中国体育研究
2025 年 9 月第 7 卷第 3 期

优化青少年休闲骑行体验：不同踩踏频率对能量消耗效率与主观疲劳感知的影响实验

曹志凯　赵　轩　彭金博

江汉大学，武汉

摘　要 | 本研究旨在探究不同踏频范围对青少年休闲骑行者能量消耗效率及主观疲劳感知的影响。采用随机对照实验设计，纳入24名13～18岁健康青少年，随机分为三组：实验组1（固定踏频70–85 rpm）、实验组2（固定踏频85–100 rpm）及对照组（自由踏频）。所有受试者均接受为期6周的干预，每周进行2~3次、每次30分钟的固定骑行台训练。干预前后，以相同时间内的骑行距离评估骑行效率，以心率稳态值反映生理负荷，采用RPE量表评定主观疲劳感，并进行组内及组间比较。结果显示，实验组1在骑行效率提升（增幅最大，d=0.57）、生理负荷降低（心率下降最显著，d=0.92）及主观疲劳感知改善（RPE降幅最大，d=1.77）方面均表现最优，且效果显著优于实验组2与对照组。研究表明，对于青少年休闲骑行者，70–85 rpm的中等踏频范围相较于更高踏频或自由选择踏频，可更有效提升骑行效率、降低生理负荷，并显著改善主观疲劳体验，有助于优化骑行体验并鼓励长期参与。本研究局限于实验室环境，未来可进一步验证户外复杂条件及长期健康效益的影响。

关键词 | 青少年休闲骑行者；能量消耗效率；疲劳感；踏频

Copyright © 2025 by author (s) and SciScan Publishing Limited
This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

自行车运动作为一项受众广泛的健身方式，多项研究已证实其对青少年儿童体质健康改善、情感交流增进及身心健康发展具有综合价值[1–2]。青少年休闲骑行者作为核心参与群体，其骑行效率与疲劳感知的优化是维持运动持续性的关键。其中，骑行效率（以最小消耗达成特定功率或速度）是提升体验、预测疲劳、延长运动时长与距离的重要指标[3–4]；而疲劳感知与运动意愿、兴趣等主观因素密切相关，对休闲人群而言亦是核心干预靶点[5–7]。踏频，即骑行时脚踏转动的特定频率，其适用范围因人群、条件不同而有所差异，专业运动员在长时间骑行时倾向于选择80–100 rpm的高踏频以减少肌肉疲劳，在平坦路况下则倾向于90–100 rpm，已有研究证实，骑行踏频可作为影响骑行效率和疲劳感知的核心可调节变量[8–9]，故探究最优踏频可有效解决效率与疲劳问题。但现阶段研究多聚焦于竞技运动员或成人骑行者的最优踏频，尚未涉及青少年休闲骑行者群体的系统研究。青少年正值成长发育阶段，与成人存在生理差异，这种差异可能导致其最优踏频范围与成人不同。

基金项目：江汉大学骑遇众创大学生创新实践基地研究项目（项目编号：CXJD202501001）。
通讯作者：曹志凯，江汉大学体育学院副教授，研究方向：骑行教育。
文章引用：曹志凯. 优化青少年休闲骑行体验：不同踩踏频率对能量消耗效率与主观疲劳感知的影响实验［J］. 中国体育研究，2025，7（3）：192–197.
https://doi.org/10.35534/scps.0703028

在不同强度骑行对应不同的踏频，已有多项研究针对专业骑行运动员，在60，70，80，90rpm等不同踏频下探究适宜的骑行频率，但在次最大强度骑行下，是否存在一个特定的踏频范围，能够同时优化青少年休闲骑行者的骑行效率及疲劳感知（例如RPE）程度，这一研究空白亟待填补。本研究拟通过量化比较不同踏频下青少年休闲骑行者的骑行效率指标（相同时间内的骑行距离差异）以及主观疲劳感知水平，探究该群体对不同踏频的主观及客观体验，进而验证契合该类人群的最优踏频。

