



对《与青少年有氧能力相关的 10 个问题》一文评论的回应

Neil Armstrong(英)¹, 朱为模² 审校

摘要: 针对 Dotan 对《与青少年有氧能力相关的 10 个问题》的点评和后续讨论而得的《儿童有氧运动能力可训练性及相关问题》一文进行反馈,对 Dotan 提出的“现有的最大耗氧量数据的有效性”“儿童有限的有氧运动可训练性——是事实还是虚构?”“缺乏长期、纵向训练研究”“没有对儿童成年人的训练进行直接比较”“对儿童们声称的可训练性较低的合理解释”“训练质量”“其他可能的影响”“缺乏 $\dot{V}O_2$ 稳定期”“肺部 $\dot{V}O_2$ 动力学 ($p\dot{V}O_2$)”“未来研究”几方面问题进行逐一解答,以强调《与青少年有氧能力相关的 10 个问题》(下简称《10 个问题》)一文的讨论重点为青少年有氧适能的发展,而非儿童—成人差异。以成年人为研究对象的部分相关文献并未收录入《10 个问题》中,因此 Dotan 的许多评论对于《10 个问题》一文属于次要意见,需要在此特定背景下加以考虑。

关键词: 青少年; 有氧能力; 最大摄氧量; 成熟阈值

中图分类号: G804.2 文献标志码: A 文章编号: 1006-1207(2018)02-0024-07

DOI: 10.12064/ssr.20180203

Response to Commentary on the Special Topic: Top 10 Research Questions Related to Youth Aerobic Fitness

Neil Armstrong¹, ZHU Weimo²(reviser)

(1.Children's Health and Exercise Research Centre, St. Lukes Campus, University of Exeter, United Kingdom. 2.University of Illinois, American.)

Abstract: In response to Dotan's commentary on the special topic *Top 10 Research Questions Related to Youth Aerobic Fitness* and the article *Children's Aerobic Trainability and Related Questions* after the following-up discussion, the paper answers Dotan's questions such as *Validity of existing $\dot{V}O_{2max}$ data*, *Children's limited aerobic trainability—Fact or fiction?*, *Lack of long-term, longitudinal training studies*, *No direct child-adult training comparisons*, *A plausible explanation for children's claimed lower trainability*, *Quality of training*, *Other likely implications*, *Absence of $\dot{V}O_2$ plateau*, *Pulmonary $\dot{V}O_2$ kinetics ($p\dot{V}O_2$)*, *future researches*, etc. It stresses that the key of the discussion on the *Special Topic: 10 Top Research Questions Related to Youth Aerobic Fitness* is the development of youth aerobic fitness, and not the difference between children and adults. Part of the related research literature, whose subjects are adults, is not included in the Special Topic. Therefore, Dotan's comments on the Special Top are minor ones, which can be taken into consideration under the specific circumstances.

Key Words: youth; aerobic fitness; maximum oxygen uptake; mature threshold

感谢 Raffy Dotan 对拙作《与青少年有氧能力相关的 10 个问题》^[1](以下简称《10 个问题》)的兴趣和点评。该专题研究论文的灵感来自于若干研究性论文,

这些文章包括:Armstrong 和 Van Mechelen 在 2017 年发表的一系列文献评述^[2],近期的一篇有关方法论的评述文章^[3],3 篇早些时候发表的^[4-6]旨在宣传并支持国

收稿日期: 2017-11-03

作者简介: Neil Armstrong, 男,教授,主要研究方向: 儿童生理学、儿童运动与健康。Email: N.Armstrong@exeter.ac.uk。

审校者简介: 朱为模,男,院士/教授,主要研究方向: 测量与评价,运动健康。E-mail: weimozhu@uiuc.edu。

作者单位: 1. 埃克隆大学 儿童健康与运动研究中心,英国;2. 美国伊利诺伊大学



际奥委会发布的《训练精英儿童运动员》^[7]、《通过体育活动和运动促进青少年健康》^[8]和《青少年竞技发展》^[9]等共识声明的文章。想要将全部10个研究课题逐一展开充分论述,一篇文章的篇幅并不足够,所以我非常感谢Dotan能发起后续的讨论,感谢他让有兴趣的读者能有机会查阅篇幅更长、且针对青少年有氧能力的讨论比本专题所提及的10个课题更加全面的文献。

