and MMEF of male subjects

	Age (year)		Height (cm)		FFMI (kg/m ²)		FMI (kg/m ²)	
	β	<i>P</i>	β	<i>P</i>	β	<i>P</i>	β	<i>P</i>
FVC (L)	0.237	0.000	0.513	0.000	0.244	0.000	—	—
FEV1 (L)	0.282	0.000	0.490	0.000	0.207	0.000	—	—
FEV1/FVC (%)	—	—	—	—	—	—	-0.143	0.001
PEF (L/s)	0.429	0.000	0.230	0.000	0.225	0.000	-0.080	0.009
FEF25% (L/s)	0.432	0.000	0.186	0.000	0.198	0.000	—	—
FEF50% (L/s)	0.333	0.000	0.258	0.000	0.175	0.000	—	—
FEF75% (L/s)	0.320	0.000	0.264	0.000	0.084	0.047	-0.100	0.007
MMEF (L/s)	0.367	0.000	0.262	0.000	0.134	0.000	—	—

FMI: fat mass index; FFMI: fat free mass index; FVC: forced vital capacity; FEV1: forced expiratory volume in one second; PEF: peak expiratory flow; FEF25%: forced expiratory flow at 25% of forced vital capacity; FEF50%: forced expiratory flow at 50% of forced vital capacity; FEF75%: forced expiratory flow at 75% of forced vital capacity; MMEF: maximal mid-expiratory flow; β is the standardized coefficient. All models given in the table are statistically significant ($P=0.000$).

表 5. 女性受试者 FVC、FEV1、FEV1/FVC、PEF、FEF25%、FEF50%、FEF75%、MMEF 预计方程式中年龄、身高、FFMI、FMI 标准化回归系数

Table 5. Standardized regression coefficients (β) for age, height, FFMI and FMI in models predicting FVC, FEV1, FEV1/FVC, PEF, FEF25%, FEF50%, FEF75% and MMEF of female subjects

	Age (year)		Height (cm)		FFMI (kg/m ²)		FMI (kg/m ²)	
	β	<i>P</i>	β	<i>P</i>	β	<i>P</i>	β	<i>P</i>
FVC (L)	0.254	0.000	0.531	0.000	0.226	0.000	—	—
FEV1 (L)	0.305	0.000	0.547	0.000	0.188	0.000	—	—
FEV1/FVC (%)	0.192	0.000	—	—	-0.138	0.001	—	—
PEF (L/s)	0.273	0.000	0.377	0.000	0.212	0.000	—	—
FEF25% (L/s)	0.244	0.000	0.345	0.000	0.188	0.000	—	—
FEF50% (L/s)	0.242	0.000	0.313	0.000	0.148	0.000	—	—
FEF75% (L/s)	0.290	0.000	0.292	0.000	—	—	—	—
MMEF (L/s)	0.282	0.000	0.326	0.000	0.078	0.027	—	—

FMI: fat mass index; FFMI: fat free mass index; FVC: forced vital capacity; FEV1: forced expiratory volume in one second; PEF: peak expiratory flow; FEF25%: forced expiratory flow at 25% of forced vital capacity; FEF50%: forced expiratory flow at 50% of forced vital capacity; FEF75%: forced expiratory flow at 75% of forced vital capacity; MMEF: maximal mid-expiratory flow; β is the standardized coefficient. All models given in the table are statistically significant ($P=0.000$).