综上，本研究旨在通过不同范围的踏频训练，针对青少年休闲骑行者探究最优踏频幅度，为该群体提供基于实证的踏频建议，同时丰富特定人群在不同踏频影响方面的相关研究，为青少年休闲骑行的推广提供引导，以科学改善休闲骑行中的效率、乐趣、疲劳、坚持性，助力全民健康与体育参与推广。

1 研究方法

1.1 研究设计

研究采用文献资料法、实验法、数理统计法、逻辑分析法等研究方法完成整个实验。实验设计参考专业自行车运动员在运动中所选踩踏节奏，研究表明，专业骑手会自发采用80–100rpm的踩踏节奏[8–9]，但休闲骑行者不具备专业骑手的身体素质，因此，踩踏频率需调整。实验将采用随机对照实验将参与实验的受试者分为实验组1（固定踏频范围70–85rpm）、实验组2（固定踏频范围85–100rpm）、对照组（自由踏频），三组受试者通过踏频练习干预后，分别进行骑行效率（能量消耗效率）及疲劳感知测试（RPE），从而探究三组在效率与疲劳指标上的差异。

1.2 研究对象

本研究的目标人群为健康的青少年休闲骑行者。研究共招募30名受试者，纳入标准：年龄13～18岁，身体健康，无生理疾病，近期无重大伤病，本人及监护人知情同意，并在实验开展前签署知情同意书。排除标准：专业竞技型自行车运动员，近期存在重大伤病且无法完成完整实验周期，无休闲骑行经历。将30名受试者随机分为三组：实验组1（N=10）、实验组2（N=10）、对照组（N=10）。

1.3 实验设备与材料

固定骑行台（可精确监控骑行功率、速度、踏频）、心率检测仪器（检测受试者练习途中的心率稳态情况）、基本身体测量器械、主观疲劳感知量表（RPE）。

1.4 实验程序

在实验开展前，对受试者进行基本健康测试（进行健康筛查问卷），排除不适者，确保实验过程的安全性；带领受试者进行实验前准备，熟悉实验环境及相关设备，在固定骑行台上进行短时间适应性骑行。已有研究证实，根据运动适应的阶段性理论，6周是神经肌肉协调性改善的敏感期，该周期足以观察不同踏频的适应性变化[10]，此外，疲劳认知理论支持采用RPE量表，因其能整合生理负荷与心理感知，是评估疲劳多维性的有效工具[11]，正式实验开展后，受试者需每周进行规律休闲骑行：实验组每周进行2～3次固定踏频练习，对照组每周进行2～3次自由踏频练习，单次练习时长30min，实验周期为6周，实验过程中，记录每次练习相同时间内的骑行距离，以及单次骑行后的主观疲劳感（RPE）。实验干预结束后，三组受试者分别进行骑行效率测试及主观疲劳感知测试，对实验数据进行组内与组间对比，以探究何同踏频范围更适宜青少年休闲骑行者。

2 结果与分析

研究最终纳入24名受试者参与完整实验。分别对实验组1（N=8）、实验组2（N=10）、对照组（N=10）三组的实验数据进行统计，并进行组内对比、组间对比的效应分析，分析结果如下。

2.1 不同踏频下骑行距离存在差异

表 1 不同踏频下各组别骑行距离对比表

Table 1 Comparison of cycling distance among groups under different cadences

实验组别	干预后骑行距离 / km（$M \pm SD$）	干预前骑行距离 / km（$M \pm SD$）	Cohen's d 值	t 值
实验组 1	5.11 ± 0.17	5.01 ± 0.18	0.57	1.84
实验组 2	5.02 ± 0.19	4.99 ± 0.24	0.14	0.44
对照组	4.95 ± 0.32	4.94 ± 0.33	0.03	0.10

