

青春期不同发育时相体适能发展特征 及运动健康促进

朱镕鑫 许汪宇 周慧康 蔡 广

【摘 要】目的:本研究通过观察青少年青春期及不同发育时相体适能发育特点,探讨对青春期青少年健康促进的启示。方法:选取上海市9~15岁青少年参加测试,2016-2018年合计测试1215人次,连续参加3次测试的共有151人。所有受试者均进行了骨龄、形态、机能、素质与血清睾酮测试。计算群体样本横截面平均值与标准差、各指标年变化量并观察各指标青春期间发育规律;按照末次测试时发育程度对追踪样本进行分组,计算并比较其初次测试时各指标Z值变化。结果:男性最大身高增长速度(peak of height velocity, PHV)为6.77 cm/年,对应的年龄为13岁;女性PHV为6.30 cm/年,对应的年龄为11岁。男女性坐高、上臂紧张围、体重、肌肉质量等指标峰值均出现在PHV之后;指距峰值男女性与PHV同步出现;男性下肢长B峰值出现在PHV之前,而女性与PHV同步;男性肩宽峰值出现在PHV之后,女性与PHV同步。男性睾酮与PHV同步出现。机能及素质指标年变化值差异较小。男性形态指标Z值发育偏早个体均大于0,发育正常个体接近于0,发育偏晚个体Z值小于0;女性形态指标规律与男性一致。结论:青少年发育类型可以通过计算和比较其形态学指标的Z值均值估计;青少年体适能健康促进者可以通过青少年的PHV年龄评估青少年发育类型,再结合各项体适能发育规律,设计有针对性的干预方案。

【关键词】PHV;体适能;发育水平;体质健康;青少年

【作者简介】朱镕鑫(1994-),男,浙江台州人,上海体育科学研究所(上海市反兴奋剂中心)研究实习员,研究方向为青少年选育才,E-mail:rongxin.zhu@outlook.com(上海 200030);许汪宇,上海市宝山区体育事业管理中心(上海 201900);周慧康,上海徐汇区第二青少年业余体育学校(上海 200030);蔡广(通讯作者)(1977-),男,湖北黄梅人,上海体育科学研究所(上海市反兴奋剂中心)副研究员,研究方向为运动项目选材指标体系建立,运动员机能评价、儿童身高预测研究,E-mail:leng8yang@126.com(上海200030)。

【原文出处】《天津体育学院学报》,2023.2.178~184

【基金项目】上海市科委定向课题研究项目(项目编号:18DZ1200600)。

中国乃至世界青少年肥胖症发生率逐步增高,学生体质水平逐渐下降,这一现象正引起社会关注^[1]。我国新发布的《“健康中国2030”规划纲要》^[2]中明确提出实施青少年体育活动促进计划,确保学生校内每天体育活动时间不少于1小时,且达到一定的活动强度目标,这些政策表明国家对青少年体质健康的重视。

青春期是一个特别的阶段,该阶段是人体走向成熟的一个动态生物学过程,外在表现为体型等形态快速变化,内在表现为各类激素的变化^[3]。总体来说,青春期的变化是存在一定规律的^[4]。但是由于遗传或环境因素的影响,个体之间的发育水平可能存在较大差异^[5],这种发育差异将会导致个体间

的形态、机能、素质、心理等体适能存在明显的差异^[6]。因此,青春期阶段体育健康促进计划必须要考虑个体发育差异。

最近几十年我国青少年生长发育呈现加速的趋势,主要表现为青春期提早出现、体型更为高大等^[7]。但是,近10年来针对青春期体适能变化规律的研究较少。本研究中将采用2年追踪的方式探讨当代青少年青春期前后及青春期体适能发育特点,同时探讨此阶段不同发育状态青少年体适能差异,为科学干预青少年的体质健康提供依据。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象与分组

本研究对象为上海地区青少年,所有招募参与

测试的受试者均有运动习惯,定期参与体育活动。男性受试者测试 577 人次,年龄范围 10~15 岁;女性受试者测试 638 人次,年龄范围 9~15 岁。群体数据按照性别和年龄分层,计算平均值和标准差用以计算 Z 值。本研究已通过复旦大学生命科学学院伦理委员会的伦理审查(伦理批第(497)号),测试时间为 2016 年 12 月至 2018 年 12 月,各次测试均在 12 月份进行。