9.07% 和 9.76%，FEV1 分别较前一年龄段增加 13.17%、11.12% 和 10.62%。男性的肺功能突增期发生在 12~15 岁，在这四个年龄段 FVC 分别较前一年龄段增加 10.05%、20.41%、11.75% 和 9.00%，FEV1 分别较前一年龄段增加 11.38%、20.07%、12.01% 和 9.14% (表 8)。分别选取 12、13 和 18 岁女性青少年和 12~15 岁男性青少年，与身体成分指标相

关的肺通气各指标为应变变量，年龄、身高、FFMI 和 FMI 为自变量进行多元逐步回归，由标准化回归系数 (β) 判断，对于 12、13 岁女性肺功能，FFMI 的预测作用大于年龄的预测作用，18 岁女性肺功能大幅度增长，FFMI 的预测作用大于年龄和身高的预测作用；而对于 12~15 岁男性的肺功能，FFMI 的预测作用大于年龄的预测作用(表 9、10 和 11)。

表 6. 包含身体成分指标的 FVC、FEV1、FEV1/FVC、PEF 和 MMEF 直线回归方程

Table 6. Linear regression equations for FVC, FEV1, FEV1/FVC, PEF and MMEF including terms of body composition

	Gender	Equation	R ²
FVC (L)	Male	$-6.240+0.042\times\text{height}+0.114\times\text{age}+0.096\times\text{FFMI}$	0.723
	Female	$-4.245+0.035\times\text{height}+0.057\times\text{age}+0.059\times\text{FFMI}$	0.596
FEV1 (L)	Male	$-5.661+0.038\times\text{height}+0.124\times\text{age}+0.073\times\text{FFMI}$	0.726
	Female	$-4.116+0.034\times\text{height}+0.063\times\text{age}+0.047\times\text{FFMI}$	0.655
FEV1/FVC (%)	Male	$93.115-0.451\times\text{FMI}$	0.021
	Female	$95.456+0.375\times\text{age}-0.309\times\text{FFMI}$	0.042
PEF (L/s)	Male	$-8.434+0.042\times\text{height}+0.439\times\text{age}+0.187\times\text{FFMI}-0.098\times\text{FMI}$	0.584
	Female	$-5.847+0.054\times\text{height}+0.129\times\text{age}+0.121\times\text{FFMI}$	0.418
MMEF (L/s)	Male	$-5.621+0.031\times\text{height}+0.249\times\text{age}+0.072\times\text{FFMI}$	0.446
	Female	$-4.156+0.037\times\text{height}+0.109\times\text{age}+0.036\times\text{FFMI}$	0.304

FMI: fat mass index; FFMI: fat free mass index; FVC: forced vital capacity; FEV1: forced expiratory volume in one second. PEF: peak expiratory flow; MMEF: maximal mid-expiratory flow; β is the standardized coefficient. All models given in the table are statistically significant ($P=0.000$).

表 7. 男、女性儿童青少年各年龄段的 FVC、FEV1

Table 7. The FVC and FEV1 of different age groups from male and female children and adolescents

Age group	<i>n</i>		FVC (L)		FEV1 (L)	
	Male	Female	Male	Female	Male	Female
10	27	33	2.60±0.50 [#]	2.37±0.35	2.36±0.44	2.19±0.30
11	54	63	2.71±0.48 [#]	2.45±0.38	2.47±0.40 [#]	2.32±0.38
12	66	67	2.98±0.60 [#]	2.78±0.44	2.75±0.55 [#]	2.62±0.39
13	71	64	3.59±0.87 [#]	3.04±0.46	3.30±0.77 [#]	2.91±0.43
14	53	57	4.01±0.81 [#]	3.16±0.54	3.70±0.77 [#]	3.03±0.47
15	104	96	4.38±0.70 [#]	3.25±0.46	4.04±0.63 [#]	3.13±0.45
16	115	118	4.61±0.66 [#]	3.23±0.46	4.27±0.60 [#]	3.09±0.39
17	67	64	4.71±0.66 [#]	3.26±0.50	4.35±0.56 [#]	3.11±0.41
18	26	29	4.72±0.76 [#]	3.58±0.72	4.39±0.75 [#]	3.44±0.66

FVC: forced vital capacity; FEV1: forced expiratory volume in one second; Male: FVC ($F=88.62$, $P=0.000$), FEV1 ($F=98.29$, $P=0.000$); Female: FVC ($F=43.39$, $P=0.000$), FEV1 ($F=57.86$, $P=0.000$); [#] $P<0.001$ vs female.