因此, Dotan 的评论主要针对我们近期发表的述评文章(通过这些文章我们广泛讨论了其他科学家的优秀研究成果), 根据其评论文章的次序和标题, 在《10个问题》一文的相关页面进行了交叉引用。不幸的是, Dotan 宣称《10个问题》一文对“儿童—成人受训能力差异性这一现象”提出了质疑。对于《10个问题》来说, 这一说法是个误读, 因为《10个问题》具体着重讨论的是青少年有氧能力的发展, 而非儿童—成人差异; 后者应该是另一个课题, 也许需要开一个新的《10个问题》来进行讨论^[10](如 Ratel 和 Blazeovich 等人 2017 年发表的论文)。

Dotan 特别针对了《10个问题》一文中的第5个课题“青少年 $\dot{V}O_2$ (峰值摄氧量) 指标是否可加以训练? 是否存在一个成熟度临界值?”^[11], 将重点非常明确地置于青少年的有氧能力受训能力, 并得出“当前数据表明, 青少年最大摄氧量指标的受训能力并不受实际年龄、生理成熟度和性别的影响, 而是是否存在成熟度临界值则有待证明”的结论^[11]——该结论反映了其他研究者文献的循证性评价^[11-12]。

成人受训能力和一篇涉及成人参与者的训练研究方面的评论文章并未被收入《10个问题》的概述, 因此 Dotan 的许多评论对于《10个问题》一文属于次要意见, 需要在此特定背景下加以考虑。但这还是给了 Dotan 一个平台以宣传儿童—成人在肌肉激活作用方面差异的假说^[13], 这为儿童—成人运动表现差异的讨论提供了信息。

1 现有的 $\dot{V}O_2$ 数据的有效性

Dotan 开篇即提及了课题1“最大摄氧量是否为青少年有氧能力的一项最大值指标?”, 这个课题能否在不同研究之间进行相互比较? 他还提到了课题: “最大摄氧量是不是随实际年龄而变化?”, 青少年最大摄氧量指标是否存在性别差异? Dotan 在评论中使用了“ $\dot{V}O_{2max}$ ”这一术语, 此处将“ $\dot{V}O_2$ (峰值摄氧量)”和“ $\dot{V}O_{2max}$ (最大摄氧量)”作为同义词, 但请参见《10个问题》一文^[11, 14](Armstrong, 2017年, 第131页; 或 Armstrong 与 McManus, 2017年)中的术语说明以示区分。

Dotan 的评论与《10个问题》是相符的。他对不同研究间最大摄氧量值的有效性和可比性提出了疑问, 而《10个问题》则在对该议题进行讨论后决定“将在现有的讨论中重点关注 $\dot{V}O_2$ 的变化趋势, 而不是引用绝对值(以 L/min 为单位)”^[11], 其观点获得了 Dotan 的支持。有兴趣的读者将会注意到《10个问题》一文没有引用过任何 $\dot{V}O_2$ 的个别值、标准值或平均值。

Dotan 罗列了“可解释已报道的最大摄氧量数值之间存在较大差异的4个原因”。

(1) Dotan 认同《10个问题》对于过度依赖达到最大摄氧量值的“次级临界值指标”所持的怀疑态度^[11], 这个问题我们已在其他地方进行了更加详尽的讨论^[13, 14]。诚如 Dotan 所指出的那样, 我们通过实验证明, 依据次级标准终止测试, 可能会导致对最大值的低估, 或是拒绝一个真实的最大值^[15]。

(2) Dotan 同意《10个问题》一文的意见——“不应将来自两台测力计的数据合并后用于分析”^[11], 他提到由于文献评论没有区分功率自行车测力计和跑步机测力计所测定的最大摄氧量值, 因而导致分析结果产生了混乱。《10个问题》还进一步讨论了最大摄氧量的性别差异, 以及混合性别组数据报道和分析上的谬误^[11, 14]。