本研究连续参加 3 次测试的受试者共有 151 人,男性 72 人,女性 79 人。根据骨龄进行发育评估,骨龄与日历年龄差值 1 岁以内的,为正常发育;骨龄大于日历年龄 1 岁以上的,为发育偏早;骨龄小于日历年龄 1 岁以上的,为发育偏晚。对这些受试者按照末次测试时发育状态进行分组(发育偏早、正常、偏晚),计算 Z 值,比较其首次测试时的形态、机能等指标差异特点。

1.2 研究方法

在测试前 24 小时内,所有测试者不再进行运动训练。测试当天上午 7 时,受试者空腹到实验室报到,依次进行身体成分测试和血液采样后,受试者进食,休息半小时,再进行其他指标测试。采集指标为骨龄、身高、体重、坐高、指距、肩宽、下肢长 B(大转子最高点到地面的垂直距离)、上臂紧张围、上臂放松围、身体成份、最大摄氧量、肺活量、握力、立定跳远、简单反应时、睾酮等。

1.2.1 身体形态测试 测试人员为经培训考核合格的上海市运动员选材育才专业委员会专技人员。身体形态测试方法参考《人体测量方法》^[8]和《国民体质监测与评价》^[9]等操作手册。

1.2.2 骨龄测试 按照骨龄标准摄片要求,拍摄左手腕正位 X 线片。骨龄评估标准采用 2006 年国家体育总局颁发《中国青少年儿童手腕骨成熟度及评价方法》^[10](简称“中华 05”),身高预测采用“中华 05”改进 B-P 方法^[11]。

1.2.3 身体机能与素质测试 在所有机能和运动素质测试前,详细告知受试者方法与流程,并进行准备活动。有氧能力测试采用间接测试法,测试仪器为 Monark 839E 功率自行车、心率表(V800, Polar, USA),受试者按照测试方案进行递增负荷运动,起始功率为 50 W,运动 3 min 后,功率增加 25 W,随后每 3 min 功率增加 25 W,骑行转速始终保持 50 r/min。当两个或两个以上阶段的运动负荷使受试者心率达到 120~170 b/min 之间时,停止运动,记录最后两个阶段的功率、心率,并据此推算最

大摄氧量^[12]。肺活量、握力、立定跳远测试依据《运动员选材与原理》和《国民体质监测与评价》测试细则进行^[9,13]。简单反应时采用专用的心理测试系统(TE-Reaction,上海趣壹科技有限公司)。

1.2.4 血清睾酮测试 采集受试者静脉血,4℃,2 000×g 离心 10 min,分离血清用以检测血清睾酮水平。睾酮检测采用全自动免疫分析系统及睾酮免疫发光试剂进行测试测试 CV 小于 8.10%。

1.3 数据处理

所有的数据都采用 SPSS 26.0 进行统计,显著性水平设置为 P<0.05,比较分析采用单因素方差分析。数据可视化使用 ggplot2^[14]和 Graphpad Prism 8。Z 值计算: $Z = \frac{(x-\mu)}{\sigma}$,式中,x 为个体原始数据,μ 为群体平均值,σ 群体标准差。

2 研究结果

2.1 青少年身高发育突增期的测试结果

根据连续参加 2 次及以上个体的年身高增长值绘制年身高增长曲线。男性 PHV 在 12~13 岁出现,其最大身高增长速度所对应的年龄(age at PHV, aPHV)约为 13 岁,身高年增长值为 6.77 cm;女性 PHV 在 10~11 岁出现,其 aPHV 所对应的年龄约为 11 岁,身高年增长值为 6.30 cm(见图 1)。

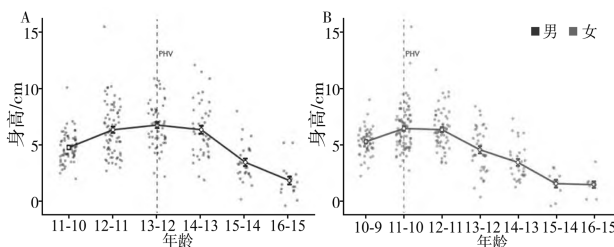


图 1 身高年增长值曲线

Figure 1 Annual Growth Curve of Height

注:图中横坐标为年龄差值,如“11-10”为 10 到 11 岁的差值(下同)。

2.2 青少年形态、睾酮、机能指标发育规律的测试结果

根据各指标年增长值绘图,以 PHV 为界限,观察各指标年龄发育规律特点。形态指标变化特点:男女性坐高、上臂紧张围、上臂放松围、体重、肌肉质量等指标峰值均出现在 PHV 之后;男女性指距峰值与 PHV 同步出现;男性肩宽峰值出现在 PHV 之后,女性与 PHV 同步;男性下肢长 B 峰值出现在 PHV 之前,女性与 PHV 同步;男性围差(上臂紧张围与放松围差值)无明显峰值,女性在 PHV 之后有小幅下降,差值在 0 附近波动;男女性体脂率变化