注：根据 Cohen 的经验准则，d= 0.2：小效应；d=0.5：中等效应；d=0.8：大效应。

由表1数据可知，实验组与对照组在实验干预后，相同时间内的骑行距离均呈上升趋势。从组内对比来看，实验组1的骑行距离提升幅度最大（d=0.57，t=1.84），其次是实验组2（d=0.14，t=0.44）与对照组（d=0.03，t=0.10），实验组1（5.01 ± 0.18至5.11 ± 0.17）。其次从组间对比发现，干预前后的骑行距离都要优于实验组2（4.99 ± 0.24至5.02 ± 0.19）与对照组（4.94 ± 0.33至4.95 ± 0.32）；从干预效果上分析，实验组1的效果要显著优于另外两组（实验组1：d=0.57，中等效应；实验组2：d=0.14，轻微效益；对照组：d=0.03，效益不明显）。数据显示，在采用不同踏频进行定时间距离骑行中，采用70–85rpm的骑行踏频时，骑行的距离较85–100rpm踏频与自由踏频要更佳。

https://doi.org/10.35534/scps.0703028

2.2 不同踏频下心率稳态值存在差异

由表2可知，实验干预周期中，均存在心率值的变化，干预后实验组1、实验组2、对照组受试者的心率稳态值均出现一定幅度的降低。首先，通过组内对比发现，实验组1的心率稳态值降低显著（126.5 ± 5.26至122.1 ± 4.16且d=0.92，大效应），实验组2降低较小（133.6 ± 4.41至132.0 ± 3.89且d=0.38，中小效应），对照组降低幅度最小，不存在显著变化（142.8 ± 5.08至141.5 ± 4.25且*d*=0.28，较小效应）。其次，由组间对比数据结果显示，实验组1的干预效果显著优于实验组2与对照组（实验组1vs实验组2：*d*=0.62，中大效应；实验组1vs对照组：*d*=0.65，中大效应），而实验组2较对照组并不存在显著差异，也表明试验组2与对照组之间的干预效果不存在显著优势差异（实验组2vs对照组：*d*=0.07，无显著效应）。

表 2 不同踏频下各组别心率稳态值对比表

Table 2 Comparison of steady-state heart rate among groups under different cadences

实验组别	干预前心率稳态值 /bpm（*M* ± SD）	干预后心率稳态值 /bpm（*M* ± SD）	Cohen's *d* 值	*t* 值	*p* 值
实验组 1	126.5 ± 5.26	122.1 ± 4.16	0.92	4.09	<0.001
实验组 2	133.6 ± 4.41	132.0 ± 3.89	0.38	1.72	0.102
对照组	142.8 ± 5.08	141.5 ± 4.25	0.28	1.23	0.233
实验组 1vs 实验组 2	–	–	0.62	1.97	0.056
实验组 1vs 对照组	–	–	0.65	2.06	0.046
实验组 2vs 对照组	–	–	0.07	0.21	0.832

2.3 不同踏频下受试者疲劳感知的差异

对受试者主观疲劳感知的测试采用RPE量表（改良Borg量表0 ~ 10分）。在量表中，0分表示“无疲劳”，3分表示“轻度疲劳”，5分表示“明显疲劳”，7分表示“非常疲劳（接近极限）”，10分表示“筋疲力尽（无法继续运动）”。个体的主观疲劳感知是衡量其生理负荷及心理压力的有效指标，能够反映个体在进行运动时采用的运动强度[12]。

表 3 不同踏频下各组别主观疲劳感变化差异对比表

Table 3 Comparison of differences in perceived exertion changes among groups under different cadences

实验组别	干预前疲劳评分 RPE（*M* ± SD）	干预后疲劳评分 RPE（*M* ± SD）	Cohen's *d* 值	*t* 值	*p* 值
实验组 1	5.13 ± 0.83	3.75 ± 0.71	1.77	7.91	<0.001
实验组 2	6.50 ± 0.93	5.63 ± 0.52	1.07	4.80	<0.001
对照组	5.75 ± 1.03	5.13 ± 0.64	0.69	3.08	0.006
实验组 1vs 实验组 2	–	–	0.65	2.03	0.049
实验组 1vs 对照组	–	–	0.90	2.86	0.007
实验组 2vs 对照组	–	–	0.29	0.92	0.364