最大摄氧量数据在不同测力计和性别间的差异得到证实已有数十年之久, 我们一直明确提倡数据描述和分析应当同时对特定的测力计和性别有所区分^[14, 16-19]。举例来说, 我们在1994年分析了 $\dot{V}O_2$ 数据的性别间差异, 讨论了不同测力计的优势和劣势, 严厉批评了将功率自行车测力计和跑步机测力计所测定的数据汇总在一起的做法, 并对其他评论者所采用技术的可靠性表达了怀疑, 彼时他们通过对功率自行车提高固定常数及合并功率自行车与跑步机测力计测得的数据来获取“标准”的青少年最大摄氧量值。至那时止, 所有经过定位的已发表研究文献(包含近10000项最大摄氧量测定值)都依据性别和测定所用的测力计进行分析。将不同数据集单独制图, 结果显示, 无论采用哪种测力计来测定数据, 与实际年龄相关的男女两性趋势结果都相似, 但两性相对值和两种测力计的相对值则清晰表明结果完全不同^[17]。令人失望的是, 23年后, 还有一些评论者(和研究者)对青少年有氧能力的理解混乱不清, 他们对来自性别混合的青少年样本数据进行描述和分析, 也没有对采自不同测力计的数据加以区分。这就导致了在《10个问题》一文中所表达的一种观点, 即“并没有适用于青少年有氧能力(最大摄氧量)方面



的可靠国际准则”^[1],并进而证明将特定青少年有氧能力值作为“健康临界值”来推广的做法实属谬论。

(3)Dotan 关于不情愿“推羸弱孩子们一把”的推测在我们与儿童和青少年共处的经历中并未得到印证,但有些研究者一贯采用诸如 $\geq 85\% \sim 90\%$ 预计最大心率的试验终点标准,这无疑将令青少年最大摄氧量记录值缩水^[1]。

(4)Dotan 评论称《10 个问题》将注意力转移到了与“将主要为成人设计的呼吸气体分析系统用于儿童”有关的问题上^[1,3]。除了 Dotan 通过《10 个问题》重申的一些观点,儿童固有的呼吸不稳定特点会降低他们的肺换气信噪比测量值,从而也给呼吸机能测试系统造成麻烦^[20]。如《10 个问题》所概述的^[1],刚开始运动时,呼吸间的较大波动降低了氧耗动力学估测的置信度。对于对青少年在运动初期反应感兴趣的人来说,这会是个严重的问题。除非有足够多的相同转换经过了时间排列校准,并通过取平均数来改善信噪比,否则置信区间可能会超出可接受范围。我们曾报道过,对于有些孩子,可能需要多达 10 个转换才能建立起主成分时间常数^[21]。Barker 和 Armstrong 在 2017 年的研究中对青少年氧耗动力学特性的评估和解读,以及有效数据的创建和报告进行了严格审慎的检验^[22]。

Dotan 的及时评论有力支持了《10 个问题》的观点,即“当前迫切需要认真回顾、设计、验证和协调可确保对青少年有氧能力开展有意义的跨研究对比的方法”^[1]。

2 儿童有限的有氧能力可训练性——是事实还是虚构?

在这一章节的开始,Dotan 对儿童—成人差异进行评论,但我的回应则将重点放在了青少年的有氧能力发展(而非儿童—成人差异)以及《10 个问题》所提出的问题的相关性上。

他重申了《10 个问题》的观点,即过去有许多文献曾提到存在一个成熟度阈值^[1]。他还表示,无氧阈值(Deton 将之定义为可持续的最大摄氧量百分比值)“可能比最大摄氧量更适合反映综合功能性有氧能力”。《10 个问题》一文认可除最大摄氧量和氧耗动力学特性以外的其他有氧能力指标,包括血液乳酸和通气阈在内^[1]。但青少年最大摄氧量和血乳酸/通气/换气临界值之间的关系,比 Dotan 所指的更为复杂。我们在近期的评论文章仔细分析了青少年血乳酸/通气/换气临界值,包括其定义、理论基础、评价和解读^[3,14]、受训能力^[4,6,19],及其在监测青少年运

动能力方面所起的作用^[24]。我们确定了至少再需 5 项相关研究课题才能填补的大量知识空白,但《10 个问题》的篇幅仅限于 10 项课题,我们邀请感兴趣的读者来阅读这些评论文章,找出那些可供进一步探讨的参考文献。

Dotan 接着对有关少儿研究的文献和评述论文做了一次简要小结,对《10 个问题》的结论表示了支持,即青春期前儿童参与合适的训练项目后, $p\dot{V}O_2$ 会有所提高,这与成熟度临界值假说是有冲突的。这一发现符合那些更近期的评论文章、而非 Dotan 所引用的论文中所载的循证分析结果^[11,23]。在这一章节的结尾,Dotan 总结了成人对训练的反应,与《10 个问题》并无直接关系。