无明显峰值,女性体脂率在 PHV 之后出现小幅增长的趋势(见图2)。

睾酮、机能及素质指标变化特点:男性睾酮峰值与 PHV 同步出现,女性睾酮无明显波动,但在 PHV 之后有小幅上升;简单反应时为低优指标,男性年变化值变化不明显,女性在 PHV 后一年出现小峰值;男性握力峰值出现在 PHV 之后,女性变化无明显规律;男性和女性背力均在 PHV 后出现峰值,且男性背力变化量大于女性;原地纵跳男女性均无明显变化,但是女性原地纵跳变化量在 PHV 之前便出现下降,在 PHV 后 1 年左右趋近于 0;男性立定跳远变化峰值与 PHV 同步,女性无明显规律;男女性最大摄氧量绝对值与肺活量指标年变化

值在追踪期间均无明显变化,差值在 0 附近波动;男女性最大摄氧量相对值(最大摄氧量除以体重)年变化值均小于 0,且随年龄的增加逐渐趋近于 0,无明显峰值出现(见图3)。

2.3 不同发育类型的基本发育规律的测试结果

对于追踪 2 年测试样本,根据末次测试的发育状态进行分组,计算其首次测试时各指标的 Z 值,绘制热图。男性形态指标与发育状态关系较为明显,发育偏早组 Z 值均大于 0,发育正常组 Z 值接近于 0,发育偏晚组 Z 值小于 0;女性形态指标规律与男性基本一致;男性机能与素质指标除简单反应时、原地纵跳、最大摄氧量相对值等指标外,均大致呈现发育偏早>发育正常>发育偏晚的趋势;女性机

