

# 胎儿主肺动脉多普勒参数与孕周相关性的研究

毕源源<sup>1</sup>, 杨宗利<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>青岛大学附属威海市立二院超声科, 山东 威海

<sup>2</sup>青岛大学附属医院腹部超声科, 山东 青岛

收稿日期: 2023年2月27日; 录用日期: 2023年3月23日; 发布日期: 2023年3月30日

## 摘要

目的: 探讨正常胎儿在孕晚期其主肺动脉多普勒流速曲线参数与孕周的关系。方法: 收集2021年8月至2022年7月在青岛大学附属威海市立第二医院进行超声检查的正常单胎孕妇共139例作为研究对象(孕龄28~40周), 根据孕龄为4组(28~31<sup>+6</sup> W组、32~34<sup>+6</sup> W组、35~36<sup>+6</sup> W组、≥37 W组), 测量其胎儿主肺动脉多普勒参数, 包括收缩期加速时间(AT)、射血时间(ET)、收缩期峰值流速(PSV)、搏动指数(PI)、阻力指数(RI)、胎儿主肺动脉内径等六项参数, 并计算加速时间/射血时间(AT/ET), 比较不同孕周胎儿主肺动脉多普勒参数及内径之间的差异, 进一步进行两两组间差异分析, 并进行相关性及回归性分析, 均以 $P < 0.05$ 有统计学意义。结果: 发现胎儿主肺动脉内径及多普勒参数AT、ET、AT/ET、PSV与孕龄呈显著正相关( $r = 0.821, 0.780, 0.260, 0.749, 0.323$ ,  $P$ 均  $< 0.05$ ), RI、PI均与孕龄无相关性( $r = -0.164, -0.134$ ,  $P$ 均  $> 0.05$ ), 且组间差异具有统计学意义。结论: 正常胎儿孕晚期时, 主肺动脉内径及多普勒相关参数与孕周具有一定的相关性, 其中以内径、AT、AT/ET与孕龄相关性最高, 可为产前评估胎肺成熟度提供有价值的参考指标。

## 关键词

主肺动脉, 多普勒, 胎儿, 孕周

# Study on the Correlation between Fetal Main Pulmonary Artery Doppler Parameters and Gestational Age

Yuanyuan Bi<sup>1</sup>, Zongli Yang<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Ultrasound, Weihai Municipal Second Hospital Affiliated to Qingdao University, Weihai Shandong

<sup>2</sup>Department of Abdominal Ultrasound, Affiliated Hospital to Qingdao University, Qingdao Shandong

Received: Feb. 27<sup>th</sup>, 2023; accepted: Mar. 23<sup>rd</sup>, 2023; published: Mar. 30<sup>th</sup>, 2023

\*通讯作者 Email: qingyichaosheng@126.com

## Abstract

**Objective:** To investigate the relationship between the parameters of Doppler flow velocity curve of main pulmonary artery of normal fetus in the third trimester of pregnancy and the gestational age. **Methods:** A total of 139 normal singleton pregnant women who underwent ultrasound examination in Weihai Municipal Second Hospital Affiliated to Qingdao University from August 2021 to July 2022 were collected as the study subjects (gestational age: 28~40 weeks). According to the gestational age of 4 groups (28~31<sup>+6</sup> W group, 32~34<sup>+6</sup> W group, 35~36<sup>+6</sup> W group, ≥37 W group), their fetal main pulmonary artery Doppler parameters, including systolic acceleration time (AT), ejection time (ET), systolic peak velocity (PSV), six parameters such as pulsation index (PI), resistance index (RI) and fetal main pulmonary artery diameter were calculated, and the acceleration time/ejection time (AT/ET) was calculated to compare the differences between fetal main pulmonary artery Doppler parameters and diameter at different gestational weeks. The differences between the two groups were further analyzed, and the correlation and regression analysis were performed, all of which were statistically significant with  $P < 0.05$ . **Results:** The diameter of fetal main pulmonary artery and Doppler parameters AT, ET, AT/ET, PSV were significantly positively correlated with gestational age ( $r = 0.821, 0.780, 0.260, 0.749, 0.323, P < 0.05$ ), while RI and PI were not correlated with gestational age ( $r = -0.164, -0.134, P > 0.05$ ), and the difference between groups was statistically significant. **Conclusion:** In the third trimester of pregnancy, the diameter of the main pulmonary artery and Doppler parameters have certain correlation with the gestational age, among which the diameter, AT, AT/ET have the highest correlation with gestational age, which can provide valuable reference indicators for prenatal evaluation of fetal lung maturity.