3 缺乏长期、纵向训练研究

Dotan 将本章节的大部分篇幅用于评论 McNarry、Mackintosh 和 Stoedefalke 在 2014 年发表的研究论文,并宣称“援引这篇文章来证明有理由对儿童—成人受训能力的差异提出质疑,好像不太妥当”^[25]。这一声明是对《10 个问题》观点的曲解,《10 个问题》一文并未通过推断来自对象为 10~12 岁儿童的单一研究的数据以证明“怀疑儿童—成人受训能力差异”这一观点的正确性。Dotan 的主张并无事实依据,只需摘抄以下有关全文,即可轻易反驳:

虽然还没有发表最终的研究结果,但 McNarry 和她的同事最近进行了一系列观察研究,这些研究挑战了“成熟阈值”的假说。在他们最新的成果中,McNarry、Mackintosh 和 Stoedefalke 监控了接受游泳训练和未接受训练的 10~12 岁男性儿童和女性儿童的 $p\dot{V}O_2$,并采用了 3 个年度测量点。在每次测量时,接受游泳训练孩子的 $p\dot{V}O_2$ 高于未接受训练的孩子,并且随着测量的逐次进行,两组之间的差异逐渐扩大。用多层模型对数据进行了分析,研究人员发现 $p\dot{V}O_2$ 的上升与成熟状态的变化并没有相关性,因此不支持“成熟阈值”的假说。

目前的数据表明,青少年 $p\dot{V}O_2$ 的可训练性与实际年龄、生物性成熟和性别无关,因此成熟阈值假说仍然有待验证。然而,正如 Rowland 所说,有一些很有吸引力的线索表示,青春期的激素反应可能会调节有氧运动可训练性。为了阐明生物性成熟对 $p\dot{V}O_2$ 可训练性可能产生的影响,并严格测试“成熟阈值”假说,必须从得到良好控制的介入训练研究中获取包括两性的纵向数据,并且测量时间必须涵盖青春期前、青春期和青春后期这几个阶段。

从上述引文中可以轻易发现,《10 个问题》中的



问题与青少年 $\dot{V}O_2$ 受训能力和是否存在生理成熟度临界值有关。而且,《10个问题》的目标是为了确定与青少年有氧能力有关的研究课题,同时也认为,有必要通过涵盖青春期前、青春期和青春期后各个时期的纵向研究,充分了解生理成熟度对于青少年 $\dot{V}O_2$ 受训能力的潜在影响。

Dotan 对于 McNarry 等人(2014年)关于经过训练的游泳运动者使用功率自行车测力方式的评论意见为我们提供了一个机会^[11],可在测试青少年运动员 $\dot{V}O_2$ 数据时对所用测力计的特异性开展进一步的评价^[24]。在一项针对年轻游泳选手的测力分析中,我们发现,在功率自行车测力计上测得的平均 $\dot{V}O_2$ 是在跑步机测力计上测得的平均值的 91%,在游泳凳上测得的平均 $\dot{V}O_2$ 是跑步机测力计平均测量值的 67%、功率自行车测力计平均测量值的 74%。但在对最优秀的年轻游泳选手(全国冠军头衔、全国纪录保持者)的测试结果中却发现,在游泳凳上测得的 $\dot{V}O_2$ 高于功率自行车测力计测量值,这清晰表明有必要在对优秀年轻选手进行监测的过程中采用与运动项目有关的特定测力方式^[25]。Obert、Courteix、Lecoq 和 Guenon 等人在 1996 年开展的一项研究中强调了测试与训练的特异性,他们反对成熟度临界值假说,证明了青春期前女孩可通过训练提高有氧能力^[26]。他们观察到,研究开始时平均年龄为 9.3 岁的青春期前游泳女子选手在参加一项为期 12 个月的训练后,在游泳凳上测得的最大摄氧量平均值提高了 38%;而相比之下,未受训练、在训练开始与结束时年龄和人体测量学变量都相匹配的对照组选手,则仅提高了 13%。

4 没有对儿童成年人的训练进行直接比较

Dotan 声称没有一项研究对儿童—成人的受训能力差异做过直接对比,并把这一章节的篇幅全部用在两项研究的对照上。这两项研究分别为:Hebisz P、Hebisz R、Zaton 等人在 2016 年开展的关于训练有素的成人自行车选手通过训练获得提高的研究^[27],以及 30 年前的一项针对未经训练的青春期前男性儿童的研究^[28]。Dotan 注意到,自行车选手接受功率自行车训练,并在训练前后分别在一台功率自行车测力计上接受测试;男性儿童则接受跑步训练,训练前后分别在一台跑步机测力计上接受测试。成人功率自行车选手的最大摄氧量数据提高了 15%,而青春期前男性儿童的提高幅度为 8%,这就驳斥了所谓成熟度临界值的存在。Dotan 推测,如果男性儿童组预先经过训练,那么其 $\dot{V}O_2$ 升幅“无疑将大幅缩

