



儿童有氧运动能力可训练性及相关问题

Raffy Dotan(加拿大)¹,朱为模² 审校

摘要: 针对 Armstrong 最近关于“与青少年有氧能力相关的 10 个问题”的专题评论,再次对其提出的一些观点进行回顾,特别是儿童——成年人之间可训练差异性是否存在的问题。讨论了许多现有的可得出可训练性结论的儿童 $\dot{V}O_{2max}$ 数据的有效性,为什么可训练性差异可能是一个事实而不是疑问,为解释这一现象所提供的一种合理的新方法,以及这种解释可以如何承担和回答其他几个提出的问题。本评论旨在激励并鼓励新的想法并提出建议,把注意力放在儿童的有氧可训练性上,还要更多地关注儿童运动生理学和表现以及他们与成年人的不同之处。

关键词: 激活能力不足;差别性活化;功能运动单元池;肌肉成分; VO_2 动力学

中图分类号:G804.2 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2018)02-0018-06

DOI:10.12064/ssr.20180202

Children's Aerobic Trainability and Related Questions

Raffy Dotan¹, ZHU Weimo²(reviser)

(1.Brock University, St. Catharines, Canada. 2.University of Illinois, American.)

Abstract: In response to Armstrong's recent Special Topics review of "Top 10 Research Questions Related to Youth Aerobic Fitness," this commentary revisits some of the points raised, particularly in relation to the question of whether a child-adult trainability difference does indeed exist. Discussed are the validity of much of the existing pediatric maximal oxygen consumption data upon which trainability conclusions are drawn, why differential trainability is likely a fact rather than a doubt, a reasoned novel approach to explaining the phenomenon, and how that explanation can bear upon and answer several of the other raised questions. The commentary is intended to inspire and encourage fresh thinking not only in relation to pediatric aerobic trainability, but more generally, regarding pediatric exercise physiology and performance and how they differ from those of adults.

Key Words: Activation deficit; differential activation; functional motor-unit pool; muscle composition; VO_2 kinetics

最近,Armstrong(2017年)在一篇非常受欢迎和引人关注的评论“青少年有氧能力相关的 10 个问题”中,明确阐述了目前在儿童有氧健身方面存在的有待研究的一些突出问题^[1]。本评论主要基于 Armstrong 在之前的评论中所提出和讨论的观点^[2-3],并从 Armstrong 在儿科运动研究方面的卓越记录中获得权威理论。本评论是为了突出由 Armstrong 提出的一些有争议的问题,尤其是关于儿童有氧运动可训练性方面,考虑曾忽略的现有文献,提供新的解释,所有这些都很有可能激发这一领域的后续研究。

1 现有的 $p\dot{V}O_2$ 数据的有效性

儿童和成年人可训练性差异问题以及 Arm-

strong 的十大问题清单中提出的至少两个其他问题(“ $p\dot{V}O_2$ 是否是青少年有氧能力的最高指标?”“ $p\dot{V}O_2$ 是否会随着时间的变化而变化?”)都被极少讨论的最大摄氧量($\dot{V}O_{2max}$)数据的有效性所覆盖。我们很有理由怀疑,许多报告的“最大”值实际上低估了真实的能力。例如,Payne 和 Morrow 报道,通过分析 28 篇有关精力充足、不超重、没有经过训练的儿童的训练研究,平均初始(未经过训练的儿童) $\dot{V}O_{2max}$ 值为 46.2 mL/kg(跑步机和功率自行车;范围未知)^[4]。同样,由 Baquet, Van Praagh 和 Berthoin (2003 年)分析的 23 篇训练研究中有 15 篇,采用跑步机测试(8 篇研究使用了脚踏肌力测功仪或场地测试),37 个小组中 $\dot{V}O_{2max}$ 平均初始值为 46.5 mL/kg/min(范围为

收稿日期:2017-11-03

作者简介:Raffy Dotan,男,实验室主任,主要研究方向:运动生理学。E-mail:rdotan@brocku.ca。

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.布鲁克大学,圣凯瑟琳斯,加拿大;2.美国伊利诺伊大学,美国。