## Keywords

Main Pulmonary Artery, Doppler, Fetal, Gestational Age

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

产科临床检测的重要指标之一就是胎儿肺成熟度, 而超声多普勒能够观测到胎儿血管分布, 通过流速曲线参数测量和分析, 能够评估胎儿肺循环情况[1]。观测点又分为胎儿主肺动脉主干、左肺动脉、右肺动脉和肺内动脉[2] [3] [4] [5] [6], 由于胎儿主肺动脉主干血管管径比右边肺动脉和左边肺动脉血管管径要粗一些, 更容易测量超声多普勒流速曲线参数, 并且胎儿不同体位对测量平面的影响较小[7] [8] [9], 因此本次研究超声测量点选择胎儿主肺动脉中段, 重点探讨正常胎儿主肺动脉的多普勒流速曲线参数随着孕龄变化规律, 建立晚孕期胎儿不同孕龄下 AT、AT/ET、ET、PSV、PI、RI、内径的参数数据库, 作为正常胎儿的标准参考值, 未来为胎儿肺循环评估提供有效的数据依据。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 研究对象

收集 2021 年 8 月至 2022 年 7 月在青岛大学附属威海市立第二医院进行超声检查的正常单胎孕妇共 139 例作为研究对象, 孕龄 28~40 周, 根据不同孕龄分为 28~31<sup>+6</sup> W 组( $n = 34$ )、32~34<sup>+6</sup> W 组( $n = 32$ )、35~36<sup>+6</sup>

W 组(n = 33)、<37 W 组(n = 40)等四组。纳入标准: 单胎, 无糖皮质激素用药历史[10]。排除标准: 胎儿存在心脏畸形, 呼吸功能先天畸形, 染色体异常, 使用过糖皮质激素治疗, 严重妊娠期并发症, 认知障碍等[11]。该研究已通过本院伦理委员会审核, 所有孕妇及家属均知情同意。

## 2.2. 仪器与测量方法

测量仪器采用彩色多普勒超声诊断仪 GE LOGIQ E、Philips iU22, 探头频率在 1~5 MHz 范围。测量时安排孕妇仰卧, 待胎儿平静、窦性心律时进行。由同一名超声医生连续测量 3 次, 取平均值[5]。

测量方法: 取心尖四腔心或横位切面, 向头部方向倾斜取得右心室流出道切面, 再旋转到底短轴切面, 清晰可见胎儿肺动脉主干。在胎儿主肺动脉中段位置放置取样框(见图 1), 声束与所测血管夹角 <math>20^\circ</math> [12], 取样容积定为 3 mm, 显示流速不超过 100 cm/s, 测量时间的最小间隔定为 1 ms, 当连续出现 3 个或者以上“双峰状”胎儿主肺动脉流速曲线时, 手动频谱轮廓描记法测量各项参数和内径[13], 包括 AT、ET、PSV、PI、RI、内径, 并计算 AT/ET (见图 2)。

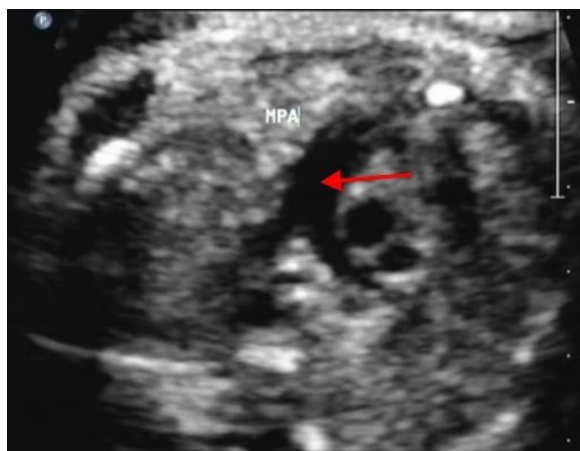


Figure 1. Normal fetal main pulmonary artery diameter (Arrow is the measurement point of the main pulmonary artery velocity parameter)

图 1. 正常胎儿主肺动脉内径(箭头为主肺动脉流速参数的测量点)

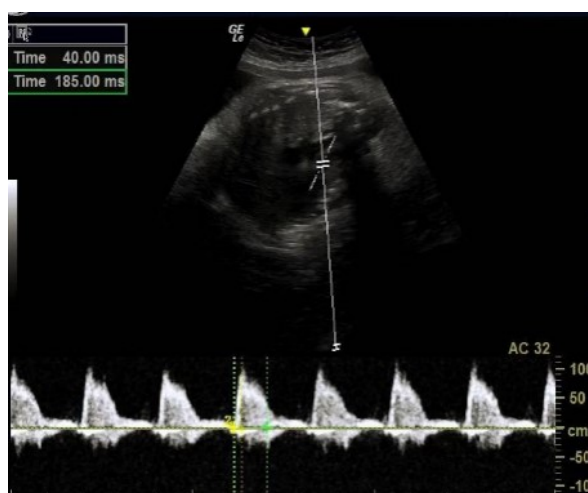


Figure 2. Doppler flow velocity curve of fetal main pulmonary artery AT value 40 ms, ET value 185 ms

图 2. 胎儿主肺动脉多普勒频谱 AT = 40 ms, ET = 185 ms

### 2.3. 统计学方法

采用 SPSS27.0 软件进行统计分析。计量资料以  $\bar{x} \pm s$  进行描述, 组间差异分析满足正态分布采用参数检验(单因素 ANOVA 分析)、否则采用非参数检验(Kruskal-Wallis 检验), 进一步采用邦弗仑尼多重检验进行两两组间差异分析。胎儿主肺动脉相关参数与孕周之间相关性分析, 如满足正态分布采用 Pearson 相关分析, 否则采用 Spearman 相关分析; 对胎儿主肺动脉相关参数与孕周进行回归性分析。