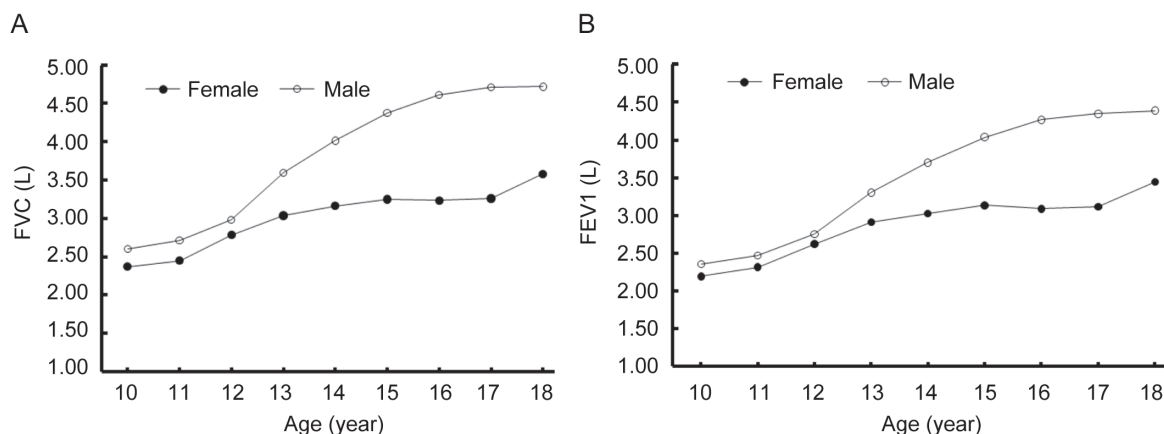


图 1. 男、女性儿童青少年 FVC 和 FEV1 随年龄变化趋势图

Fig. 1. Lung function in different age groups from male and female children and adolescents. A: FVC in different age groups. B: FEV1 in different age groups.

表 8. 受试者 FVC、FEV1 较前一个年龄段增加的百分比
Table 8. Percentage increases of FVC and FEV1 in the subjects compared with the former age group

Age group	Δ FVC (%)		Δ FEV1 (%)	
	Male	Female	Male	Female
10	-	-	-	-
11	4.31	3.31	4.80	5.60
12	10.05	13.73	11.38	13.17
13	20.41	9.07	20.07	11.12
14	11.75	4.23	12.01	3.91
15	9.00	2.68	9.14	3.54
16	5.34	-0.53	5.67	-1.41
17	2.15	0.90	1.86	0.75
18	0.20	9.76	1.00	10.62
Average	7.90	5.39	8.24	5.91

FVC: forced vital capacity; FEV1: forced expiratory volume in one second. Δ FVC and Δ FEV1 represent the percentage increases of FVC and FEV1 in the subjects compared with the former age group, respectively.

3 讨论

本工作研究的儿童青少年为 10~18 岁，该年龄段位于青春期(一般定义为 10~20 岁)。这一时期人体在内分泌、身体成分、功能、心理和行为方面均发生着巨大变化^[18]。在身体成分方面，女性肌肉生长高峰到来较早而峰值较低，16 岁之后肌肉生长缓慢，而体脂含量一直处于增加状态，男性肌肉生长高峰到来较晚，但峰值较高，16 岁以后肌肉生长速度下降，但仍以较高水平继续增长，在身高生长速度高峰期，男性的体脂增长量为负值，体脂的绝对量减少^[1]，本工作结果与此一致。在整个青春期，男性的肌肉增长量远远超过女性，这主要与雄激素生理作用有关，雄激素具有促进钙盐在骨内沉积、促进蛋白质合成、降低氨基酸分解代谢的作用^[1]。男性体脂蓄积量也远远低于女性，主要与青春期女性卵巢分泌的雌激素逐渐增加，促使全身