30.3~57.0 mL/kg/min)。如果忽略在超重儿童中获得的两个最低值(30.3 mL/kg/min 和 30.7 mL/kg/min),平均只提高到 47.4 mL/kg/min^[5](仔细查询大多数 $\dot{V}O_{2max}$ 偏低的研究发现,最大心率远低于相应年龄预测值,举例来说,在 13 岁男孩最大心率为 196 次/min 时 $\dot{V}O_{2max}$ 为 42 mL/kg/min^[6]。另一方面,在两篇平均最高心率的研究中,报告的平均 $\dot{V}O_{2max}$ 为 55.4 mL/kg/min,大于 204 次/min^[7-8]。

有 4 种原因可以解释报告的 $\dot{V}O_{2max}$ 值中存在的巨大差别:

(1)频繁使用次级“阈值”指标(如呼吸交换率、相对最大心率和强烈努力的主观体征)作为最终的 $\dot{V}O_{2max}$ 达标标准,往往会导致低估 $\dot{V}O_{2max}$ 。这个发现已经被 Armstrong 自己的研究小组很好地证明了^[9]。

(2) $\dot{V}O_{2max}$ 通常通过功率自行车或跑步机来测试,但很多评论一般不会对两者进行区分^[4-5]。由于功率自行车使用的肌肉量较少,会导致 $\dot{V}O_{2max}$ 峰值偏低(除了训练有素的自行车手以外),因此削弱了“有代表性”的总体平均值。

(3)一部分调查人员普遍不情愿使用儿童作为实验对象,尤其是促使年龄较小的受试者进行最大努力测试,这点在文献中虽然没有证据支持且较难证明,但非常值得考虑。

(4)电子化代谢测量系统的出现使很多研究人员对系统内部工作方式毫不知情。值得表扬的是,Armstrong 既提出了与呼吸系统相关的问题,也提到了以混合室为基础的系统相关的问题^[1]。代谢测量系统一般是由成年参与者构建的。呼吸阀、气管和混合室组合而成的“死腔”通常超过 6~7 L,由于儿童的呼吸量较低,过大的混合呼气将不能充分反映最大或 $\dot{V}O_{2max}$ 的瞬时特性。这种过滤式的效应使峰变平,使得 $\dot{V}O_{2max}$ 比实际达到的更低。不过遗憾的是,许多研究人员甚至是制造商都没有意识到儿童与成年人混合室的差异的需求。

所以,上述这些原因,连同所提供的证据,使许多最高值低于 50 mL/kg/min 的报告值得高度怀疑,甚至有可能是完全错误的。因此,具有代表性的儿童 $\dot{V}O_{2max}$ 值偏小,应该予以提高。更为重要的是,在 $\dot{V}O_{2max}$ 训练能力方面,不应考虑非最大的 $\dot{V}O_{2max}$ 值。

2 儿童有限的有氧能力可训练性——是事实还是虚构?

不可否认,儿童有氧能力($\dot{V}O_{2max}$)可训练性并非不明确。然而,Armstrong 对儿童—成年人差别的训

练能力现象的质疑^[1],不仅与另一种观点形成了鲜明对比^[10-11],而且还忽略了一些有力的证据以及对实际的 $\dot{V}O_{2max}$ 可训练性差别的解释,这一点将在本文中予以详细介绍。