## 3. 结果

### 3.1. 不同孕周孕妇之间基本情况分析

四组孕妇平均年龄分别为(30.85 ± 5.00)岁、(32.22 ± 4.40)岁、(31.58 ± 3.82)岁、(31.53 ± 3.94)岁; 平均体重分别为(71.03 ± 10.05) kg、(72.65 ± 9.29) kg、(75.26 ± 11.06) kg、(75.26 ± 9.85) kg; 平均升高分别为(162.18 ± 5.21) cm、(161.94 ± 4.86) cm、(164.41 ± 3.35) cm、(164.28 ± 5.23) cm, 四组产妇在年龄、体重、身高基础资料方面比较, 差异无统计学意义(P 均 > 0.05)。

### 3.2. 不同孕周各多普勒参数指标比较

139 例胎儿均获得满意的主肺动脉内径及多普勒血流速度曲线, 比较不同孕周胎儿主肺动脉内径及多普勒参数之间的差异情况, 发现胎儿主肺动脉内径 AT、ET、AT/ET、PSV 数值随孕周增大而增加, 差异有统计学意义(P 均 < 0.05), RI、PI 数值与孕周之间无统计学意义(P 均 > 0.05)。

进一步采用多重检验比较组间差异, 四组胎儿主肺动脉多普勒参数 AT、AT/ET 比较, 28 W ≤ 胎龄 ≤ 31<sup>+6</sup> W 组与其它三组差异均有统计学意义, 32 W ≤ 胎龄 ≤ 34<sup>+6</sup> W 组与胎龄 ≥ 37 W 组、35 ≤ 胎龄 ≤ 36<sup>+6</sup> W 组与胎龄 ≥ 37 W 组差异均有统计学意义(P 均 < 0.05), 32 W ≤ 胎龄 ≤ 34<sup>+6</sup> W 组与 35 ≤ 胎龄 ≤ 36<sup>+6</sup> W 组差异无统计学意义(P 均 > 0.05); 四组胎儿 ET 比较, 28 W ≤ 胎龄 ≤ 31<sup>+6</sup> W 组与 35 ≤ 胎龄 ≤ 36<sup>+6</sup> W 组、胎龄 ≥ 37 W 组差异均有统计学意义(P 均 > 0.05), 其余各组间差异均无统计学意义(P 均 > 0.05); PSV 比较, 28 W ≤ 胎龄 ≤ 31<sup>+6</sup> W 组与 32 W ≤ 胎龄 ≤ 34<sup>+6</sup> W 组、35 ≤ 胎龄 ≤ 36<sup>+6</sup> W 组差异均有统计学意义, 余各组间差异均无统计学意义(P 均 > 0.05); 四组胎儿内径比较, 35 ≤ 胎龄 ≤ 36<sup>+6</sup> W 组与胎龄 ≥ 37 W 组差异无统计学意义(P > 0.05), 余各组间差异均有统计学意义(P 均 < 0.05); 四组参数 PI、RI 各组间均无统计学差异(P 均 < 0.05)。详见表 1。

**Table 1.** Analysis of the difference between fetal main pulmonary artery diameter and Doppler parameters at different gestational weeks