表 9. 12~15 岁男性肺功能 FVC、FEV1 预测方程式中的标准化回归系数

Table 9. Standardized regression coefficients (β) for age, height, FFMI and FMI in the models predicting FVC, FEV1 in 12-15 years old males

	Age (year)		Height (cm)		FFMI (kg/m ²)		FMI (kg/m ²)	
	β	P	β	P	β	P	β	P
FVC (L)	0.169	0.001	0.497	0.000	0.271	0.000	-	-
FEV1 (L)	0.163	0.002	0.532	0.000	0.231	0.000	-	-

FMI: fat mass index; FFMI: fat free mass index; FVC: forced vital capacity; FEV1: forced expiratory volume in one second. All models given in the table are statistically significant ($P=0.000$).

表 10. 12~13 岁女性肺功能 FVC、FEV1 预测方程式中的标准化回归系数

Table 10. Standardized regression coefficients (β) for age, height, FFMI and FMI in the models predicting FVC, FEV1 in 12-13 years old females

	Age (year)		Height (cm)		FFMI (kg/m ²)		FMI (kg/m ²)	
	β	P	β	P	β	P	β	P
FVC (L)	0.208	0.002	0.526	0.000	0.265	0.000	-	-
FEV1 (L)	0.220	0.001	0.549	0.000	0.237	0.000	-	-

FMI: fat mass index; FFMI: fat free mass index; FVC: forced vital capacity; FEV1: forced expiratory volume in one second. All models given in the table are statistically significant ($P=0.000$).

表 11. 18 岁女性肺功能 FVC、FEV1 预计方程式中的标准化回归系数

Table 11. Standardized regression coefficients (β) for age, height, FFMI and FMI in models predicting FVC, FEV1 in 18 years old females

	Age (year)		Height (cm)		FFMI (kg/m ²)		FMI (kg/m ²)	
	β	P	β	P	β	P	β	P
FVC (L)	-	-	0.313	0.034	0.448	0.003	-	-
FEV1 (L)	-	-	-	-	0.436	0.007	-	-

FMI: fat mass index; FFMI: fat free mass index; FVC: forced vital capacity; FEV1: forced expiratory volume in one second. All models given in the table are statistically significant ($P=0.000$).

皮下脂肪沉积有关。有文献报道, 男性青春期 BMI 的增加主要以 FFMI 增加为主, 而女性 BMI 的增加表现为 FMI 和 FFMI 的共同增加^[19]。身体成分的这种变化规律必然对肺功能产生作用。

本工作探讨了中国东北儿童青少年 FFM、FM 和肺通气功能关系。同国外有关工作比较, 本工作不仅考察了儿童青少年身体成分指标和 FVC、FEV1 的关系, 还分析探讨了儿童青少年身体成分指标和 PEF、FEF25%、FEF50%、FEF75%、MMEF 等的关系, 并进一步研究了儿童青少年 FMI、FFMI 对这些肺通气指标预测作用的大小, 以及儿童青少年身体成分与肺功能突增的关系。本工作显示: (1) 无论性别, FFMI 与相关肺通气指标基本呈正相关, FMI 与男性儿童青少年相关肺通气功能指标呈负相关, 而与女性儿童青少年不相关。(2) FMI、FFMI 对相关肺通气指标的预测作用大小存在差异。(3) 儿童青少年存在肺功能突增期, FFMI 对肺通气功能突增可能起促进作用, 而 FMI 对肺通气功能突增无明显作用。

由于吸烟会导致儿童青少年呼吸功能降低^[20-23], 为减少混杂因素的影响, 本工作去除了吸烟人群。本工作采用生物电阻抗法测定儿童青少年身体成分, 该方法准确性已经得到肯定, 而且兼具操作简单、成本低廉、无创安全等优点, 尤其适用于大规模人群检测^[24,25]。