小”,但他还是将这一推测与 Obert 等人在 1996 年对研究前预先经过 1 年训练的青春期前游泳者所测得的 38% 的 $\dot{V}O_2$ 升幅进行了比较^[26]。

Dotan 所做的儿童—成人比较不在《10个问题》的核心讨论范围内,但没有就儿童—成人在受训能力方面的差异展开辩论,值得注意的是,Dotan 认为,没有一项研究对儿童—成人的受训能力差异性做过直接比较,这一断言至少无视了两篇在最近发表的研究论文。在这两项研究中,青少年和成人都接受了相同的训练计划,其报告的结果与 Dotan 通过比较受过训练的成人功率自行车选手和青春期前男孩所得的结论完全矛盾。Savage 等人在 1986 年分别对青春期前男孩和成人男子进行为期 10 周的运动训练,结果发现男孩与成人在最大摄氧量指标的变化方面没有差异^[29]。Eisemann 和 Golding 在 1975 年发现,12 岁年龄段女孩和成人女子在完成 14 周训练后,最大摄氧量的变化幅度和变化率都没有显著差别^[30],因此,训练对于女性最大摄氧量指标的作用并不受年龄影响。

5 对儿童们声称的可训练性较低的合理解释

本文对儿童—成人肌肉激活差异假说^[13]进行了详细描述。该假设颇为耐人寻味,但在若干可能的理由中,仅有一项能用来解释青少年的有氧能力发展和受训能力机制。希望对青少年锻炼中肌肉代谢(包括差别化肌纤维补充和活化)、 $\dot{V}O_2$ 、血乳酸/通气/换气阈值,以及氧耗动力学特性的发展和受训能力机制开展循证讨论的读者,可参阅那些对参考来源文献进行广泛征引的评论文章^[4,5,14,22,23,31]。

6 训练质量

Dotan 表示,“Armstrong 注意到,高强度训练(通常是间歇性训练)在引起最大摄氧量、特别是儿童最大摄氧量指标提升方面更为有效。”不幸的是,这是对现有证据的误读,是对《10个问题》一文的曲解。《10个问题》强调了恒定强度训练(Constant-intensity Exercise Training, CIET)期间相对强度的重要性,但如涉及高强度间歇式训练(High-intensity interval Training, HIIT),需要注意到“HIIT 方案增强青少年 $\dot{V}O_2$ 的定量潜在可能性仍有待实现”^[11]。

我们证明了 20 多年前青春期前女孩可以通过参加 CIET 或 HIIT 训练提高 $\dot{V}O_2$ ^[32],但如《10个问题》所记录的,“直到最近才开展了一项协力研究,重点置于将 HIIT 作为一种增进青少年 $\dot{V}O_2$ 的方式”^[11]。最近发表的两篇有关青少年 HIIT 的评论文



献所确认的数据极为稀少。Costigan、Eather 和 Plotnikoff 等人只找到了 8 篇以 13~18 岁青少年为对象的符合元分析入选标准的研究文章^[33]。通过这些研究获得的 HIIT 训练前后 $\dot{V}O_2$ 数据,他们报道未经标准化的平均差值为 2.6 mL/kg/min^[1,44]。他们得出结论,HIIT 是一种增进青少年 $\dot{V}O_2$ 的有效方法。Tolfrey 和 Smallwood 将 10 项以 8~17 岁青少年为对象的研究结果制表,研究中直接测得的 $\dot{V}O_2$ 是为期 4~10 周的 HIIT 训练结束后测得的数据。据报道 HIIT 前后对象的 $\dot{V}O_2$ 提升显著(升幅为 7%~12%),但在同时也包括了 CIET 组的研究中,没有结果显示 HIIT 和 CIET 组在 $\dot{V}O_2$ 提升方面存在显著差异^[34]。根据这些研究,以及其他包括了肥胖青少年和有氧能力现场测试估测结果的研究,Tolfrey 和 Smallwood 认为“高强度训练在增强 $\dot{V}O_2$ 方面是有意义的,但是否优于其他可替代的训练方案,还有待于可靠确认”^[34]。