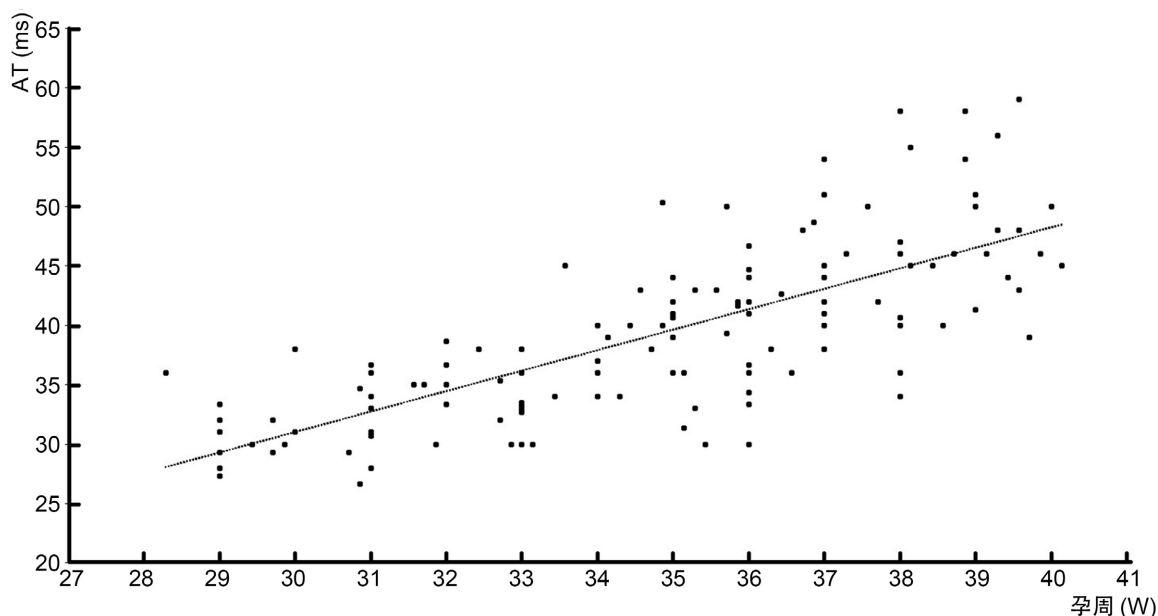
**表 1.** 不同孕周之间胎儿主肺动脉内径及多普勒参数之间的差异分析

指标	28~31 <sup>+6</sup> W	32~34 <sup>+6</sup> W	35~36 <sup>+6</sup> W	≥37 周	F/Z	P
AT (ms)	31.76 ± 3.02	36.38 ± 4.41*	40.12 ± 5.39*	46.23 ± 6.13* <sup>#&amp;</sup>	80.953	<0.001
ET (ms)	175.54 ± 7.16	179.46 ± 8.66	180.72 ± 7.44*	180.65 ± 7.93*	3.373	0.020
AT/ET	0.18 ± 0.02	0.20 ± 0.03*	0.22 ± 0.03*	0.26 ± 0.04* <sup>#&amp;</sup>	75.135	<0.001
PSV (cm/s)	72.40 ± 9.43	78.82 ± 9.69*	79.09 ± 10.49*	81.62 ± 12.54*	16.783	0.001
RI (ms)	0.85 ± 0.03	0.85 ± 0.04	0.84 ± 0.03	0.83 ± 0.03	5.113	0.164
PI (ms)	2.05 ± 0.15	2.07 ± 0.14	2.02 ± 0.16	1.99 ± 0.15	1.867	0.138
内径(mm)	6.07 ± 0.54	6.84 ± 0.63*	7.65 ± 0.67* <sup>#</sup>	8.39 ± 0.89* <sup>#</sup>	90.648	<0.001

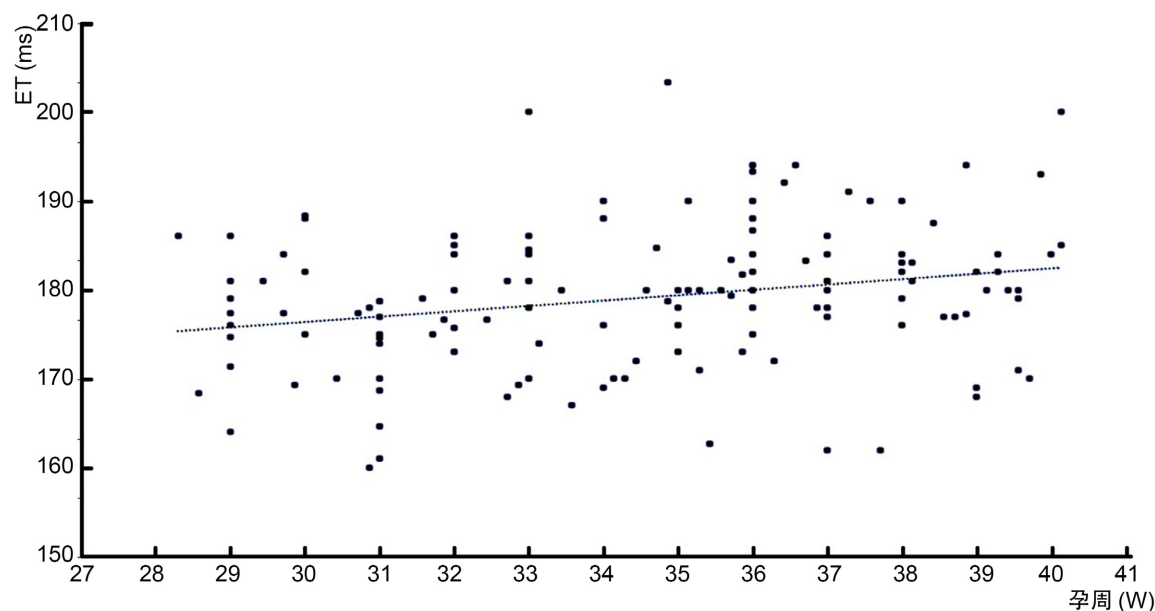
注: \*表示与 28~31 W<sup>+6</sup> 比较 P < 0.05; #表示与 32~34 W<sup>+6</sup> 比较 P < 0.05; &表示与 35~36 W<sup>+6</sup> 比较 P < 0.05; AT: 收缩期加速时间; ET: 射血时间; PSV: 收缩期峰值速度; RI: 阻力指数; PI: 搏动指数。

### 3.3. 胎儿主肺动脉内径及多普勒频谱参数与孕周相关性分析及回归分析

胎儿主肺动脉内径及多普勒频谱参数与孕周相关性分析,发现胎儿主肺动脉内径、AT、ET、AT/ET、PSV 与孕周呈线性正相关( $r = 0.822$ 、 $0.779$ 、 $0.243$ 、 $0.749$ 、 $0.317$ ,  $P$  均  $< 0.05$ ), 其中 AT、AT/ET、内径这三个参数与孕周具有高度相关性(均  $P < 0.001$ ), RI、PI 均与孕周无相关性( $r = -0.164$ 、 $-0.109$ ,  $P$  均  $> 0.05$ ), (见表 2)。绘制各参数与孕周关系的散点图, 可以显著发现内径、AT、ET、AT/ET、PSV 均与孕周之间为显著正相关。详见图 3~7。



