

高强度间歇训练对大学生生理变量的影响

埃塞吉德·科特玛

埃塞俄比亚 阿巴明奇 阿巴明克大学自然科学学院 体育科学系

摘要: 本研究旨在评估高强度间歇训练 (HIIT) 对大学生生理变量的影响。40 名年龄在 18-25 岁之间的男性体育科学学生被随机分为 HIIT 组 ($n=20$) 和对照组 (C) ($n=20$)。实验组接受了 8 周的 HIIT, 而 C 组没有。在干预前后, 对所有受试者进行了生理变量的测试前和测试后测量, 如静息心率 (RHR)、呼吸频率 (RR)、恢复心率 (RcHR)、屏气时间 (BHT)、最大摄氧量 (VO_2) 和血压 (BP)。为了比较实验组和对照组之间的平均生理变量, 采用了独立样本 t 检验。统计学意义设定为 $p<0.05$ 。运动干预后, 实验组在 RHR、RR、BHT、最大摄氧量和收缩压方面明显优于对照组 ($p<0.05$)。因此, 我们得出结论, 八周的 HIIT 显示了大学生生理变量的显著改善。

关键词: 高强度间歇训练; 静息心率; 恢复率 (RR); 屏气; 最大吸氧量; 血压

Effects of High Intensity Interval Training on Physiological Variables of University Students

Assegid Ketema

Department of Sport Science, College of Natural Sciences, Arba Minch University, Arba Minch, Ethiopia

Abstract: The purpose of this study was to evaluate the effects of high-intensity interval training (HIIT) on university students' physiological variables. 40 male sports science students with an age range between 18-25 years were randomly assigned to the HIIT group ($n=20$) and control (C) group ($n=20$). The experiment group underwent eight weeks of HIIT, whereas, C group do not. Pre and posttest measurements of physiological variables like resting heart rate (RHR), respiratory rate (RR), recovery heart rate (RcHR), breath holding time (BHT), VO_2 max and blood pressure BP) were made for all subjects before and after the intervention. To compare the mean physiological variables between the experiment and control groups, an independent sample t -test was employed. The statistical significance was set at $p<0.05$. Following the exercise intervention, the experiment group shows significantly better improvements than the control group in, RHR, RR, BHT, VO_2 max, and systolic blood pressure ($p<0.05$). Thus, it was concluded that eight weeks of HIIT show a significant improvement in the physiological variables of university students.

Keywords: High-Intensity interval training; Resting heart rate; Recovery rate (RR), Breathe hold; Maximal oxygen uptake; Blood pressure

1. 引言

高强度间歇训练 (HIIT) 是一种众所周知的、具有时间效率的训练方法, 可改善运动员的心肺功能和代谢功能, 进而提高运动员的体能^[1-2]。即使在患有慢性心力衰竭的老年患者中, 相对于个人最大摄氧量的高强度训练也是可行的以及严重受损的心血管功能^[3]。间歇训练是许多运动和生活活动的特点^[4]。高强度间歇训练 (HIT) 被定义为重复短 (<45 秒) 到长 (2-4 分钟) 的高强度但非最大强度运动, 或短 (<10 秒, 重复冲刺序列 [RSS]) 或长 (>20-30 秒, 冲刺间歇训练 [SIT]) 的全速冲刺, 其间穿插恢复期^[1,5,6]。

一个人以极高的运动强度训练, 如果持续训练, 通常会使人筋疲力尽。休息到锻炼的时间间隔从几秒到几分钟不等, 这取决于能量系统过载^[4]。尽管相对高强度

的运动似乎能在心血管系统中诱导更大的有益适应, 但我们不知道这种类型的训练在更大的患者群体中是否安全, 以及它是否比低至中等强度的运动更有利地影响患者的并发症发生率^[7]。运动强度可能在预防和控制高血压方面起着重要作用, 高强度间歇训练比持续中等强度运动训练更能逆转高血压患者和高血压高家族性血压正常受试者的主要生理病理改变^[8]。总体而言, 在超重/肥胖人群中, 进行高强度间歇训练可导致显著的、积极的生理适应, 从而改善心脏代谢健康, 并可减少与超重/肥胖和低有氧健身相关的疾病相关风险因素的发展和进展。短期高强度间歇训练有益于影响腰围、最大摄氧量、空腹血糖和舒张压, 而长期高强度间歇锻炼有益于影响腰围、体脂百分比、最大摄氧量、静息心率、收缩压、- 超重/肥胖人群的舒张压^[6,9-13]。