本研究结果显示, 无论性别, FFMI 和反映肺通气功能的指标都呈正相关。这可能与男、女性儿童青少年处在生长发育时期, 身体蛋白质代谢合成迅速^[1], 呼吸肌含量增加, 胸廓扩大, 肺容积增长有关。而 FMI 对肺通气功能的影响则存在性别差异, FMI 与男性肺通气功能指标(FVC 除外)存在负相关, 与女性所有肺通气功能的指标都无相关性。这种差异可能与脂肪分布有关, 较之女性儿童青少年, 男性脂肪更倾向于中心性分布, 其腰围和腰臀比都高于女性。这种脂肪分布与体内的性激素分泌有关^[1], 女性在雌激素的作用下脂肪倾向于分布于全身皮下, 男性以雄激素为主, 使脂肪倾向于中心分布, 即向上半身胸腹部分布, 聚集在胸腹部的脂肪导致肺的顺应性降低, 肺的弹性回缩性下降, 限制胸壁骨骼肌的运动^[26,27], 气道也更易受到脂肪的包裹^[14]。当然应明确本工作检测人群为各系统基本正常的健康人群, 所以 FM 对男性肺功能的负面作用是有限的。Francisco 等^[9]在西班牙加利西亚儿童

青少年中开展的研究表明, 男性儿童青少年 FFMI 与 FEV1 呈正相关, 女性儿童青少年 FFMI 与 FEV1、FVC、PEF 呈正相关, 这与本工作结果一致, 而该研究显示无论性别, FMI 与肺通气功能呈负相关, 与本工作结果存在差异, 可能与种族差异有关。大量相关疾病(如肺纤维化、进行性假肥大性肌营养不良和单纯营养不良等)的研究表明: 伴随着 FFM 的下降, 儿童青少年患者的肺通气功能下降^[28-31]。同时另外一些研究结果表明, 相关疾病儿童青少年患者进行持续体育锻炼后, 随着身体 FM 的下降和 FFM 的上升, 其肺通气功能上升^[32-34]。这种趋势与本研究工作结果基本一致。

本工作结果与本课题组在成人中开展的身体成分和肺通气功能关系的研究结果存在不同之处, 冯逵等^[35]研究结果显示: 成人无论性别, FMI 与肺通气功能呈负相关, FMI 对肺通气功能的影响无性别差异。成人与儿童青少年群体之间出现差异的可能机制是, 青春期男女处于快速生长发育阶段, 身体成分、内分泌、全身骨骼肌肉系统都一直处于变化的状态, 如前所述, 儿童青少年女性体重的增加表现为 FFM 和 FM 的共同增加, 而男性体重的增加以 FFM 增加为主, 直到成人。而成人的身体成分维持在一种相对稳定的状态, 体内和体外环境各种因素的变化可以影响各身体成分含量, 尤其在女性绝经期前后, 身体内分泌性腺分泌的激素成分和含量发生变化, 使身体脂肪含量和分布发生变化, 研究表明, 女性成年后期因 FM 的增长速度高于 FFM 的减退速度而使体重增加, 主要是脂肪重量的增加^[36]。有文献报道, 亚洲人群(如日本、印度和我国)体脂分布与欧美人群不同, 是以中心性肥胖为特点的^[37]。而身体成分的含量和分布方式影响肺通气功能, 可能是鉴于以上原因, 使得 FM 和 FFM 对儿童青少年和成人肺通气功能的影响存在差异。

在考察儿童青少年身体成分与肺通气功能关系的基础上, 我们还考察了男、女性儿童青少年肺功能突增时期的肺功能与青春期身体成分的关系。从我们的结果中可以看出, 男、女性儿童青少年的肺功能突增都始于 12 岁, 但女性肺功能突增的幅度较男性小, 且持续时间短。在 10~18 岁范围内, 女性 FEV1 和 FVC 的大幅度增长出现在 12、13 和 18 岁, 而男性肺功能突增期出现在 12~15 岁, 这显示出男、女性儿童青少年肺通气功能的快速增长时期与其青春发育时期是一致的。通过标准化回归系数