**Figure 3.** The variation trend of AT with gestational age  
**图 3.** AT 随孕周变化趋势

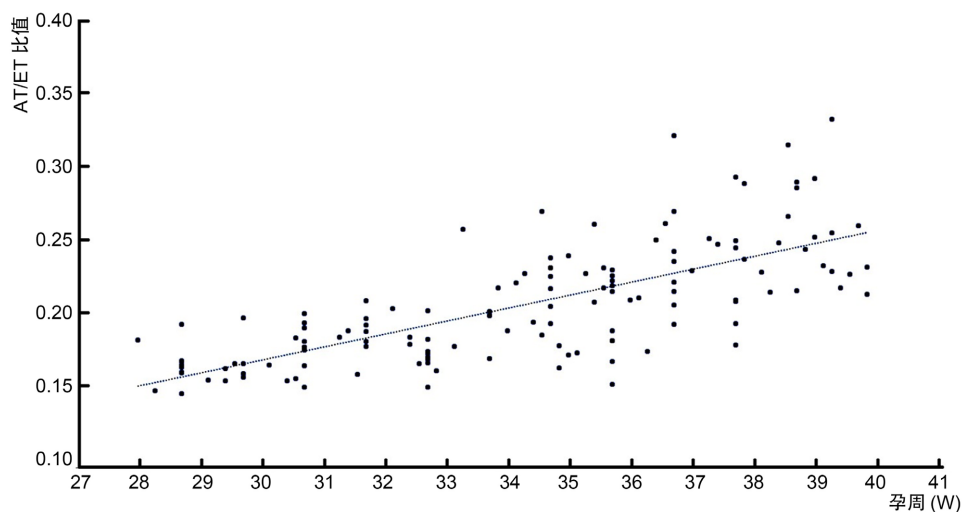


**Figure 4.** The variation trend of ET with gestational age  
**图 4.** ET 随孕周变化趋势

**Table 2.** Regression analysis of parameters related to fetal main pulmonary artery and gestational age  
**表 2.** 胎儿主肺动脉相关参数与孕周的回归分析

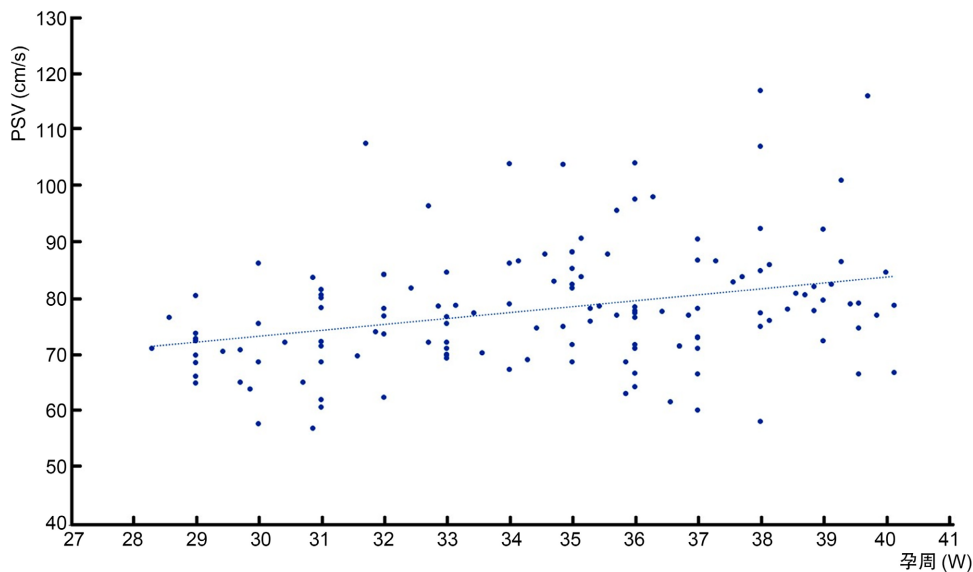
	方程式	B	R <sup>2</sup>	F	P
AT	$Y = 1.704X - 19.927$	1.704	0.575	185.323	<0.001
ET	$Y = 0.597X + 158.499$	0.597	0.059	8.632	0.004
AT/ET	$Y = 0.009X - 0.089$	0.009	0.521	149.245	<0.001
PSV	$Y = 1.052X + 41.771$	1.052	0.095	14.358	<0.001
RI	$Y = -0.002X + 0.895$	-0.002	0.028	3.906	0.05
PI	$Y = -0.005X + 2.208$	-0.005	0.012	1.647	0.202
内径	$Y = 0.280X - 2.375$	0.28	0.65	254.383	<0.001