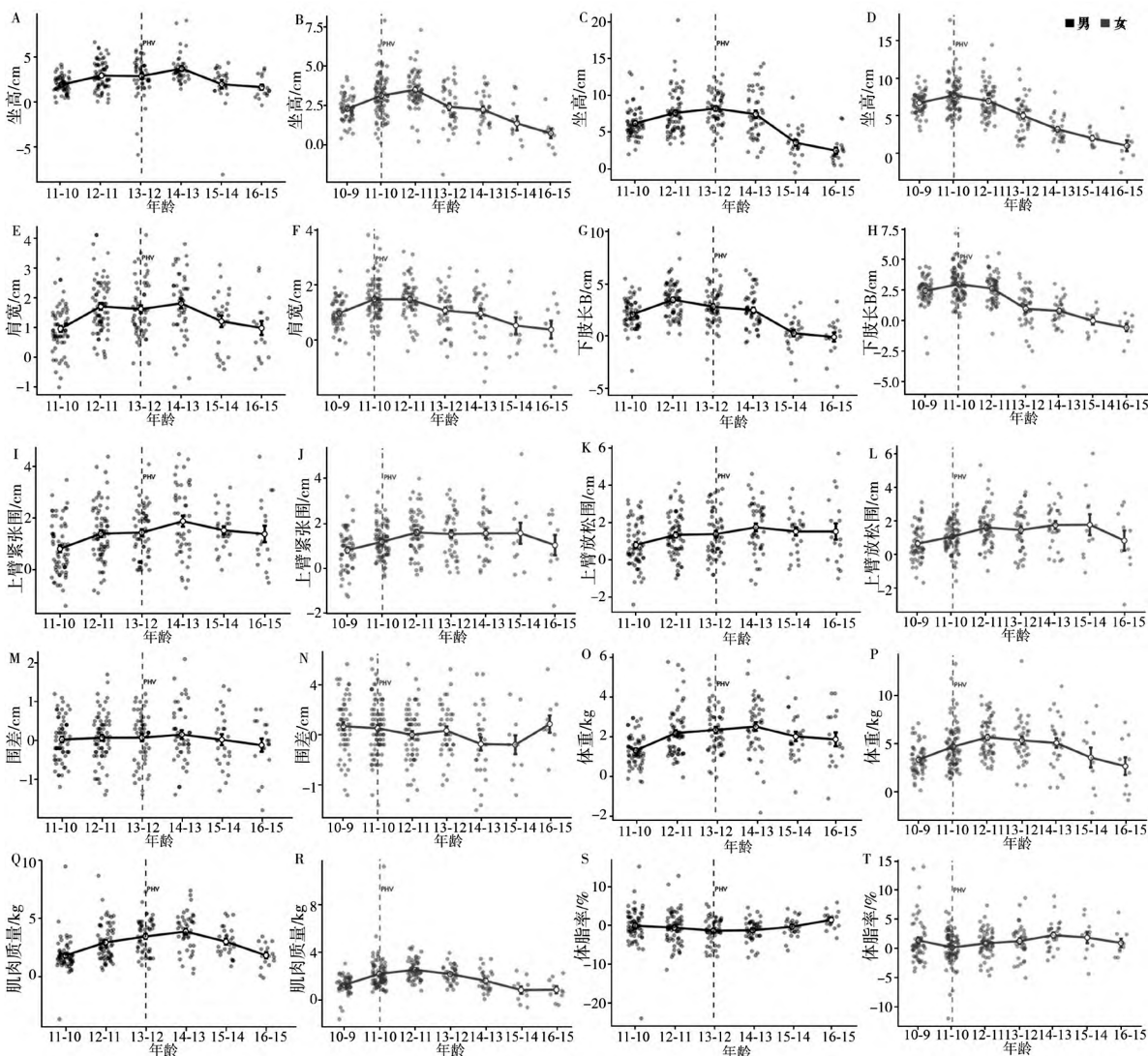


图2 形态指标年变化曲线

Figure 2 Annual Variation Curve of Anthropometric Characteristics

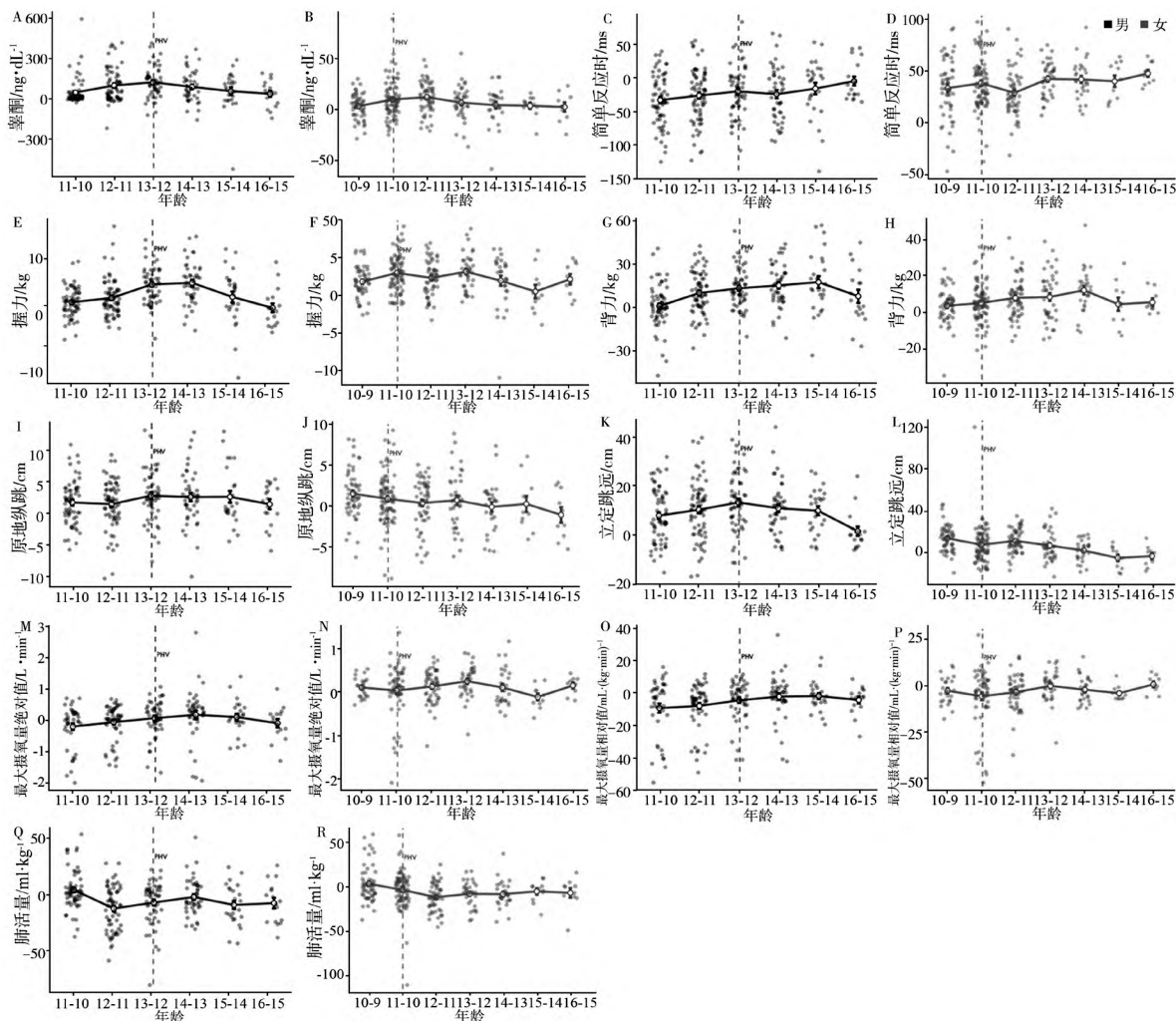


图3 睾酮、机能及素质指标年变化曲线

Figure 3 Annual Variation Curve of Fitness Characteristics

能与素质指标无明显规律。男女性最大摄氧量相对值呈现发育偏晚>发育正常>发育偏早,与最大摄氧量绝对值趋势相反(见图4)。

男性发育偏晚组形态指标 Z 值小于发育偏早组($P<0.05$);除下肢长 B 外,男性发育偏晚组其余形态指标均小于发育正常组($P<0.05$);男性发育偏晚组形态指标 Z 值平均值小于发育偏早组与发育正常组($P<0.05$)。女性发育偏早组形态指标与发育正常组差异无显著性,发育偏晚组 Z 值除下肢长 B、上臂紧张围外,均小于发育偏早组($P<0.05$)。机能与素质指标中,男性发育偏早组睾酮、立定跳远等指标大于其他两组($P<0.05$),发育偏晚组握力低于发育偏早组($P<0.05$);女性发育偏晚组握力低于发育偏早组($P<0.05$)。

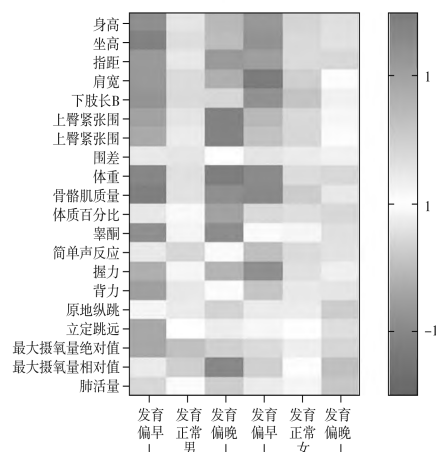


图4 不同发育类型群体在初次测试时不同指标 Z 值热图

Figure 4 Heat Map of Different Indicator Z Scores for Different Maturity Status in the First Test