儿童 $\dot{V}O_{2max}$ 可训练性问题的根源可以追溯到 $\dot{V}O_{2max}$ 被认为是有氧能力生理学“圣杯”的时候。反映最高有氧运动能力以及其可以维持的部分的无氧阈值在代表整体功能有氧运动能力方面可能优于 $\dot{V}O_{2max}$,但 $\dot{V}O_{2max}$ 仍然是一个重要的生理和有氧能力参数,其优势在于它更容易确定。发现为期 12 周的学校体能锻炼计划对 7~9 岁的儿童 $\dot{V}O_{2max}$ 没有影响的 Gilliam 和 Katch^[12],被认为是引入儿童可训练性的“成熟阈值”概念的贡献者,但 Katch^[13]是第一个引入可训练性“触发器”假说来解决这个问题的人。但是,这两篇开创性的研究中所强调的两个方面在以后对这个主题的研究上可能适得其反。首先,Gilliam 和 Freedson 的“成熟阈值”和 Katch 的“触发器”名词都促进了从完全不可训练性到可训练性以及一个可能的直接关系到具体的成熟阶段(例如青春期的发育期)的巨大转变的概念。这种观点并没有令人信服的理由,这是因为可训练性的变化,可能是一个渐进的过程,发生在整个成熟期或者其延长期。其次,Gilliam 和 Freedson 以及 Katch(还有以后的研究者们)并未认识到:跟成年人一样,儿童的有氧运动耐力能力可以在没有获得 $\dot{V}O_{2max}$ 提高的情况下,通过提高外周肌肉耐力和无氧阈值(可维持的% $\dot{V}O_{2max}$)得到有效的训练——在没有肌肉增大的情况下,不像成年人那样通过力量训练得到提高^[14]。

Armstrong 并没有否认儿童 $\dot{V}O_{2max}$ 的可训练性。相反,他认为这可能与成年人的情况很相似^[1]。但是,尽管的确存在各种混淆因素,如报告的 $\dot{V}O_{2max}$ 值的有效性(正如前面所讨论的),但这种建议似乎不符合大多数可利用的数据。

Payne 和 Morrow 在对青春期前和青春期早期儿童的 23 篇训练干预研究的元分析中发现,平均 $\dot{V}O_{2max}$ 提高仅为 2.1 mL/kg/min 或者约提高 4.5%^[4]。10 年后,由 Baquet 等人所做的 22 篇研究结果评价发现了类似的均值特点(一些研究被收录在 Payne 和 Morrow 的早期分析中)^[5]。由 Pfeiffer, Lobelo, Ward 和 Pate 所评价的 25 篇对 14 岁或年龄更小的儿童进行的干预研究中,在 35 个训练小组中, $\dot{V}O_{2max}$ 平均提高为 8.6%(范围为 0%~29%)^[5]。同样,在对 15 篇研究进行的评价中,收录了 22 个由青春期前(年龄小于 11 岁)的少年运动员组成的实验组,Armstrong 和 Barker 发现 $\dot{V}O_{2max}$ 平均仅提高了大约



6.5%^[16]。

大多数研究所获得的初始 $\dot{V}O_{2max}$ 值都小于 50 mL/kg/min, 这和前面指出的一样, 并不适合对 $\dot{V}O_{2max}$ 的训练能力进行有效的评估。所以, 对以前未接受过训练且初始 $\dot{V}O_{2max}$ 大于 50 mL/kg/min 的儿童进行的研究进行评价, 应该能说明儿童的可训练性问题。但是, 一个由 6 篇训练研究构成的初始平均 $\dot{V}O_{2max}$ 为 50 mL/kg/min (范围为 50.1~57.15 mL/kg/min) 的样本可以证实, 以前没有经过训练的儿童平均 $\dot{V}O_{2max}$ 仅提高 5.3% (范围为 0.8%~8.2%)^[7-8, 17-20]。在正在训练中的 9 岁半女孩中, 初始 $\dot{V}O_{2max}$ 仅为 45~48 mL/kg/min (可推测具有很大的提高潜力), McManus, Armstrong 和 Williams 发现有 8.4%~10.0% 的提高 (取决于训练类型), 并指出峰值 $\dot{V}O_{2max}$ 的提高“低于在青少年中观察到的提高”^[21]。