注: 回归方程中, X 代表孕周; Y 代表多普勒各参数。



**Figure 5.** The variation trend of ET/AT with gestational age

**图 5.** AT/ET 随孕周变化趋势



**Figure 6.** The variation trend of PSV with gestational age

**图 6.** PSV 随孕周变化趋势



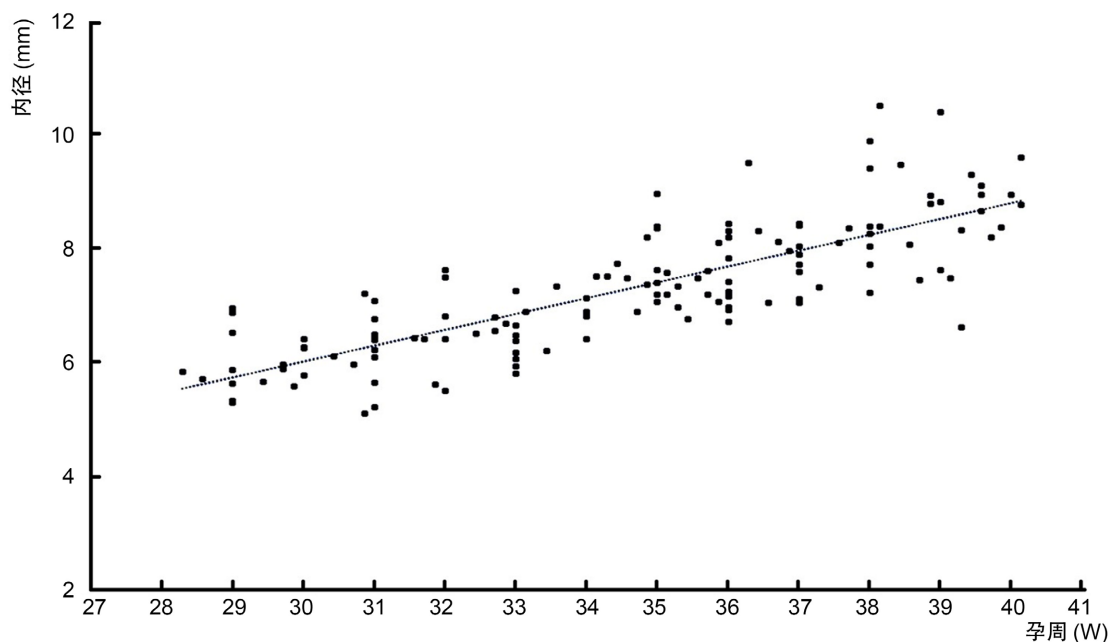


Figure 7. The variation trend of inner diameter with gestational age

图 7. 内径随孕周变化趋势

#### 4. 讨论

研究表明胎儿肺成熟度与该胎儿出生后是否患有新生儿呼吸窘迫综合征(NRDS)具有高度的相关性,而 NRDS 是导致新生儿疾病甚至死亡的主要原因[14] [15],而 NRDS 主要发生于早产阶段,是最常见早产儿的致死原因,因此在孕龄 28 周之后准确了解胎儿肺成熟度是非常必要和关键的[16]。胎儿肺是逐渐成熟的过程,胎儿期肺动脉管壁厚度/直径要高于肺动脉管壁厚度/直径比值,肌层更加厚实。在早中期,胎儿肺动脉阻力大、压力大、血流量少,有研究表明,正常胎龄在 20 周时胎儿通过肺动脉进入肺部的供血量占到胎儿总心排血量的 7%~10% [17],而到了 30 周时通过肺动脉进入肺部的供血量能占到胎儿总心排血量的 25% [8],这个比例能够一直维持到胎儿足月。传统的检测胎儿肺成熟度的办法有:羊水泡沫震荡试验、羊水卵磷脂/鞘磷脂比值、羊水吸光度测定、磷脂酰甘油检测等[18],优点是具有较高的诊断价值,缺点是需要进行有创检查,给予羊膜腔穿刺术,给孕妇带来痛苦,而且检测成本高。目前比较流行的胎儿肺成熟度检测方式是无创检查,利用超声多普勒技术测量胎儿肺动脉血流动力学的变化[6] [19] [20] [21],进而完成检测任务。

关于多普勒取样点的选择,有多项选择:一是胎儿肺内动脉;二是左(右)肺动脉;三是肺动脉主干,有研究表明以上三个取样位置获得成功多普勒流速曲线的概率分别是 28.6%、91.8%、100% [6],造成前两个取样位置效果不佳的原因有血管较细导致血流量较小,受体位影响比较大,只有横位四腔心的时候才能清楚测量出结果,另外胎儿动脉导管会妨碍测量左肺动脉的曲线参数,很难获得成功的流速曲线[22]。胎儿左右两侧肺动脉血流量汇入组成了胎儿主肺动脉的血流量,使得主肺动脉的血流量更大,同时管径也比左右两侧肺动脉管径更粗,为测量参数提供了有利条件。因此,本研究将多普勒取样点选在胎儿主肺动脉中段。胎儿主肺动脉多普勒流速曲线参数主要包括 AT、AT/ET、ET、PSV、PI、RI、内径、舒张期末流速(EDV)和平均流速(MV)等共计九项[6],本研究选择比较重要的前七项参数作为测量数据。没有选择 EDV 和 MV 的原因在于,随着孕周增加 EDV 数值一直较低,测量时容易出现误差[23] [24],而 MV 只有比较缓慢的增加幅度,与孕龄相关度较低,并且一旦胎位不正造成测量不得不采用较大测量角度,