长期高强度间歇训练可显著降低超重 / 肥胖人群的静息心率，但不适用于接受长期高强度间隔训练的正常体重人群和接受短期高强度间隔锻炼的正常体重 / 超重 / 肥胖群体^[9]。呼吸频率，即每分钟的呼吸次数被高度调节，以使细胞在任何给定的场合产生最佳的能量。神经组织的复杂神经系统调节氧气流入和二氧化碳流出的速率，并在倾向于扰乱血液中部分气体压力的条件下进行相应调整^[14]。呼吸频率是一个早期的、非常好的生理状况指标，如缺氧（细胞内氧含量低）、高碳酸血症（血液中二氧化碳含量高）、代谢性和呼吸性酸中毒^[15]。心率恢复（HRR）通常被定义为停止运动后 1 分钟的心率下降，是与冠心病相关的全因死亡率和死亡的重要预测因子。与较晚时间间隔的 HRR 相比，停止运动后 10 秒心率恢复下降是更好的预后预测因素^[16]。表面屏气与从肺到血液的氧气摄取减少相关，屏气潜水与深度处的氧气摄取大量瞬时增加相关，这导致时间平均氧气摄取恢复到恐慌控制水平：这些变化反映了组织氧气储存的变化^[17]。目前屏气潜水深度的绝对世界纪录是 150 米。它的进一步提高取决于初始氧气储存、总能量消耗率、无氧新陈代谢提供的能量比例和驾驶速度之间的平衡能被推动多远，而意识一旦恢复^[18]。在超重 / 肥胖人群中，高强度间歇训练可构成有效的训练方案，以改善最大摄氧量和几种心脏代谢危险因素，如腰围、体脂百分比、静息心率、收缩压、舒张压和空腹血糖。值得注意的是，短期高强度间歇训练和长期高强度间歇锻炼提高了正常体重和超重 / 肥胖人群的最大摄氧量，在更长的训练时间内观察到更大的增益。这对高强度间歇训练作为生活方式改变策略的一部分的使用具有意义，并且与训练对刺激的反应一致。短期高强度间歇训练对正常体重人群的收缩压和舒张压没有显著影响。可能需要更长的高强度间歇训练干预期才能对该人群的收缩压产生显著影响^[9]。

体育训练的目标是提高运动员的生理潜能，并将生物运动能力发展到最高标准^[19]。大学生代表着家庭、社区和国家的未来。他们在努力实现学业目标的过程中面临着压力，无论是在经济、教育还是政治领域，他们都可能成为未来社会的领导者。有人认为，健康是学校和高等教育中学业成绩的一个重要因素。在这种背景下，在学生的学术发展过程中实施学生健康调查计划非常重要，这有助于学校和大学创造更健康的教育环境。如背景和上一节所述，青年或青少年可以通过锻炼或训练来发展他们的各种生理机能。在一个充满活力的世界中进行的青少年训练和体育活动需要了解和解决训练问题，以创造并使他们很好地适应在频繁变化的环境中竞争和保持健康的表现^[8]。

根据以上结果，高强度间歇训练对生理变量有积极影响。本研究的结果可能对体育教师、健身教练和教练员具有重要意义，他们应针对生理变量采用多种高强度间歇训练方法，以提高学员的身体素质水平。

2. 方法

2.1. 研究设计

在本研究中，采用了真实的实验设计。根据 Guetterman 等人和 Bryman 的说法，这种设计有助于从样本人群中归纳和预测，从而可以对人群的研究结果做出推断，从而制定研究工具，并讨论了如何使用该工具^[20-21]。因此，本研究旨在研究高强度间歇训练对迪拉大学男性运动科学学生选定生理变量的影响。

2.2. 样品和取样技术

在研究地区，目前发现 103 名男性体育科学学生。其中，采用简单的随机抽样方法抽取了 40 名样本学生。

为了达到本研究的目的，从没有参加过任何比赛和运动队或任何训练计划，也没有畸形和疾病的学生中选择了未经训练的男性体育科学学生。他们被随机分为两组，即高强度间歇训练组（HIIT）（ $n=20$ ）和对照组（CON）（ $n=10$ ）。组 I 接受了 HIIT 培训，对照组没有接受任何治疗。