3 讨论

3.1 青少年体适能发育特征与规律

随着电子游戏、全天候的互联网视频、智能手机等电子产品的普及,青少年的空余时间更多地花在电子产品的娱乐上,这种长期的静坐少动以及含糖饮品的过度摄入,增加了青少年肥胖的发生率^[15],也降低了青少年的健康状况。当前我国以及一些发达国家对青少年的体质健康发展越来越重视。要提高青少年体质健康,除改变青少年的运动环境外,还需要加强科学的运动干预方式。由于青少年生长发育的影响,科学运动干预需要考虑其不同时期的运动能力发育特点。一些研究表明,由于生长发育加速长期趋势的影响,我国青少年 1985—2005 年间体格发育水平全面高大化,青春期发育提前^[16],最近十几年我国青少年发育趋势怎样,目前还未见系统的研究报道。

在青春期期间,身高一般都会经历一个突增期,突增期开始之后,身高年增长值会逐年增大并达到 PHV,在 PHV 之后身高增长放缓,并在 20 岁左右停止增长^[17]。中国青少年身高增长长期高峰一般发生在 12~14 岁,此时骨龄一般为 13 岁,高峰期间年增长值一般在 7~10 cm^[18]。本研究中,通过绘制身高年增长曲线得到 PHV 值及其对应的年龄,男性 PHV 约在 13 岁出现,女性 PHV 约在 11 岁出现,与前人研究结果一致,反映当代青少年青春期未提前。本研究中男性 PHV 对应的身高年增长值为 6.77 cm,女性为 6.30 cm,均略低于前人研究结果,可能是由于本研究样本量较小,放大了个体发育水平的差异。在实践中 PHV 可以应用于个体发育状态判断,如男孩 PHV 在 13 岁之前或之后出现,女孩在 11 岁之前或之后出现,反映该男孩或女孩发育可能偏早或偏晚。