那么 MV 的误差率就比较大, 会影响统计结果的准确性[20]。

本研究显示了正常胎儿主肺动脉在 28~40 周范围内多普勒参数 AT、AT/ET、ET、PSV、PI、RI、内径随着孕龄增加参数本身的变化趋势。从表 1 可以清楚看到, 随着孕龄增加, 胎儿主肺动脉参数中 AT、AT/ET、内径存在明显变化( $P < 0.001$ ), 内径从 28 周时的( $6.07 \pm 0.54$ ) mm 增加到 $\geq 37$  周时的( $8.39 \pm 0.89$ ) mm, 增加幅度明显, 差异存在统计学意义( $P < 0.001$ ); 同时 AT、AT/ET 从 28 周时的( $31.76 \pm 3.02$ ) ms、( $0.18 \pm 0.02$ )增加到 $\geq 37$  周时的( $46.23 \pm 6.13$ ) ms、( $0.26 \pm 0.04$ ), 增幅也很明显( $P < 0.001$ )。而其他参数 ET、PSV 变化缓慢, RI、PI 没有统计学意义( $P > 0.05$ )。其中, AT、AT/ET、内径随着孕龄而增加明显, 这反映出此时胎儿肺血管管径增加, 引起了肺动脉压力减少和肺血流量增加。

本研究显示了正常胎儿在 28~40 周范围内主肺动脉多普勒流速曲线参数 AT、AT/ET、ET、PSV、PI、RI、内径随着孕龄增加这七项参数与孕周的相关性。从表 2 可以清楚看到, AT、AT/ET、内径与孕周具有高度相关性, 相关系数分别达到了 0.780、0.749、0.821, 呈线性正相关。而 ET、PSV 与孕周相关系数分别是 0.260、0.323, 具有低度相关性, 而 RI、PI 无相关性, Sivan 等[25]认为妊娠晚期外周肺动脉血管壁的平滑肌成份增加, 有助于对各种血管收缩剂(如前列腺、氧气)产生最大反映, 因此, 尽管随着妊娠进展, 主肺动脉横断面面积增加, 但血管的高反应性维持了稳定的肺循环, 故仍保持稳定的高阻力, 所以 RI、PI 随孕周变化趋于平稳。另有学者指出: 由 RI 和 PI 的计算公式可知, 当舒张期血流速度很低时, RI 和 PI 将变得不靠谱。有研究认为参数 PSV 随着孕龄增加自身增加缓慢, 如果胎位不正会导致测量角度变大, 使得 PSV 测量结果不准, 这可能是导致 PSV 与孕周相关性较低的原因[26]。而有研究认为参数 ET 随孕龄增加, 虽然肺血流量增加, 但主要原因是肺血管管径增加、血流速增加, 而参数 ET 变化不大, 并且测量结束的时候正好赶上舒张早期切迹点出现, 于是造成参数 ET 测量不准[27]。

综上所述, 本研究表明正常胎儿的 AT、AT/ET、内径与孕龄具有高度相关性, ET、PSV 与孕龄低度相关性, RI、PI 无相关性。依据正常胎儿主肺动脉多普勒参数测量范围、统计数据、绘制各参数与孕龄关系的散点图, 积累和建立正常胎儿主肺动脉多普勒参数数据库, 能够为产科临床无创评估正常胎儿肺成熟度、临床诊断 NRDS 提供准确、可靠、真实的数据支撑。

## 参考文献

- [1] 沙恩波, 吕志儒, 翟晶, 等. 正常足月胎儿主肺动脉超声多普勒 AT/ET 比值变化趋势的研究[J]. 影像研究与医学应用, 2020, 4(17): 31-33.
- [2] Chaoui, R., Taddei, F., Rizzo, G., et al. (1998) Doppler Echocardiography of the Main Stems of the Pulmonary Arteries in the Normal Human Fetus. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*, **11**, 173-179. <https://doi.org/10.1046/j.1469-0705.1998.11030173.x>
- [3] Fuke, S., Kanzaki, T., Mu, J., et al. (2003) Antenatal Prediction of Pulmonary Hypoplasia by Acceleration Time/Ejection Time Ratio of Fetal Pulmonary Arteries by Doppler Blood Flow Velocimetry. *American Journal of Obstetrics & Gynecology*, **188**, 228-233. <https://doi.org/10.1067/mob.2003.69>
- [4] Laudy, J.A.M., De Ridder, M.A.J. and Wladimiroff, J.W. (2000) Human Fetal Pulmonary Artery Velocimetry: Repeatability and Normal Values with Emphasis on Middle and Distal Pulmonary Vessels. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*, **15**, 479-486. <https://doi.org/10.1046/j.1469-0705.2000.00134.x>
- [5] Sivan, E., Rotstein, Z., Lipitz, S., Sevilia, J. and Achiron, R. (2000) Segmentary Fetal Branch Pulmonary Artery Blood Flow Velocimetry: In Utero Doppler Study. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*, **16**, 453-456. <https://doi.org/10.1046/j.1469-0705.2000.00268.x>
- [6] 官勇, 涂新枝, 王晨虹, 等. 胎儿肺动脉超声多普勒流速曲线收缩期加速时间/射血时间比值产前预测新生儿呼吸窘迫综合征的价值[J]. 中华医学超声杂志(电子版), 2013, 10(5): 394-398.
- [7] 官勇, 李胜利. 产前肺动脉多普勒流速曲线在评估胎儿肺成熟度中的作用[J]. 中华医学超声杂志(电子版), 2013, 10(1): 23-26.
- [8] 官勇, 李胜利, 付倩, 等. 正常胎儿主肺动脉多普勒流速曲线参数测值与孕龄相关性的研究[J]. 中华医学超声杂志