2.3. 试验管理

向所有受试者解释了该项目的要求，他们都自愿接受测试和培训计划。为了平息不安，向所有参与者详细解释了实验程序测试的严格要求以及锻炼方案，并获得了他们的书面知情同意。因此，他们需要付出什么样的努力，他们必须忍受什么样的困难，这一点并不含糊。

当学生处于舒适的坐姿，右臂完全暴露，并在心脏水平的支撑表面上休息时，记录血压水银血压计与适当尺寸的袖带一起使用。同时，在坐姿 5、10 和 15 分钟后进行三次静息心率测量（径向脉搏），并计算平均值。医生在 1 分钟内记录静息心率^[22]。

用肥皂和水洗手，使学生处于舒适的位置。保持恒定的温度，脱掉笨重的衣服，观察深度、对称性和呼吸模式。如果学生坐着，他们的脚必须平放在地板上。如果可能，让学生在测量前休息 20 分钟。在测量呼吸速率时，学生对研究的具体目标一无所知，而在测量呼吸率时，模拟学生没有得到特别的建议。用秒表和秒针数一分钟的呼吸（胸部上下移动的次數）。由于呼吸模式和呼吸速率可能发生变化，因此需要这段时间，在记录纸上记录呼吸频率^[23-24]。

为了收集屏气数据，主要将塑料袋填满。用鼻夹固定好后，让学生吸一大口室内空气，然后呼气到之前空的塑料袋中，关闭塑料袋使其保持充满。一旦袋子充满了呼出的空气，让学生恢复正常呼吸。当参与者开始重新呼吸时，让时间记录器启动秒表。参与者应继续重新呼吸，直到他们的呼吸深度导致袋子坍塌，或者直到学生达到他们的容忍极限。如果参与者表现出任何不适或头晕的迹象或症状，观察者应终止测试。根据我们的经验，再呼吸应限制在不超过 2 分钟的时间内。再呼吸的持续时间应记录在数据收集表中，以及对呼吸速率和深度变化的任何观察^[25]。

学生们在考试前 2-3 小时吃了一顿清淡的早餐，并在这段时间内没有进行任何精力充沛的体育活动。这些学生没有任何重大疾病的病史，除了一些娱乐性运动外，没有进行任何身体锻炼。通过间接方法确定每个受试者的最大摄氧量，要求受试者在运动前至少半小时休息。受试者在 400 米的圆形赛道上跑了 12 分钟。他们很有动力跑尽可能多的圈。计算总圈数并标记终点。12 分钟内的总距离（以米为单位）是通过将完整圈数乘以 400，再加上最后一个不完整圈内的总里程（以米计）来计算的。将以米为单位的距离换算为公里，并使用以下公式预测最大摄氧量。

最大摄氧量($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)= $(22351 \times \text{覆盖距离(公里)}) - 11288$ ^[26-27]

2.4. 统计技术

通过使用计算机化软件对测试前后所选生理变量收集的数据进行分析、解释，并将其制成有意义的表格。使用 IBM-SPSS 版本 20 (IBM, Armonk, NY, United states of America) 进行分析，并使用独立 T 检验分析。使用平均差、标准差、检验、自由度、显著性、置信区间来比较实验组和对照组之间变量水平的成分。在研究中，所有数据的显著性水平均为 $p < 0.05$ 。

3. 结果

参与者的人口统计学特征如表 1 所示。实验组的平均年龄、体重、身高、体重指数分别为 21.15 岁、62.93 千克、1.69 米和 22.34，而对照组分别为 20.95 岁、62.45 千克、1.68 米和 21.81。因此，这两个组在入门级都很匹配。不同的研究结果表明，体重指数是筛选普通人群以确定健康风险和推荐体重的有用工具。普通人群可接受的体重指数范围为 18.5 至 24.99 kg/m^2 ^[28]。