因此, 儿童通过训练带来 $\dot{V}O_{2max}$ 提高通常小于 10%。但是, 报告的相应成年人的数值通常是其两倍, 而且往往更高^[22-24]。诚然, 一些成年人训练研究已经使用了一些与相应的儿童研究相较而言基础有氧能力较低的参与者。这个事实可能会人为地提高训练效应, 但是在以前没有经过训练的人中, 它似乎不能解释所观察到的儿童—成年人对训练所产生的效果上的巨大差距。例如, 在测试 633 名男女混合性别和种族的样本时, Skinner 等人发现, $\dot{V}O_{2max}$ 训练效应及其基线水平之间的相关系数仅为 0.08^[25]。

比最佳的训练强度要低可能是在儿童身上观察到的训练效应较低的另一理由。首先, 应该指出的是, 在大多数的儿童训练开展之前, 持续的、次最大的、耐力型的训练已经是成人训练研究的规范。因此, 持续的训练方案在激发提高 $\dot{V}O_{2max}$ 上可能并非最有效, 这一合理主张对于儿童和成年人的训练研究同样适用。尽管如此, 使用高强度训练的儿童研究显示出 $\dot{V}O_{2max}$ 的提高一般都低于 9%^[7, 26-27]。

3 缺乏长期、纵向训练研究

虽然标准的训练研究 (测试前—测试后设计) 在技术本质上是纵向研究, 但它们并没有为说明训练响应中发生变化的成熟阶段提供多个参考点。到目前为止, 只有一篇研究尝试直接解决与成熟相关的有氧运动—可训练性变化问题。McNarry, Macintosh 和 Stoedefalke 对 19 位 10 岁的游泳选手 (以及 15 名对照者) 进行了为期 2 年的随访。虽然作者观察到这段时间内的 $\dot{V}O_{2max}$ 有适度的提高, 但是与第一年相比, 没有看到第二年有更大的提高 (也就是说训练效

果没有明显差别), 也没有发现任何与成熟变化的关系^[28]。尽管 McNarry 等人进行的这项艰难的研究值得称赞, 但是 Armstrong 引用它作为怀疑儿童—成年人可训练性不同的理由似乎并不合理^[1]。两个主要问题限制了根据该研究结果来确认或否定不同的可训练性假设: 首先, 2 年的随访期仅占青春期大约 1/3 的时间。只有在假设训练能力上有变化, 如果有的话, 在早期就与成熟过程相平行, 就像研究报告所涵盖的那样, 才能保证这种方法的准确性, 但并没有证据支持这一点。另外, 在为期 2 年的研究期快结束时, 没有一个参与者达到了生长突增阶段。因此, 在那个时期或接近那个时期发生更为突然的变化 (“触发器”现象?) 的可能性是无法解释的。第二, 使用脚踏测功仪来评估游泳带来的 $\dot{V}O_{2max}$ 变化。脚踏肌力测功仪适合对下肢有氧能力进行评估, 并不足以具体和灵敏地评估游泳带来的体能变化。不可否认, 除了使用游泳水槽以外, 专门对游泳的 $\dot{V}O_2$ 进行测试也是一个不小的挑战, 但是在测试中所报告的 $\dot{V}O_{2max}$ 变化的有效性非常值得怀疑。

4 没有对儿童成年人的训练进行直接比较

另一种研究儿童—成年人可训练性差别的方法是直接进行儿童—成年人对比。考虑到所涉及的逻辑和方法上的挑战, 至今没有任何研究进行直接对比并不奇怪。但是, 在儿童—成年人可训练性方面确定存在差别的观念可以通过两篇相隔 30 年发表的特别相似的研究予以证明。在最近的一项研究中, Hebisz, Zaton, Ochmann 和 Mielnik 对 26 名国家级水平成人自行车运动员进行了训练。进行混合间歇、短跑和耐力训练的实验组 (N=13) 开始时骑自行车的平均 $\dot{V}O_{2max}$ 为 58 mL/kg/min, 在经过为期 8 周的训练后, 获得了 15% 的提高^[29]。另一方面, Rotstein 等人对 16 名 11 岁的男孩进行了为期 9 周的训练, 使用了一种混合训练计划, 与 Hebisz 等人使用的训练方案的本质和强度一致^[7]。尽管这些男孩以前没有经过训练, 在训练前的 $\dot{V}O_{2max}$ (54 mL/kg/min) 较低, 并且使用跑步而不是骑自行车作为训练和测试方式, 但这些男孩的 $\dot{V}O_{2max}$ 提高仅为 8%, 大约是之前经过训练的自行车运动员的一半。如果这些男孩像成年自行车手一样接受过训练, 那么他们的 $\dot{V}O_{2max}$ 提高无疑会比 8% 低得多。