- 志(电子版), 2014(1): 38-43.
- [9] 王先进, 曾文华, 章卉, 等. 胎儿肺动脉多普勒测量参数对新生儿呼吸窘迫的预测价值[J]. 中国医学创新, 2020, 17(28): 39-42.
- [10] 黄婷. 胎儿主肺动脉多普勒测量 AT/ET 比值预防剖宫产发生新生儿呼吸窘迫综合征的临床研究[J]. 基层医学论坛, 2018, 22(2): 207-208.
- [11] 郑芳. 主肺动脉多普勒测量收缩期加速时间/射血时间比值预防剖宫产新生儿呼吸窘迫综合征分析[J]. 实用医学影像杂志, 2019, 20(3): 259-261.
- [12] 柳彬, 黄兴涛, 陈秋玲. 胎儿肺动脉多普勒超声预测肺成熟度的可行性分析[J]. 实用临床医药杂志, 2015, 19(17): 64-66.
- [13] 官勇, 李胜利, 叶海腾, 等. 多普勒超声监测早发型重度子痫前期患者胎儿主肺动脉流速曲线的应用价值[J]. 中华超声影像学杂志, 2017, 26(7): 587-591.
- [14] Barreira, E.R., Munoz, G.O., Cavalheiro, P.O., *et al.* (2015) Epidemiology and Outcomes of Acute Respiratory Distress Syndrome in Children According to the Berlin Definition: A Multicenter Prospective Study. *Critical Care Medicine*, **43**, 947-953. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000000866>
- [15] Tang, Y., Jin, X.-D., Xu, L., *et al.* (2020) The Value of Ultrasonography in Assessing Fetal Lung Maturity. *Journal of Computer Assisted Tomography*, **44**, 328-333. <https://doi.org/10.1097/RCT.0000000000001011>
- [16] 周巧兰, 于丽杰, 蒲英杰, 范金玉. 胎儿主肺动脉发育规律的超声观察[J]. 中国医刊, 2017, 52(7): 73-76.
- [17] 王园园, 王乾, 吴向玲, 等. 孕晚期健康胎儿及新生儿主肺动脉血流量正常范围及其变化机制[J]. 武警医学, 2015, 26(9): 904-906.
- [18] Rasanen, J., Wood, D., Weiner, S., Ludomirski, A. and Huhta, J.C. (1996) Role of the Pulmonary Circulation in the Distribution of Human Fetal Cardiac Output during the Second Half of Pregnancy. *Circulation*, **94**, 1068-1073. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.94.5.1068>
- [19] 张丽珍, 尹林凤, 毛韧, 俞小燕. 正常胎儿主肺动脉多普勒参数与孕周的关系[J]. 中华医学超声杂志(电子版), 2019, 16(11): 848-852.
- [20] 唐萍, 许川一, 王莉贞, 等. 胎儿肺主动脉血流动力指数与胎儿肺成熟度关系的探讨[J]. 中国妇幼保健, 2008, 23(20): 2833-2834.
- [21] Eraslan, S.M., Col, M.I., Sahin, E., *et al.* (2020) Fetal Pulmonary Artery Acceleration/Ejection Ratio for Transient Tachypnea of the Newborn in Uncomplicated Term Small for Gestational Age Fetuses. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*, **247**, 116-120. <https://doi.org/10.1016/j.ejogrb.2020.02.018>
- [22] 陈娜, 姜凡, 罗福成. 超声评估胎儿肺脏成熟度的研究进展[J]. 安徽医药, 2011, 15(2): 231-233.
- [23] Rudolph, A.M. and Heymann, M.A. (1970) Circulatory Changes during Growth in the Fetal Lamb. *Circulation Research*, **26**, 289-299. <https://doi.org/10.1161/01.RES.26.3.289>
- [24] Lewis, A.B., Heymann, M.A. and Rudolph, A.M. (1976) Gestational Changes in Pulmonary Vascular Responses in Fetal Lambs in Utero. *Circulation Research*, **39**, 536-540. <https://doi.org/10.1161/01.RES.39.4.536>
- [25] Sivan, E., Weisz, B., Shteinman, N., *et al.* (2004) Alterations in Segmentary Branch Pulmonary Artery Blood Flow Velocimetry in Fetuses of Diabetic Mothers. *Journal of Ultrasound in Medicine*, **23**, 339-345. <https://doi.org/10.7863/jum.2004.23.3.339>
- [26] 郑达聪, 卢展辉, 陈婷, 杜秀凤. 多普勒超声监测正常胎儿主肺动脉流速曲线的应用价值[J]. 现代医用影像学, 2020, 29(5): 803-806.
- [27] 涂新枝, 官勇, 李胜利, 等. 正常胎儿肺动脉多普勒参数与孕周增长关系的初探[J]. 实用妇产科杂志, 2015, 31(5): 345-349.