HIIT 极有希望能替代(或补充)传统 CIET 训练方案,但比较 CIET 和 HIIT 对青少年的训练效果的证据基础仍很有限,而关于如何优化 HIIT 方案、解释训练导致青少年 $\dot{V}O_2$ 发生变化的生理机制,仍有许多东西有待学习。如《10 个问题》一文所述^[1],经严格对照的 HIIT、CIET 和 HIIT-CIET 组合方案对于青少年有氧能力指标(并不仅指 VO_2)的作用,相对来讲尚未得到探索,会成为一条可望取得丰硕成果的研究途径。

7 其他可能的影响

在这一章 Dotan 应用了他的儿童—成人肌肉激活差异假说^[13]来解释以下问题。

(1)不存在一个耗氧量顶点平台:Dotan 的评论为 1952 年 Astrand 发表其开创性的研究论文以来一直争论不休的一个话题增添了新的元素。Armstrong 和 McManus 已经在 2017 年就关于这一话题的假设性理论论据和实验性研究进行了讨论^[14]。

(2)肺氧耗动力学特性(Pulmonary VO_2 kinetics):肌肉激活差异假说与我们从早先一系列研究中得出的结论是一致的,我们在那些研究中提议用差别化的肌纤维补充来部分解释儿童肺氧耗动力学中显著的年龄与性别差异^[35-36]。此后,我们对大量的青少年锻炼初期肺氧耗动力学潜在机制开展了实验性探索,利用肌电图和磁共振成像技术来记录大腿的肌肉激活情况,引入操纵性的锻炼模型来优先补偿受训和非受训男孩的 II 型肌纤维,采用刺激锻炼模式和近红外光谱技术来研究肌肉对氧气的传输和利用

情况,并采用 31-磷磁共振光谱技术来检验肌肉磷酸动力学特点^[22,24]。但许多未知内容仍有待学习,如《10 个问题》所述,“设计介入性更低、更创新的研究模型,对于梳理并证明不同运动领域实际年龄、生理成熟度和性别等对肺氧耗动力学特性的影响机制,至关重要”^[1]。Barker 和 Armstrong 对包括肌肉磷酸、氧输送和差别化肌纤维补偿在内的潜在机理进行了仔细研究^[2],同样也对儿童—成人的肺氧耗动力学特性差异做出了基于证据的评论。

8 缺乏 VO_2 稳定期

Dotan 在最后一章中提议,“一旦差别化受训能力被证实”,未来应开展研究测试儿童—成人肌肉激活作用的差异。《10 个问题》一文的初衷是为了发现知识方面的差距和有前景的研究领域,对于青少年有氧能力的发展采取更为平衡的观点。如果说文章引发了辩论,激发了创新研究项目的启动,传达了儿童运动科学领域的一些最优方法,或对提升青少年有氧能力、健康和幸福做出了少许贡献,那么该文章也就达到了其目的。

参考文献:

- [1] Armstrong N. Top 10 research questions related to youth aerobic fitness[J]. Research Quarterly for Exercise and Sport, 2017, 88:130-148.
- [2] Armstrong N., Van Mechelen W. (Eds.). Oxford textbook of children's sport and exercise medicine[M]. Oxford, UK: Oxford University Press, 2017.
- [3] McManus A. M., Armstrong, N. Maximal oxygen uptake. In T. W. Rowland (Ed.), Cardiopulmonary exercise testing in children and adolescents[M]. Champaign, IL: Human Kinetics, 2017:79-93.
- [4] Armstrong N., Barker A. R. Endurance training and elite young athletes[M]. In N. Armstrong & A. M. McManus (Eds.), The elite young athlete. Basel, Switzerland: Karger, 2011:59-83.
- [5] Armstrong N., Barker A. R., McManus A. M. Muscle metabolism changes with age and maturation: How do they relate to youth sport performance?[J]. British Journal of Sports Medicine., 2015,49:860-866.
- [6] Armstrong N., Tomkinson G. R., Ekelund U. Aerobic fitness and its relationship to sport, exercise training and habitual physical activity during youth[J]. British Journal of Sports Medicine, 2011, 45:849-858.
- [7] Mountjoy M., Armstrong N., Bizzini L., et al. IOC consensus statement: Training the elite child athlete[J]. British