肢体与躯干发育中,一般下肢首先发育,随后是上肢发育,最后是躯干发育^[19]。本研究中肢体及躯干发育规律与前人研究基本一致,反映青少年肢体和躯干发育顺序规律未发生变化。体重也是重点关注的指标之一,体重的增长与生长发育关系密切,本研究中男女性体重和肌肉质量增长峰值在 PHV 之后出现,而体脂率变化均无明显峰值且均在 0 附近波动,提示在 PHV 之后的体重增长主要由肌肉增长贡献。女性体脂率在 PHV 之后有小幅上升。由于女性月经初潮往往在 PHV 之后发生^[17],故女性体脂率的上升可能与女性激素的变化

有关^[20]。

身体形态是较为容易测试与观察的指标,健康促进从业者或家长在对青少年进行生长发育监控时,除定期测试身高外,还可以同时测试下肢、上肢、体重等变化,结合以上指标综合判断青少年的生长发育状态。如发现青少年下肢生长加速,提示其即将进入身高增长高峰期,此时应特别注意青少年的营养状态和睡眠状态,可以适当进行生活干预(如均衡膳食、保证睡眠、适当进行体育锻炼等),确保青少年身高增长潜力得到充分发挥。此外,由于体重增长高峰在 PHV 之后出现,应注意通过膳食或运动干预等方式控制青少年在达到 PHV 之前的体重增长,尽量避免肥胖的发生^[21]。

睾酮作为男性发育的重要指标之一,与运动能力关系密切,能够促进蛋白质合成、增加肌肉含量^[3]。在青春期启动前,男女性睾酮处于较低水平(100 mg/mL 以下)^[22],男性睾酮于 PHV 前一年开始迅速升高,并在 PHV 之后的 3 年左右达到成年水平^[23]。本研究中,男性睾酮峰值与 PHV 同步,在 PHV 前 1 年增长速度迅速提高,并在 PHV 后增长速度逐渐减缓,并逐渐达到成人水平,与前人研究一致。

力量素质也是评定体适能的重要维度之一,围差、握力、背力、原地纵跳与立定跳远指标分别能反映上肢、躯干以及下肢的力量素质。本研究中男女力量素质发育规律差异较大,总体来说男性各力量素质指标年变化量大于女性,且能观察到较明显的峰值,这可能与男女性激素差异有关^[24]。上臂紧张围与放松围差值在一定程度上反映肱二头肌的发达程度。女性在 PHV 前围差的年差值为正值,PHV 后为负值,提示女性 PHV 之后的上臂围度变化以脂肪增加为主,这个现象可能与雌激素有关^[20]。在青春期前,影响青少年力量发展的主要因素为中枢神经系统激活与募集肌肉的能力;进入青春期后,男性由于睾酮等激素的突增,导致肌肉质量增加,进而增加了肌肉力量;此期间女性睾酮变化不明显,因此,女性由肌肉质量增加带来的力量增长不明显,但总体来说,男性和女性的力量素质均能够在青春期阶段得到快速提升^[15]。力量素质的敏感期为 10~16 岁,健康促进工作者可在青少年进入青春期前通过简单的力量练习或者游戏,刺激神经肌肉发展,提高中枢神经对肌肉的控制能力;青少年进入力量素质敏感期后,根据其自身情

况,选择自身重量或者弹力带、轻负荷自由重量进行力量练习,提高青少年身体素质^[25]。

最大摄氧量与肺活量指标能够反应青少年心肺功能的发育特点。其中,最大摄氧量是评价有氧运动能力的重要指标之一,有氧运动能力低下会明显增加心血管疾病等各种慢性病的患病风险,并提高全因死亡率^[26]。运动训练能够通过机体的形态及机能的良性适应,从而增加心输出量,提高最大摄氧量^[27]。本研究中,最大摄氧量相对值的变化趋势与其绝对值变化趋势不同,可能是由于青少年生长发育过程中体重增速远大于绝对最大摄氧量的增速。提示在青少年生长发育的过程中,可以通过适当的运动训练,提高心肺功能,并通过减轻体重,主要是减少体脂,提高最大摄氧量相对值,从而提高整体健康水平。