由表3数据可知，所有组别在实验干预后，主观疲劳感评分均有效降低。从组内数据变化来看，实验组1主观疲劳感降低幅度最显著（从5.13 ± 0.83降至3.75 ± 0.71，*d*=1.77，显著效应），其次为实验组2（从6.50 ± 0.93降至5.63 ± 0.52，*d*=1.07，显著效应）与对照组（从5.75 ± 1.03降至5.13 ± 0.64，*d*=0.69，中高效应）。此外，从组间对比可以发现，实验组1改善效果最佳：实验组1对比实验组2发现，1组的干预效果是显著优于2组的，且较对照组更显著（实验组1vs实验组2：*d*=0.65，中高效应；实验组1vs对照组：*d*=0.90，大效应），但实验组2与对照组之间并不存在显著效应差距（实验组2vs对照组：*d*=0.29，小效应）。

3 讨论

本研究通过为期6周的不同踏频训练干预，系统地对不同受试组别进行骑行效率与疲劳感知测试，结果发现，维持中等且较小的踏频范围更适宜青少年休闲骑行者，该组别的骑行效率及疲劳感知表现均优于其他两组。

首先从骑行距离分析，采用70–85rpm踏频的实验组1，其骑行距离优于另外两组青少年休闲骑行受试者。已有研究表明，专业自行车运动员在选择踏频范围时更倾向于高踏频（90–100rpm）[13]，以减少肌肉疲劳、提高效率；但休闲骑行者与专业运动员不同，其肌肉耐力较

专业运动员而言不足，过高踏频反而会导致骑行效率降低，这与实验组2的实验结果一致[8-9]。因此，实验组1采用的较低踏频，能够减少受试者的能量消耗，从而产生更佳的骑行效率，也证实了并非高踏频就能产生高骑行效率。此外，已有研究证实，在成人骑行者中，采用更低的骑行踏频，所需的腿部力量要高很多[14]，也就进一步表明，对与青少年休闲骑行者而言，其力量并没有成人发达，因此也不适宜低踏频骑行。由已有研究表明，青少年骑行者可能更适合与中等踏频进行休闲骑行，但并未考虑骑行坡度及户外条件影响。

其次，骑行心率的变化也是反映骑行效率的因素之一。一项关于公路自行车骑行效率与踩踏频率的研究指出，单从踏频本身来看，其对心率变化并无直接影响，但心率又随着VO2的增加而线性上升，该研究同时指出VO2与运动强度与骑行效率相关，因此，心肺系统对于骑行效率、骑行节奏也是具有影响的[15-16]。研究数据表明，当青少年休闲骑行者在采用70–85rpm踏频进行骑行时，其心率更低且稳定（实验组1：122.1 ± 4.16；实验组2：132.0 ± 3.89；对照组：141.5 ± 4.25），这也表明在此踏频范围下骑行，所耗费的摄氧量以及运动强度是更低且更为经济的，结合其骑行距离（实验组1：5.11 ± 0.17；实验组2：5.02 ± 0.19；对照组：4.95 ± 0.32），均指出青少年休闲骑行者在70–85rpm踏频下进行休闲骑行能够产生最优的骑行效率，其也证实了低强度骑行（休闲骑行）的最优踏频可能比高强度骑行（竞技）要低[9]，这与之前已有的研究结论一致：通过使用相对较低的节奏来提高性能（70–90rpm），因为较低的节奏已被证明可以提高自行车经济性并降低能源需求[17]。