(β)判断,在肺功能突增期,无论性别,对肺功能起主要预测作用的因素依次为身高和FFMI,但对18岁女性青少年而言,则主要是FFMI。在肺功能突增期,无论性别,FFMI对肺功能的预测作用大于年龄的预测作用,FMI对肺功能突增无明显预测作用(表9、10和11)。而从整个人群的标准化回归系数(β)来看,年龄对肺通气功能的预测作用基本大于FFMI所起的预测作用(表4、5)。由此可见,在肺功能突增期,身高和FFM的快速增长可能是造成肺通气功能快速增长的主要原因,其机制可能与青春期发育造成的呼吸肌质量的增加、胸廓增大、肺容积增大以及气管平滑肌发育的逐步完善有关。

近年来一些长期随访研究显示,青少年时期的肺功能损伤预示着成年后较高的死亡率,所以有必要在青少年时期加强肺功能监测^[38-40]。鉴于身体成分对肺通气功能存在明确预测作用,我们建议在儿童青少年相关疾病的预防、治疗以及健康管理中关注儿童青少年身体成分的变化。

另外,传统的肺通气功能预计方程式主要以年龄、身高、体重为自变量,但是以体重为自变量难以区分是FM还是FFM的作用。从表4、5中的标准化偏回归系数(β)判断,儿童青少年FFMI和FMI对肺通气指标有明显预测作用,对其中一些指标的预测作用与年龄、身高预测作用相近(如男性FFMI对FVC的预测作用和年龄对FVC的预测作用相近),甚至更大(如男性FFMI对FEF25%的预测作用大于身高对FEF25%的预测作用),因此我们建议在儿童青少年肺通气指标预计方程式的自变量中加入FFMI和FMI。我们在结果中列出了儿童青少年肺通气功能常用指标的预测方程式,供今后研究参考。

* * *

致谢:感谢中国医学科学院北京协和医院儿科万伟琳副教授、首都儿科研究所附属儿童医院呼吸内科刘传合副教授参与了对本工作结果的讨论并提出了宝贵的建议。感谢北京协和医院呼吸内科罗慰慈教授一直以来对本项目工作的指导与帮助!

参考文献

- Hu YM (胡亚美), Jiang ZF, Zhu Futang Textbook of Pediatrics. Beijing: People's Health Press, 2002, 55-57 (Chinese).
- Lazarus R, Gore CJ, Booth M, Owen N. Effects of body composition and fat distribution on ventilatory function in adults. Am J Clin Nutr 1998; 68(1): 35-41.
- Gosker HR, Lencer NH, Franssen FM, van der Vusse GJ, Wouters EF, Schols AM. Striking similarities in systemic factors contributing to decreased exercise capacity in patients with severe chronic heart failure or COPD. Chest 2003; 123(5): 1416-1424.
- Vander DJ, Trujillo MR, Jalo L. Pulmonary function correlates with body composition in Nigerian children and young adults with sickle cell disease. J Trop Pediatr 2008; 54(2): 87-93.
- Abramson NW, Wamboldt FS, Mansell AL. Frequency and correlates of overweight status in adolescent asthma. J Asthma 2008; 45(2): 135-139.
- Peroni DG, Pietrobelli A, Boner AL. Asthma and obesity in childhood: on the road ahead. Int J Obes (Lond) 2010; 34(4): 599-605.
- Fiorino EK, Brooks LJ. Obesity and respiratory diseases in childhood. Clin Chest Med 2009; 30(3): 601-608.
- Santamaria F, Montella S, De Stefano S, Sperli F, Barbarano F, Spadaro R, Franzese A. Asthma, atopy, and airway inflammation in obese children. J Allergy Clin Immunol 2007; 120(4): 965-967.
- Gonzalez-Barcala FJ, Takkouche B, Valdes L, Leis R, Alvarez-Calderon P, Cabanas R, Rodríguez Suarez JR, Tojo R. Body composition and respiratory function in healthy non-obese children. Pediatr Int 2007; 49: 553-557.
- Shamssain MH, Thompson J. A comparative study of pulmonary function and body composition in Scottish and Libyan schoolchildren aged 12-17 years. J Trop Pediatr 1992; 38(3): 121-123.
- Lazarus R, Colditz G, Berkey CS, Speizer FE. Effects of body fat on ventilatory function in children and adolescent: cross-sectional findings from a random population sample of school children. Pediatr Pulmonol 1997; 24: 187-194.
- Huang K (黄琨), Tao FB, Zhao YQ, Jue M, Zhao J, Wang J. The study of the correlation of the children and adolescent and pulmonary ventilator. Chin J School Health (中国学校卫生杂志) 2007; 28: 394-397 (Chinese, English abstract).
- Lv W (吕文), Yao XJ, Liu YF, Liu SJ. The canonical correlation analysis of children shape, body composition and lung function. Chin J Public Health (中国公共卫生杂志) 1999; 15(8): 700-701 (Chinese, English abstract).
- Maiolo C, Mohamed EI, Carbonelli MG. Body composition and respiratory function. Acta Diabetol 2003; 40 Suppl 1: S32-S38.
- Hou M (侯曼), Liu JM. Measurement and analysis of the human body composition with the bioelectrical impedance. Chin J Sports Med (中国运动医学杂志) 2005; 24(1): 89-92 (Chinese, English abstract).