因此, 所评价的证据和上述的比较似乎在很大程度上赞同儿童—成年人在有氧运动—体能的训练性方面的差别。尽管如此, 正如 Armstrong 所强调的那样, 我们对这种差别的大小以及可能成熟对其



产生影响的因素知之甚少^[1]。这些主题显然应该放在少年运动研究的议程上。

5 对儿童们声称的可训练性较低的合理解释

所有的 $\dot{V}O_{2max}$ 提高最终必须表现在心脏输出量、动静脉氧差的提高上,或者两者都有,但是在这些变量中必须显示出儿童—成年人对训练反应的差别,使其可以针对可训练性进行相关讨论。这些响应从未被证实过。但是,心脏输出量、动静脉含氧量的不同,以及获得的 $\dot{V}O_{2max}$ 并不仅仅取决于心脏的贡献,而且还取决于骨骼肌的大小和质量,值得仔细观察研究。

众所周知,儿童尤其是男孩,在青春期其肌肉质量会加速增加^[30]。这种增长在一定程度上解释了力量和绝对有氧运动能相应的长期增长,但这并不同于可训练性的变化。与成年人相比,儿童显示出在最大收缩期能有意志力地使用的运动单元池明显较低,也就是说,“激活能力不足”更高^[31]。这一发现本身也不能解释可训练性中发育成熟的变化。但是,尽管通常认为心搏量和心脏输出量是 $\dot{V}O_{2max}$ 的主要决定因素,但儿童的肌肉质量相对较低,有意志的激活较低,使得在决定他们的 $\dot{V}O_{2max}$ 甚至可训练性方面更应强调功能肌肉的重量和质量。

按照 Henneman 的“大小原则”^[32],未被使用的肌肉部分可能包括更大的、更高阈值的运动单元,而它们可以被认为是主要的或是完全的 II 型变量^[33]。因此,儿童的激活不足更多意味着他们的 II 型运动单元中大部分被锁进了他们的运动单元池中难以使用的部分。其他的研究坚定地认为,儿童的 I 型运动单元组成相对较高,而成熟的过程逐渐将其转变为更高的 II 型运动单元(较低的 I 型)比例^[34]。因此,无论是儿童 II 型运动单元激活较少,还是 II 型运动单元的优势较低,或者两者都有,底线是,与成熟相关的增加不仅是在于增加额外肌肉质量的可利用性,而且在于功能单元池中的 II 型组成中。这种变化不仅仅是定量的,而且是定性的,它可以解释观察到的儿童有氧运动可训练性较低的原因,下面将继续展示。

儿童—成年人差别肌肉激活假设认为,功能运动单元池的这种差别质量是造成在儿童—成年人身上所观察到的许多功能和代谢差别的根本原因。支持这一观点的证据在 2012 年曾被评价过^[35],最近更多的相关研究对其加以证实^[36-37]。正如儿童中所体现的,对 II 型运动单元的了解有限,体现着对有氧运动可训练性的几点启示。

首先,青春期后的青少年和成年人相比,青春前期和青春早期早期的儿童在日常生活、运动和训练中更多依赖于高氧化性、I 型运动单元。这一发现得到了很多方面的支持,例如,儿童更多依赖于脂肪氧化^[38]。可以认为,具有高氧化/有氧性本质,并且主要长期使用 I 型运动单元是训练中使用最多的,并与 II 型运动单元相比拥有更高的“基线”有氧能力。就训练来说,这意味着 I 型运动单元开始于高水平的“适能性”,而这反过来又会使他们相对不那么容易受到其他训练导致的适能性提高的影响,并且可以解释在儿童身上观察到的 $\dot{V}O_{2max}$ 训练提高较低的原因。