3.2 青少年体适能发育特点与规律对健康促进的启示

青少年健康促进的主体为学校体育教育,在2011年颁布的《义务教育体育与健康课程标准》^[28]中明确提出:体育健康促进教学内容的选择和设计要充分考虑到不同阶段学生体育健康学习基础、身体特征、体能发展敏感期和心理发育特点等,提高教学内容的针对性。该标准把义务教育阶段的青少年划分为4个水平,每个水平有不同的教学目标要求:水平一为1~2年级,对应年龄段约为6~7岁,该阶段学习目标是初步发展柔韧性、灵敏性和平衡能力;水平二为3~4年级,对应年龄段约为8~9岁,该阶段学习目标除发展柔韧性、灵敏性外,增加了速度与力量;水平三为5~6年级,对应年龄段约为10~11岁,该阶段学习目标是提高灵敏性、力量、速度和心肺耐力;水平四为7~9年级,对应年龄段约为12~14岁,该阶段学习目标是在运动项目练习中提高灵敏性、速度、力量、心肺耐力和健身能力。从各阶段的教学目标可见该新课程标准已经考虑到体适能发育特点因素,但是目标设置并没有完全符合生长发育敏感期规律。灵敏性和平衡性与神经系统密切相关,大脑在9岁以前基本完成了大脑基本结构发育^[29],因此在水平一阶段发展灵敏性和柔韧性是符合发育规律的。速度、力量、心肺耐力三项体适能涉及多系统,如力量涉及神经系统和肌肉系统,因此其发展也需要根据两个系统的敏感期设计相应的教学方法,在青春期以前(男性约12岁,女性约10岁)力量训练应注重正确用

力姿势,也就是多进行神经系统训练,等到青春后期肌肉系统完善后,才可以开始负重力量练习。在新课标中,8~9岁阶段就设置了力量训练目标,但是没有详细训练侧重点说明。因此,该新课标目标设置还有待细化,对于速度、力量、心肺耐力等系统应该考虑到其子系统的发育差异,以及青春期男女性别差异等。

对健康促进者除了要了解青少年体适能发育规律外,判断青少年的发育情况并设计相应的干预方案是十分必要的,更早的发现发育偏早或偏晚的个体,并及时地进行干预,有利于青少年的健康全面发展。本研究对追踪研究地个体的末次测试发育类型进行分类,比较不同发育类型个体初次测试时形态、机能和运动素质指标差异。由于受试者初次测量时年龄有所差别,本研究对指标进行了Z值标准化处理^[30],然后再进行比较。由于形态指标Z值变化更具规律性,可以用形态指标Z值的均值初步判断青少年发育情况,Z值均值接近或大于1的个体发育偏早;Z值均值在0到0.5的个体发育正常;Z值均值小于0的个体发育偏晚。健康促进者可以通过Z值对青少年进行分组,开展个性化体育教学。此外Z值大于或小于2的个体,可能存在由于疾病引起早发育或晚发育,因此需要引起健康促进者注意,建议提醒家长到专业儿童医院做进一步检查,排除疾病影响。

除了使用Z值均值,还可以使用PHV规律,结合各种运动素质指标相对PHV年龄的发展规律,指导青少年进行科学体育锻炼。在PHV前,由于睾酮等激素水平较低,力量素质等发展不明显,此时可以培养青少年对体育的兴趣,掌握基本动作能力以及基本运动常识。此时的运动训练旨在让青少年养成运动的习惯,提高身体协调性。当青少年达到PHV时,睾酮等激素(尤其是男性)开始加速增长,此时,可以考虑增加体育锻炼的次数、时间与频率,尤其是力量与爆发力的练习。规律的体育锻炼不仅能改善青少年体脂增加过多、过快带来的不良影响,提高整体健康水平,还能够提高青少年的文化成绩^[31]。

4 结论

(1)男性青少年PHV所对应的年龄约为13岁,女性青少年PHV所对应的年龄约为11岁。
(2)无论男性还是女性,肢体和躯干发育顺序规律未发生明显变化,仍按照下肢、上肢、躯干的顺序进

入增长高峰期,男性睾酮变化增长高峰与 PHV 同步,男女性握力、背力等力量素质相关指标均在 PHV 之后出现峰值。(3)发育类型的可以通过形态学 Z 值均值估计,发育偏早青少年 Z 值均值接近或大于 1、发育正常青少年 Z 值均值在 0 到 0.5 之间、发育偏晚青少年 Z 值均值小于 0。

参考文献:

[1]孙国涛,李靖,李焕玉,等.基于知识图谱的国内儿童青少年肥胖研究现状、热点与演进趋势[J].现代预防医学,2016,43(21):3899-3901+3914.

[2]中共中央、国务院印发《“健康中国 2030”规划纲要》[N].人民日报,2016-10-26(1).

[3]BEUNEN G P, ROGOL A D, MALINA R M. Indicators of biological maturation and secular changes in biological maturation[J]. Food Nutr Bull, 2006, 27(4): S244-S256.

[4]SANDERS J O, QIU X, LU X, et al. The uniform pattern of growth and skeletal maturation during the human adolescent growth spurt[J]. Sci Rep, 2017, 7(1): 16705.