- 16 American Thoracic Society. Standardization of spirometry-1987 update. Statement of the American Thoracic Society. *Am Rev Respir Dis* 1987; 136: 1285-1298.
- 17 American Thoracic Society. Standardization of spirometry, 1994 update. *Am J Respir Crit Care Med* 1995; 152: 1107-1136.
- 18 Xue XD (薛辛东). Pediatrics. Beijing: People's Health Press, 2005, 6-13 (Chinese).
- 19 Feng N (冯宁), Ma J, Zhang SW, Pan YP, Huang YB. Analysis on FFMI and FMI changing of children during puberty development. *Chin J School Health* (中国学校卫生杂志) 2006; 27(11): 923-925 (Chinese, English abstract).
- 20 Yoo S, Kim HB, Lee SY, Kim BS, Kim JH, Yu J, Kim BJ, Lee DH, Seong MW, Hong SJ. Effect of active smoking on asthma symptoms, pulmonary function, and BHR in adolescents. *Pediatr Pulmonol* 2009; 44(10): 954-961.
- 21 Rosewich M, Adler S, Zielen S. Effects of active and passive smoking on the health of children and adolescents. *Pneumologie* 2008; 62(7): 423-429.
- 22 Liu MG (刘明阁), Li NP, Wu RL, Ma Y, Hong YZ, Tian D, Zhu M. Dynamic changes of adenomatous polyposis coli protein and glycogen synthase kinase 3 β in the repair of the injured airway epithelial cells in smoking mice. *Acta Physiol Sin* (生理学报) 2006; 58(3): 255-261 (Chinese, English abstract).
- 23 Ye H (叶红), Ma WL, Yang ML, Liu SY, Wang DX. Effect of chronic cigarette smoking on large-conductance calcium-activated potassium channel and Kv1.5 expression in bronchial smooth muscle cells of rats. *Acta Physiol Sin* (生理学报) 2004; 56(5): 573-578 (Chinese, English abstract).
- 24 Haroun D, Taylor SJ, Viner RM, Hayward RS, Darch TS, Eaton S, Cole TJ, Wells JC. Validation of bioelectrical impedance analysis in adolescents across different ethnic groups. *Obesity* (Silver Spring) 2010; 18(6): 1252-1259.
- 25 Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD, Deurenberg P, Elia M, Manuel Gómez J, Lilienthal Heitmann B, Kent-Smith L, Melchior JC, Pirlich M, Scharfetter H, M W J Schols A, Pichard C; ESPEN. Bioelectrical impedance analysis-part II: utilization in clinical practice. *Clin Nutr* 2004; 23(6): 1430-1453.
- 26 Boran P, Tokuc G, Pisgin B, Oktem S, Yegin Z, Bostan O. Impact of obesity on ventilatory function. *J Pediatr* (Rio J) 2007; 83(2): 171-176.
- 27 Sue DY. Obesity and pulmonary function: more or less? *Chest* 1997; 111(4): 844-845.
- 28 Bianchi ML, Romano G, Saraifoger S, Costantini D, Limonta C, Colombo C. BMD and body composition in children and young patients affected by cystic fibrosis. *J Bone Miner Res* 2006; 21(3): 388-396.