- Journal of Sports Medicine, 2008, 42:163-164.
- [8] Mountjoy M., Andersen L. B., Armstrong N., et al. International Olympic Committee consensus statement on health and fitness of young people through physical activity and sport[J]. British Journal of Sports Medicine, 2011, 45:839-848.
- [9] Bergeron M. F., Mountjoy M., Armstrong N., et al. International Olympic Committee consensus statement on youth athletic development[J]. British Journal of Sports Medicine, 2015, 49:843-851.
- [10] Ratel S., Blazevich A. J. Are prepubertal children metabolically comparable to well-trained adult endurance athletes? [J]. Sports Medicine, 2017, 47, 14: 77-85.
- [11] McNarry M., Jones A. M. The influence of training status on the aerobic and anaerobic responses to exercise in children[J]. European Journal of Sport Science, 2014, 14 (1):557-568.
- [12] Pfeiffer K. A., Lobelo F., Ward D. S., et al. Endurance trainability of children and youth[M]. In H. Hebestreit & O. Bar-Or (Eds.), The young athlete. Oxford, UK: Blackwell, 2008:84-95.
- [13] Dotan R., Mitchell C., Klentrou P., et al. Child-adult differences in muscle-activation—a review[J]. Pediatric Exercise Science, 2012, 24: 2-21.
- [14] Armstrong N., McManus A. M. Aerobic fitness[M]. In N. Armstrong & W. Van Mechelen (Eds.), Oxford textbook of children's sport and exercise medicine. Oxford, UK: Oxford University Press, 2017:161-180.
- [15] Barker A. R., Williams C. A., Jones A. M., et al. Establishing maximal oxygen uptake in young people during a ramp test to exhaustion[J]. British Journal of Sports Medicine, 2011, 45:498-503.
- [16] Armstrong N., Davies B. The metabolic and physiological responses of children to exercise and training[J]. Physical Education Reviews, 1984, 7:90-105.
- [17] Armstrong N., Welsman J. R. Assessment and interpretation of aerobic fitness in children and adolescents[J]. Exercise and Sport Sciences Reviews, 1994, 22:435-476.
- [18] Armstrong N., Welsman J. R. Development of aerobic fitness during childhood and adolescence[J]. Pediatric Exercise Science, 2000, 12:128-149.
- [19] Armstrong N., Welsman J. R. Aerobic fitness: What are we measuring?[J]. Medicine and Sport Science, 2007, 50: 5-25.
- [20] Potter C. R., Childs D. J., Houghton W., et al. Breath-to-breath noise in the ventilatory and gas exchange responses of children to exercise[J]. European Journal of Applied Physiology, 1998, 80:118-124.
- [21] Fawcner S. G., Armstrong N., Potter C. R., et al. Oxygen uptake kinetics in children and adults after the onset of moderate intensity exercise[J]. Journal of Sports Sciences, 2002, 20:319-326.
- [22] Barker A. R., Armstrong N. Pulmonary oxygen uptake kinetics[M]. In N. Armstrong & W. Van Mechelen (Eds.), Oxford textbook of children's sport and exercise medicine. Oxford, UK: Oxford University Press, 2017:181-194.
- [23] McNarry M. A., Armstrong N. Aerobic trainability[M]. In N. Armstrong & W. Van Mechelen (Eds.), Oxford textbook of children's sport and exercise medicine. Oxford, UK: Oxford University Press, 2017:465-476.
- [24] Armstrong N., Barker A. R. Physiological monitoring of elite young athletes[M]. In N. Armstrong & W. Van Mechelen (Eds.), Oxford textbook of children's sport and exercise medicine. Oxford, UK: Oxford University Press, 2017:527-537.
- [25] Armstrong N., Davies, B. An ergometric analysis of age-group swimmers[J]. British Journal of Sports Medicine, 1981, 15:20-26.
- [26] Obert P., Courteix D., Lecoq A. M., et al. Effect of long-term intense swimming training on the upper body peak oxygen uptake of prepubertal girls[J]. European Journal of Applied Physiology, 1996, 73:136-143.
- [27] Hebisz P., Hebisz R., Zaton M., et al. Concomitant application of sprint and high-intensity interval training on maximal oxygen uptake and work output in well-trained cyclists[J]. European Journal of Applied Physiology, 2016, 116:1495-1502.
- [28] Rotstein A., Dotan R., Bar-Or O., et al. Effect of training on anaerobic threshold, maximal aerobic power and anaerobic performance of preadolescent boys[J]. International Journal of Sports Medicine, 1986, 7:281-286.
- [29] Savage M. P., Petratis M. M., Thomson W. H., et al. Exercise training effects on serum lipids in prepubescent boys and adult men[J]. Medicine & Science in Sports & Exercise, 1986, 18:197-204.
- [30] Eisenmann P. A., Golding L. A. Comparison of effects of training on VO_2 max in girls and young women[J]. Medicine & Science in Sports & Exercise, 1975, 7:136-138.
- [31] Armstrong N., Barker A. R., McManus A. M. Muscle metabolism during exercise[M]. In N. Armstrong & W. Van Mechelen (Eds.), Oxford textbook of children's sport and exercise medicine. Oxford, UK: Oxford University Press, 2017:70-87.
- [32] McManus A. M., Armstrong N., Williams C. A. Effect of training on the aerobic power and anaerobic power