[5]BUCKLER J M. Skeletal age changes in puberty[J]. Arch Dis Child, 1984, 59(2): 115-119.

[6]DE MORAES A M, BERGAMO V R, GUERRA-J U NIOR G. Sports activity at childhood and adolescence [M]//ROCHA PIEDADE S, IMHOFF A B, CLATWORTHY M, et al. The sports medicine physician. Cham: Springer International Publishing, 2019: 45-58.

[7]刘姝,刘珂,王欢.2005 年与 2015 年澳门儿童青少年生长发育快速增长长期体质特征的比较研究[J].中国体育科技,2019,55(12):39-48.

[8]席焕久,陈昭.人体测量方法[M].北京:科学出版社,2010:47.

[9]张艺宏.国民体质监测与评价[M].北京:科学出版社,2017:81.

[10]中华人民共和国国家体育总局.TY/T 3001-2006 中国青少年儿童手腕骨成熟度及评价方法[S].北京:中国标准出版社,2006.

[11]张绍岩.中国人手腕部骨龄标准:中华 05 及其应用[M].北京:科学文献出版社,2015:75-93.

[12]CAI G, QIU J, CHEN S, et al. Hematological, hormonal and fitness indices in youth swimmers: gender-related comparisons[J]. J Hum Kinet, 2019, 70: 69-80.

[13]王金灿.运动员选材与原理[M].北京:人民体育出版社,2005:153.

[14]WICKHAM H. Ggplot2: elegant graphics for data analysis[M]. New York: Springer-Verlag, 2016: 34-55.

[15]BOMPAT, CARRERA M. 青少年运动员体能训练[M].尹晓峰,译.上海:上海文化出版社,2017:5-6.

[16]季成叶,张欣.我国城市学生 1985-2005 年体格发育增长变化[J].中国学校卫生,2011,32(10):1164-1167.

[17]MALINAR M, ROGOLA D, CUMMINGSP, et al. Biological maturation of youth athletes: assessment and implications [J]. Br J Sports Med, 2015, 49(13): 852-859.

[18]刘朝明,杨树荣,方敬秋,等.1985-2014 年中国中小学生生长发育长期趋势分析[J].现代预防医学,2017,44(18):3321-3325.

[19]沈勋章,蔡广,赵荣善,等.奥运项目教学训练大纲青少年选材育才研究[M].上海:上海浦江教育出版社,2015:38.

[20]VAN KEULEN B J, DOLAN C V, VAN DER VOOM B, et al. Sexual dimorphism in cortisol metabolism throughout pubertal development: a longitudinal study[J]. Endocr Connect, 2020, 9(6): 542-551.

[21]张丹,李晓南.儿童青少年肥胖干预方法研究新进展[J].中国儿童保健杂志,2020,28(2):156-160.

[22]MALINA R M, BOUCHARD C, BAR-OR O. Growth, Maturation, and Physical Activity[M].2nd ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 2004: 399-427.

[23]ARMSTRONG N. Paediatric exercise physiology[M]. London: Churchill Livingstone, 2007: 19.

[24]TURNER A, COMFORT P. Advanced strength and conditioning: an evidence-based approach[M]. London: Taylor & Francis, 2017: 57.

[25]尹晓峰.儿童动作能力发展研究进展[J].体育科研,2019,40(2):1-12.

[26]谭思洁,俞中涛,贾晓凯.运动改善心肺机能有氧锻炼强度控制方法研究:走跑速度推算摄氧量回归方程的建立[J].天津体育学院学报,2020,35(3):310-315.

[27]MCNARRY M A, MACKINTOSH K A, STOEDERFALKE K. Longitudinal investigation of training status and cardiopulmonary responses in pre- and early-pubertal children [J]. Eur J Appl Physiol, 2014, 114(8): 1573-1580.

[28]中华人民共和国教育部.义务教育体育与健康课程标准[M].北京:北京师范大学出版社,2011:9.

[29]季成叶.现代儿童青少年卫生学[M].2版.北京:人民卫生出版社,2010:78.

[30]TILL K, MORRIS R, EMMONDS S, et al. Enhancing the evaluation and interpretation of fitness testing data within youth athletes[J]. Strength & Conditioning Journal, 2018, 40(5): 24-33.

[31]HAAPALA E A, HAAPALA H L, SYVÄÖJA H, et al. Longitudinal associations of physical activity and pubertal development with academic achievement in adolescents [J]. Journal of Sport and Health Science, 2020, 9(3): 265-273.