Variables	N	Minimum		Maximum		Mean		Std. Deviation	
		Exper.	Contr.	Exper.	Contr.	Exper.	Contr.	Exper.	Contr.
Age	20	19	19	25	24	21.15	20.95	1.872	1.669
Body mass	20	61.00	61.60	68.00	64.00	62.9300	62.4500	1.87311	.77832
Height	20	1.60	1.59	1.76	1.78	1.6800	1.6940	.04542	.04773
Body mass index	20	20.62	20.01	26.23	24.41	22.3375	21.8060	1.30126	1.15423

表 1. 参与者的人口特征

4. 干预后的组间比较

表 2 说明了组间比较的结果。研究结果表明，HIIT 组与对照组在静息心率、呼吸速率、恢复心率、屏气、最大摄氧量和收缩率方面存在显著差异。平均静息心率有显著差异， $\text{MD} = -13.80$ ， P 值 < 0.001 ，95%CI-18.52 至 -9.07，这表明 HIIT 组的静息心率低于对照组。同样，在 $\text{MD} = -5.55$ 、 P 值 < 0.001 、5%CI-7.05 至 -4.05、 $\text{MD} = -21.10$ 、 P 值 < 0.001 、95%CI-27.34 至 -14.85 和 $\text{MD} = -6.0$ 、 P 值 < 0.001 、95%CI-11.68 至 -0.32 的平均呼吸率方面观察到显著差异，这也表明 HIIT 组的呼吸率、恢复心率、-收缩率高于对照组。此外，研究表明，HIIT 可显著改善对照组的最大摄氧量（ $\text{MD} = 15.57$ ， P 值 < 0.001 ，95%CI:9.68 至 21.47）和呼吸（ $\text{MD} = 18.87$ ， P 值 < 0.004 ，95%CI: 6.34 至 31.40）。

Variables	t-test for Equality of Means					95% Confidence Interval of the Difference	
	Mean Difference	Std. Error Difference	T	Df	Sig. (2-tailed)	Lower	Upper
Resting heart rate	-13.80	2.33	-5.91	38	.001	-18.52	-9.07
Respiratory rate	-5.55	0.74	-7.49	38	.001	-7.05	-4.05
Recovery heart rate	-21.10	3.08	-6.84	38	.001	-27.34	-14.85
Breath hold	18.87	6.19	3.04	38	.004	6.34	31.40
Vo2-max	15.57	2.91	5.35	38	.001	9.68	21.47
Systolic	-6.00	2.80	-2.14	38	.039	-11.68	-0.32

t-Test, df= degree of freedom, sig= significant, MD= mean difference, se= standard error, CI= confidence interval

表 2: 在随访 8 周内，进行高强度间歇训练的干预组与对照组之间的结果变化。

5. 讨论

本研究旨在评估高强度间歇训练 (HIIT) 对大学生生理变量的影响。研究结果表明，HIIT 组与对照组在静息心率、呼吸速率、恢复心率、呼吸、最大呼气量和收缩率方面存在显著差异。

先前关于 RHR 的研究报告 HIIT 改变，静息心率^[23-24]。这种变化可能是由于训练提高了与增加的中风量和心输出量相关的心血管和运动能力的影响。这些机制还增强了与最大运动相关的最高心率下的舒张充盈参数。训练中还有一个外周血流量调节的组成部分，有助于提高训练后的运动能力。通过动静脉血氧差异评估的吸氧能力适度增加。这些发现与目前的研究相似。这可能是由于优先将血流重新引导至活动肌肉组织的能力发生变化，活动骨骼肌床的毛细血管化程度增加，以及具有更多线粒体和氧化酶的训练肌肉细胞的氧提取能力增强。因此，增加心率肌肉、心室腔大小和中风量的效率，或神经适应，以降低窦房结的交感神经张力，增加副交感神经紧张，这在降低静息心率中起作用^[24]。同样，这项研究报告了 HIIT 组和对照组在八周干预后的呼吸频率有显著差异。这一发现与高强度间歇训练是一致的，高强度间歇培训可能构成一种有效的训练方案，以提高最大摄氧量和心血管耐力^[9]。

研究表明，高强度间歇训练对呼吸频率有积极的改善^[29-31]。这可能是由于训练对改善训练前后、休息时和低强度运动期间的通气量以及最大有氧运动的潮气量、呼吸速率和通气量的影响。训练后最大呼吸速率和最大摄氧量增加，对最大通气量产生深远影响^[32-34]。