- mance of prepubertal girls[J]. *Acta Paediatrica*, 1997, 86: 456-459.
- [33] Costigan S. A., Eather N., Plotnikoff R. C., et al. High-intensity interval training for improving health-related fitness in adolescents: A systematic review of the literature[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2015, 49, 12: 53-61.
- [34] Tolfrey K., Smallwood J. W. High intensity interval training[M]. In N. Armstrong & W. Van Mechelen (Eds.), *Oxford textbook of children's sport and exercise medicine*. Oxford, UK: Oxford University Press, 2017:477-491.
- [35] Fawcner S. G., Armstrong N. Sex differences in the oxygen uptake kinetic response to heavy-intensity exercise in prepubertal children[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2004, 93: 210-216.
- [36] Fawcner S. G., Armstrong N. Longitudinal changes in the kinetic response to heavy-intensity exercise in children[J]. *Journal of Applied Physiology*, 2004, 97,4:60-66.
- [37] Astrand P. O. Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age[M]. Copenhagen, Denmark: Munksgaard, 1952.
- [38] McManus A. M., Armstrong N. Pulmonary function[M]. In N. Armstrong & W. Van Mechelen (Eds.), *Oxford textbook of children's sport and exercise medicine*. Oxford, UK: Oxford University Press, 2017:133-146.
- (本文译自: **Research Quarterly for Exercise and Sport**, 2017, VOL. 88, NO. 4, 384-390)
(责任编辑:何聪)

(上接第 23 页)

- [34] Lexell J., Sjoström M., Nordlund A. S., et al. Growth and development of human muscle: A quantitative morphological study of whole vastus lateralis from childhood to adult age[J]. *Muscle and Nerve*, 1992, 15:404-409.
- [35] Dotan R., Mitchell C., Cohen R., et al. Child adult differences in muscle activation: A review[J]. *Pediatric Exercise Science*, 2012, 24:2-21.
- [36] Long D., Dotan R., Pitt B., et al. The electromyographic threshold in girls and women[J]. *Pediatric Exercise Science*, 2017, 29:84-93.
- [37] Pitt B., Dotan R., Millar J., et al. The electromyographic threshold in boys and men[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2015, 115, 12:73-81.
- [38] Martínez L. R., Haymes E. M. Substrate utilization during treadmill running in pubertal girls and women[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 1992, 24:975-983.
- [39] Proctor D. N., Sinning W. E., Walro J. M., et al. Oxidative capacity of human muscle fiber types: Effects of age and training status[J]. *Journal of Applied Physiology*, 1995, 78, 20: 33-38.
- [40] Gorostiaga E. M., Walter C. B., Foster C., et al. Uniqueness of interval and continuous training at the same maintained exercise intensity[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 1991, 63:101-107.
- [41] Willcocks R. J., Williams C. A., Barker A. R., et al. Age- and sex-related differences in muscle phosphocreatine and oxygenation kinetics during high-intensity exercise in adolescents and adults[J]. *NMR in Biomedicine*, 2010, 23:569-577.
- [42] Edwards R. G., Lippold O. C. The relation between force and integrated electrical activity in fatigued muscle [J]. *Journal of Physiology*, 1956, 132:677-681.
- [43] Hug F., Laplaud D., Lucia A., et al. EMG threshold determination in eight lower limb muscles during cycling exercise: A pilot study[J]. *International Journal of Sports Medicine*, 2006, 27:456-462.
- (本文译自: **Research Quarterly for Exercise and Sport**, 2017, VOL. 88, NO. 4, 377-383)
(责任编辑:何聪)