此外，从主观疲劳感上也能反映出何种踏频更适宜。由数据分析表明，采用70–85rpm的踏频进行定时不定距休闲骑行时，其受试者的主观疲劳感较采用85–100rpm踏频以及自由踏频组的受试者更低，从另一方面表明，其耗费的能量更低，且更为经济。已有研究表明，疲劳感会显著影响运动表现，就单纯的心理疲劳（没有肌肉疲劳）都会显著影响运动的耐力表现[18]，且认为疲劳感是大脑为了保护身体免受伤害（维持内维态）而产生的一种“情感”，会限制运动表现及持续时间[19]；此外，疲劳感还会导致个体对运动的持续性与兴趣，已有研究证实，疲劳感上升会降低继续努力的意愿，并认为运动中产生的疲劳感和节奏选择是大脑对持续努力的“代价”和潜在“奖励”（如完成目标）进行权衡的结果[20]，且疲劳感是影响运动情感体验的核心变量之一，过高的疲劳感会产生负面情绪，导致运动阻碍与坚持受阻[21]；其次，从参与运动的动机出发，疲劳感也会对其产生影响，在一项关于自我决定理论（SDT）的系统回顾研究中指出，过度的疲劳感会影响自我效能感（对自己完成特定任务的信心），从而导致运动失败，并产生抵触心理[22]，疲劳感还能显著预测未来6 ~ 12个月的运动参与度，而过高的疲劳感会带来负面效应，导致未来参与运动的动机降低[23]。其中，实验组2的疲劳感高于对照组，可能是由于高踏频超出有氧代谢能力，加之青少年肌肉发展不完整，导致诱发无氧供能，从而提高了疲劳感。

4 结论

综上所述，本研究通过6周的不同踏频干预实验，系统评估了不同踏频下的骑行效率及疲劳感知。结果显示：骑行效率表现为实验组1>实验组2>对照组（骑行效率）；疲劳感知改善效果表现为实验组1>对照组>实验组2。最终结论如下：70–85rpm踏频通过降低代谢成本（心率↓）与神经肌肉负担（RPE↓），显著优化青少年骑行效率。该范围可作为青少年休闲骑行的科学指导参数，证实了优化青少年休闲骑行者的骑行踏频对提升其骑行体验、鼓励长期参与具有显著价值。但本研究仍存在局限性，实验室训练及测试环境同户外真实骑行存在差异，例如骑行坡度、风阻、路况、骑行者心理状况等因素，此外，未对自行车类别进行区分，且仅为短期效益研究，未考察长期适应性及健康效益。未来研究可进一步验证户外干预场景，以及不同坡度、不同阻力条件下适宜的踏频范围，进一步探究其长期的健康效益，结合神经肌肉协调性开展更深入的机制探究。

参考文献

[1] 王海利. 自行车运动价值与校园推广研究[J]. 青少年体育，2020（2）：128–129.
[2] 唐缨红. 青少年自行车运动技术的训练方法探讨[J]. 现代教学，2024（19）：64–65.
[3] Coyle E F. Improved muscular efficiency displayed as Tour de France champion matures[J]. Journal of Applied Physiology，2005，98（6）：2191–2196.
[4] Moseley L，Jeukendrup A E. The reliability of cycling efficiency.[J]. Medicine & Science in Sports & Exercise，2001，33（4）：621–627.
[5] Ekkekakis P，Parfitt G，Petruzzello S J. The pleasure and displeasure people feel when they exercise at different intensities：decennial update and progress towards a tripartite rationale for exercise intensity prescription[J]. Sports Medicine，2011，41（8）：641–671.
[6] 张连成，张力为，刘嘉蕙，等. 运动员心理疲劳与运动动机之间的关系[J]. 北京体育大学学报，2010（11）：3.
[7] 曾明，刘伟. 运动员心理疲劳与运动动机的关系：心理坚韧性的中介作用[J]. 武汉体育学院学