- 29 Steinkamp G, Wiedemann B. Relationship between nutritional status and lung function in cystic fibrosis: cross sectional and longitudinal analyses from the German CF quality assurance (CFQA) project. *Thorax* 2002; 57(7): 596-601.
- 30 Tangsrud S, Petersen IL, Lødrup Carlsen KC, Carlsen KH. Lung function in children with Duchenne's muscular dystrophy. *Respir Med* 2001; 95(11): 898-903.
- 31 Martínez-Costa C, Escribano A, Núñez Gómez F, García-Maset L, Luján J, Martínez-Rodríguez L. Nutritional intervention in children and adolescents with cystic fibrosis. Relationship with pulmonary function. *Nutr Hosp* 2005; 20(3): 182-188 (Spanish, English abstract).
- 32 Gulmans VA, de Meer K, Brackel HJ, Faber JA, Berger R, Helders PJ. Outpatient exercise training in children with cystic fibrosis: physiological effects, perceived competence, and acceptability. *Pediatr Pulmonol* 1999; 28(1): 39-46.
- 33 Deveci F, Tuğ T, Turgut T, Ogetürk M, Kirkil G, Kaçar C, Muz MH. Nutritional status, pulmonary functions, and exercise performance in COPD cases. *Tuberk Toraks* 2005; 53(4): 330-339.
- 34 Enright S, Chatham K, Ionescu AA, Unnithan VB, Shale DJ. Inspiratory muscle training improves lung function and exercise capacity in adults with cystic fibrosis. *Chest* 2004; 126(2): 405-411.
- 35 Feng K (冯逵), Chen L, Zu SY, Han SM, Zhu GJ. Fat mass and fat free mass on ventilatory function in adults. *Acta Physiol Sin* (生理学报) 2010; 62(2): 122-128 (Chinese, English abstract).
- 36 Chen R (陈蓉), Lin SQ, Lin X, hen Y, Yang QH, Zhou Y, Zhang Y. Effect of age on body composition in healthy Beijing women. *Chin J Obstet Gynecol* (中华妇产科杂志) 2008; 43: 36-40 (Chinese, English abstract).
- 37 Chen CM (陈春明). Obesity problem, the new challenge of public healthy in China. *Chin J Epidemiol* (中华流行病学杂志) 2002; 23: 1-2 (Chinese).
- 38 Barker DJ, Godfrey KM, Fall C, Osmond C, Winter PD, Shaheen SO. Relation of birth weight and childhood respiratory infection to adult lung function and death from chronic obstructive airways disease. *BMJ* 1991; 303: 671-675.
- 39 Gray L, Hart CL, Smith GD, Batty GD. What is the predictive value of established risk factors for total and cardiovascular disease mortality when measured before middle age? Pooled analyses of two prospective cohort studies from Scotland. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2010; 17(1): 106-112.
- 40 Mészáros D, Dharmage SC, Matheson MC, Venn A, Wharton CL, Johns DP, Abramson MJ, Giles GG, Hopper JL, Walters EH. Poor lung function and tonsillectomy in childhood are associated with mortality from age 18 to 44. *Respir Med* 2010; 104(6): 808-815.