其次,虽然与 I 型运动单元相比较少,但是 II 型运动单元也具有氧化潜力,最明显的是 IIA 型运动单元^[39]。然而,由于在较高的运动强度下使用稍晚,因此不那么频繁,II 型运动单元也会习惯性地减少使用,并且在有氧训练上也有所减少。因此,较高阈值的运动单元,特别是 IIA 型运动单元预计会比 I 型运动单元更有可能在经过训练以后有氧运动能力有所提高,这就可以解释为什么成年人的 $\dot{V}O_{2max}$ 经过训练会提高得多的原因。

因此,只要通往 II 型运动单元的“通道”受到限制,如同在青春前期到青春期中期或青春后期一样,训练所带来 $\dot{V}O_{2max}$ 的提高也会相对有限。II 型运动单元的“通道”随着年龄成熟而提高,有氧运动训练的潜在回报也会提高。

6 训练质量

正如 Armstrong 所指出的那样,高强度训练(通常是间歇训练)在激发 $\dot{V}O_{2max}$ 提高方面更为有效,尤其是在儿童中^[1]。另外,在各种研究中,强度较低的运动类型(通常是连续运动和比赛)被“谴责”应对儿童的训练没有起到作用或者作用很小而负责^[12,19]。另一方面,持续的、低强度的训练似乎对成年人更有作用。尽管有其他好处,但对提高最大有氧运动能力来说,次最大的耐力训练并不是最佳方式^[40],因为它没有让大量的可训练的运动单元池投入,也没有对心输出量构成足够的挑战。持续的耐力训练反复激活和训练较小的主要由 I 型运动单元组成的肌肉部分^[33],这部分肌肉已经具有显著的有氧能力,有望表现出更为有限的有氧运动能力的提高。另一方面,间歇式训练通常具有较高的强度,不仅反复使用和训练相同的 I 型运动单元,还包括高阈值的、不经常被激活因此很少得到有氧训练的 II 型运动单元。因此,与之前所说的次最大耐力训练相比,间歇式训练可以更有效地提高 $\dot{V}O_{2max}$ ^[40]。



如果按照儿童—成年人差别肌肉激活假说,儿童确实可以最大限度地只使用比成年少的 II 型运动单元,那么他们就必须进行更高强度的训练,以达到更可训练的、更高的阈值运动单元,并获得最佳的训练效果。

7 其他可能的影响

在差别激活假说中植入的概念不仅为可训练性差异提供了一种合理的解释,并对儿童高强度训练的特殊需求提供了支持,而且它还为 Armstrong 所提出的问题中的其他儿童 $\dot{V}O_2$ 独特性提供了解释。

8 缺乏 $\dot{V}O_2$ 稳定期

与大多数成年人相反的是,在儿童最大测试中没有一个典型的 $\dot{V}O_2$ 稳定期($\dot{V}O_2$ 不能满足增加的负荷)。如果儿童确实减少使用他们的 II 型运动单元,因此拥有较低的无氧运动能力,他们可能会在达到稳定期之前就会达到力竭。另一方面,成年人(特别是有氧型运动员)具有更高的无氧运动能力,并且想必有更多的 II 型运动单元储备,能够在达到 $\dot{V}O_{2max}$ 以后延长运动时间,从而表现出稳定期。

9 肺部 $\dot{V}O_2$ 动力学 ($p\dot{V}O_2$)