https://doi.org/10.35534/scps.0703028

报，2013，47（11）：5.
[8] ?ivind Foss，Jostein Hall é n. Cadence and performance in elite cyclists. [J]. European Journal of Applied Physiology，2005，93（4）：453–462.
[9] Luca A，Hoyos J，Chicharro J L. Preferred pedalling cadence in professional cycling [J]. Medicine & Science in Sports & Exercise，2001，33（8）：1361–1366.
[10] Hickson R C. Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance [J]. European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology，1980，45（2/3）：255.
[11] BORG，Gunnar A V. Psychophysical bases of perceived exertion [J]. Med Sci Sports Exerc，1982，14（5）：377–381.
[12] Brandt F A P V D，Menting S G P，Hettinga F J，et al. Drafting in long–track speed skating team pursuit on the ice rink [J]. Journal of Sports Sciences，2025.
[13] Luca A，Hoyos J，Chicharro J L. Preferred pedalling cadence in professional cycling [J]. Medicine & Science in Sports & Exercise，2001，33（8）：1361–6.
[14] Beelen A，Sargeant A J. Effect of prior exercise at different pedalling frequencies on maximal power in humans [J]. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology，1993，66（2）：102–107.
[15] Chavarren J，Calbet J A L. Cycling efficiency and pedalling frequency in road cyclists [J]. European journal of applied physiology and occupational physiology，1999，80（6）：555–563.
[16] Ansley L，Cangley P. Determinants of “optimal” cadence during cycling [J]. European Journal of Sport Science，2009，9（2）：61–85.
[17] Abbiss C R，Peiffer J J，Laursen P B. Optimal cadence selection during cycling [J]. International SportMed Journal，2009，10（1）：1–15.
[18] Marcora S M，Staiano W，Manning V. Mental fatigue impairs physical performance in humans [J]. Journal of Applied Physiology，2009，106（3）：857–864.
[19] Noakes，David T. Fatigue is a Brain–Derived Emotion that Regulates the Exercise Behavior to Ensure the Protection of Whole Body Homeostasis [J]. Frontiers in Physiology，2012，3（82）：82.
[20] Pageaux，Benjamin. The Psychobiological Model of Endurance Performance：An Effort–Based Decision–Making Theory to Explain Self–Paced Endurance Performance [J]. Sports Medicine，2014，44（9）：1319–1320.
[21] Ekkekakis P. Pleasure and displeasure from the body：Perspectives from exercise [J]. Cognition and Emotion，2003，17（2）：213–239.
[22] Pedro J，Teixeira. Exercise，physical activity，and self–determination theory：A systematic review [J]. International Journal of Behavioral Nutrition & Physical Activity，2012.
[23] Williams D M，Dunsiger S，Ciccolo J T，et al. Acute affective response to a moderate–intensity exercise stimulus predicts physical activity participation 6 and 12 months later [J]. Psychology of Sport & Exercise，2008，9（3）：231–245.

Optimizing the Adolescent Leisure Cycling Experience: An Experiment on the Effects of Different Cadence on Energy Expenditure Efficiency and Perceived Exertion

Cao Zhikai　Zhao Xuan　Peng Jinbo

Jianghan University, WuHan

Abstract: This study aimed to investigate the effects of different cadence ranges on energy expenditure efficiency and perceived exertion among adolescent leisure cyclists. A randomized controlled trial was designed, involving 24 healthy adolescents aged 13–18, who were randomly assigned to three groups: Experimental Group 1 (fixed cadence of 70–85 rpm), Experimental Group 2 (fixed cadence of 85–100 rpm), and a Control Group (free-choice cadence). All participants underwent a 6-week intervention, performing stationary bike training 2–3 times per week for 30 minutes each session. Before and after the intervention, cycling efficiency was assessed by the distance covered within the same duration, physiological load was reflected by steady-state heart rate, and subjective fatigue was evaluated using the Rating of Perceived Exertion (RPE) scale. Intra-group and inter-group comparisons were conducted. The results showed that Experimental Group 1 demonstrated the most significant improvements in cycling efficiency (largest increase, d=0.57), reduction in physiological load (most notable decrease in heart rate, d=0.92), and enhancement in perceived exertion (largest reduction in RPE, d=1.77), with effects significantly superior to those of Experimental Group 2 and the Control Group. The study indicates that for adolescent leisure cyclists, a moderate cadence range of 70–85 rpm, compared to higher cadences or free-choice cadence, can more effectively improve cycling efficiency, reduce physiological load, and significantly enhance subjective fatigue experience, thereby contributing to an optimized cycling experience and encouraging long-term participation. This study was limited to a laboratory setting; future research may further validate these findings under outdoor complex conditions and regarding long-term health benefits.

Key words: Adolescent leisure cyclists; Energy expenditure efficiency; Perceived exertion; Cadence

https://doi.org/10.35534/scps.0703028