Armstrong 提出的 10 个问题中有 4 个问题被认为是肌肉 $\dot{V}O_2$ 动力学的反映^[1]。儿童的肺部 $\dot{V}O_2$ 反应较快只能部分地归功于他们较小的尺寸和较短的传输时间。然而,宣称儿童功能运动单元池的氧化 I 型运动单元更普遍的原因有一种更完整的解释,因为 I 型运动单元对氧(更多的肌红蛋白)更有亲和力,并且更适合加以利用(更多的线粒体和氧化酶)。这一发现得到了其他已经经过证实的相关机制的支持,比如儿童的磷酸肌酸和氧合动力学速度更快^[41]。

10 未来的研究

正如以前所讨论的,由于缺乏适当的纵向训练研究或结构合理的对比研究,应该对其进行重点尝试。但是,一旦差别可训练性被证实,这篇评论中所提出的解释以及所提出的差别激活假说的有效性就可以得到实验支持或反驳。验证差别激活假说的困难,一部分是由于与儿童研究相关的伦理限制,但迄今为止主要还是因为缺乏明确的研究工具。进入运动单元激活的一个可能的“窗口”是肌电图阈值(EMGTh),它可以非侵袭性地被确定为在渐进式运动到力竭中肌电图上升迹线的一个向上弯曲点。EMGTh 在成年人中反复出现,被广泛认为是 II 型运

动单元加速激活的开始^[42-43]。最近的两篇研究将 EMGTh 的适用范围扩大到了儿童—成年人对比,证明了按照该假说所预计的那样,女性儿童和男性儿童的 EMGTh 分别发生在比成年男性和女性更高的运动强度上^[36-37]。除了对儿童与成年人之间的肌肉差别激活的支持外,这些结论还为通过实验测试儿童—成年人可训练性差异与差别激活之间的联系提供了基础。

在一篇涉及青春期前和青春期后的儿童和成年人的训练研究中,EMGTh 在开始训练前就已确定。在训练后测试中,初始的相对 EMGTh 将通过训练带来的 $\dot{V}O_{2max}$ 提升进行关联。相对 EMGTh 强度较高,可假定表示 II 型运动单元参与较晚并且因此较少,可能与较小的训练反应有关,反之亦然。因此,EMGTh- $\Delta\dot{V}O_{2max}$ 负相关性可以支持高阈值运动单元在促进有氧运动可训练性方面所起的作用。但是,很明显,在可训练性和差别肌肉激活之间建立一种关系并不会排除其他起作用的因素,而且 Armstrong 在这次讨论中也提到了其他一些因素^[1]。

因此,肌肉差别激活的问题不仅是对于对儿童有氧训练感兴趣的人的挑战,更为广泛地说,也是对于那些努力去了解是什么使得儿童与成年人生理上有所不同的人将要研究的问题。

参考文献:

- [1] Armstrong N. Top 10 research questions related to youth aerobic fitness[J]. Research Quarterly for Exercise & Sport, 2017, 88:130-148.
- [2] 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.
- [3] Armstrong N., McNarry M. Aerobic fitness and trainability in healthy youth: Gaps in our knowledge[J]. Pediatric Exercise Science, 2016, 28:171-177.
- [4] Payne V. G., Morrow J. R. Exercise and $\dot{V}O_{2max}$ in children: A meta-analysis[J]. Research Quarterly for Exercise and Sport, 1993, 64:305-313.
- [5] Baquet G., Van Praagh E., Berthoin S. Endurance training and aerobic fitness in young people[J]. Sports Medicine, 2003, 33, 11:27-1143.
- [6] Armstrong N., Balding J., Gentle P., et al. Peak oxygen uptake and physical activity in 11-to 16-year-olds[J]. Pediatric Exercise Science, 1990, 2:349-358.
- [7] 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.
- [8] Williams C. A., Armstrong N., Powell J. Aerobic responses of prepubertal boys to two modes of training[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2000, 34:168-173.
- [9] Barker A. R., Williams C. A., Jones A. M., et al. Establishing maximal oxygen uptake in young people during a ramp cycle test to exhaustion[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2011, 45:498-503.
- [10] Rowland T. The 'trigger hypothesis' for aerobic trainability: A 14-year follow-up[J]. *Pediatric Exercise Science*, 1997, 9:1-9.
- [11] Rowland T. Pediatric exercise science: A brief overview [J]. *Pediatric Exercise Science*, 2016, 28:165-170.
- [12] Gilliam T. B., Freedson P. S. Effects of a 12-week school physical fitness program on peak $\dot{V}O_2$, body composition and blood lipids in 7 to 9 year old children[J]. *International Journal of Sports Medicine*, 1980, 1:73-78.
- [13] Katch V. L. Physical conditioning of children[J]. *Journal of Adolescent Health Care*, 1983, 3:241-246.
- [14] Falk B., Tenenbaum G. The effectiveness of resistance training in children. A meta-analysis[J]. *Sports Medicine*, 1996, 22:176-186.
- [15] 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.
- [16] Armstrong N., Barker A. R. Endurance training and elite young athletes[J]. *Medicine and Sport Science*, 2011, 56: 84-96.
- [17] Baquet G., Gamelin F. X., Mucci P., et al. Continuous vs. interval aerobic training in 8- to 11-year-old children [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2010, 24, 13:81-88.
- [18] Lussier L., Buskirk E. R. Effects of an endurance training regimen on assessment of work capacity in prepubertal children[J]. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1977, 301:734-747.
- [19] Savage M. P., Petratis M. M., Thomson W. H., et al. Exercise training effects on serum lipids of prepubescent boys and adult men[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 1986, 18:197-204.
- [20] Welsman J. R., Armstrong N., Withers S. Responses of young girls to two modes of aerobic training[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 1997, 31:139-142.
- [21] McManus A. M., Armstrong N., Williams C. A. The effect of training on the aerobic power and anaerobic performance of prepubertal girls[J]. *Acta Paediatrica*, 1997, 86:456-459.
- [22] Cabre C., Chamari K., Mucci P., et al. Improvement of cognitive function by mental and/or individualized aerobic training in healthy elderly subjects[J]. *International Journal of Sports Medicine*, 2002, 23:415-421.
- [23] Lortie G., Simoneau J. A., Hamel P., et al. Responses of maximal aerobic power and capacity to aerobic training[J]. *International Journal of Sports Medicine*, 1984, 5:232-236.
- [24] Rowell L. B. *Human circulation regulation during physical stress*[M]. New York, NY: Oxford University Press, 1986.
- [25] Skinner, J. S., Jaskolski A., Jaskolska A., et al. Age, sex, race, initial fitness, and response to training: The Heritage Family Study[J]. *Journal of Applied Physiology*, 2001, 83, 17:70-76.
- [26] Mahon A. D., Vaccaro P. Ventilatory threshold and $\dot{V}O_{2max}$ changes in children following endurance training [J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 1989, 21:425-431.
- [27] Mandigout S., Lecoq A. M., Courteix D., et al. Effect of gender in response to an aerobic training programme in prepubertal children[J]. *Acta Paediatrica*, 2001, 90:9-15.
- [28] McNarry M. A., Macintosh K. A., Stoedefalke K. Longitudinal investigation of training status and cardiopulmonary responses in pre- and early-pubertal children[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2014, 114, 15: 73-80.
- [29] 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.
- [30] Kim J., Shen W., Gallagher D., et al. Total-body skeletal muscle mass: Estimation by dual-energy X-ray absorptiometry in children and adolescents[J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2006, 84, 10:14-20.
- [31] O'Brien T. D., Reeves N. D., Baltzopoulos V., et al. In vivo measurements of muscle specific tension in adults and children[J]. *Experimental Physiology*, 2010, 95:202-210.
- [32] Henneman E., Somjen G., Carpenter D. O. Functional significance of cell size in spinal motoneurons[J]. *Journal of Neurophysiology*, 1965, 28:560-580.
- [33] Vollestad N. K., Blom P. C. Effect of varying exercise intensity on glycogen depletion in human muscle fibres [J]. *Acta Physiologica Scandinavica*, 1985, 125:395-405.



- 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)