根据不同的研究结果，高强度间歇训练对恢复心率的影响对学生的生理学表现出更好的效果^[35-36]。因此，心率恢复对结果有积极影响，原因有两个。首先，短暂的恢复期意味着厌氧能源生产系统没有足够的时间完全恢复。由于随后的每一次重复，有氧系统将被要求为能源生产做出更大的贡献。如果这种形式的训练进行了足够的重复，有氧代谢产生的能量就会受到足够的挑战，从而产生训练效果。第二，当进行超最大 HIIT 时，被动恢复是一种更有效的策略。

在这两种情况下，参与者都能够通过被动而非主动的恢复策略保持训练强度，并在每次努力中完成更大的工作量。由于超最大间歇训练的高能量需求，后续每一个间歇的氧气需求量都太高，在较短的恢复期内无法使用任何氧气。可以假设，当前研究中使用的恢复策略有

助于提高有氧能力，因为理论上有更多的氧气可供受试者维持所需的强度。更短的恢复时间将逐渐需要有氧系统的显著贡献来满足能量需求^[37-38]。

在屏气测试后，研究数据显示，与对照组相比，HIIT 组的屏气能力和显著改善。这可能是由于呼吸肌的效率提高，增加了潮气量，增加了线粒体的数量、大小和代谢能力，从而分别增加了细胞的氧气消耗^[32,39]。

数据表明，与对照组相比，HIIT 组的最大摄氧量增加较多，改善更好。这可能是由于高强度运动增强了心血管系统的活性以及骨骼肌的氧化能力，这导致向工作肌肉输送氧气的增加。上述结果也仅限于^[40-42]的研究。这可能是由于训练对血管血管的影响或降低动脉的硬度。静息血压的降低使左心室更容易泵血，因为它必须产生较少的力量将血液喷射到外周循环中。收缩压和舒张压（BP）的降低可能是由于交感神经活动减少以及运动中一氧化氮介导的血管舒张作用增加。据推测，通过有氧运动降低血压的机制可能是由于荷尔蒙去甲肾上腺素和肾上腺素，因为有规律的运动可以降低去甲肾上腺素的水平，限制小动脉的血管收缩，从而降低血压。此外，交感神经活动的减少可能有助于通过有氧运动降低血压^[35,43-48]。

有证据支持这样一种观点，即如果个人将 HIIT 纳入其训练计划中，可以提高生理性能^[7,9]。本研究建议体育教师、健身教练和教练应采用多种高强度间歇训练方法，以提高学员的表现。通过增加培训计划的持续时间和强度、让女生参与、在选定的生理变量中加入其他变量以提高表现，也可以进行类似的研究。

6. 结论

根据对数据的分析、结果的解释、主要发现的讨论以及研究的可能局限性，以下几点作为结论。

目前的研究表明，八周高强度间歇训练对生理变量有积极影响，即：与对照组相比，静息心率、呼吸速率、呼吸保持率、最大摄氧量和收缩压。

参考文献

- [1] M. Buchheit and P. B. Laursen, “High-Intensity Interval Training. Solutions to the Programming Puzzle,” *Sport. Med.*, vol. 43, no. 5, pp. 313 – 338, May 2013, doi: 10.1007/s40279-013-0029-x.
- [2] M. W. Driller, J. W. Fell, J. R. Gregory, C. M. Shing, and A. D. Williams, “The Effects of High-Intensity Interval Training in Well-Trained Rowers,” *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, vol. 4, no. 1, pp. 110 – 121, Mar. 2009, doi: 10.1123/ijspp.4.1.110.
- [3] U. Wisløff et al., “Superior Cardiovascular Effect of Aerobic Interval Training Versus Moderate Continuous Training in Heart Failure Patients,” *Circulation*, vol. 115, no. 24, pp. 3086 – 3094, Jun. 2007, doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.106.675041.

- [4] S. Ito, “High-intensity interval training for health benefits and care of cardiac diseases – The key to an efficient exercise protocol,” *World J. Cardiol.*, vol. 11, no. 7, pp. 171 – 188, Jul. 2019, doi: 10.4330/wjc.v11.i7.171.

- [5] G. A. Gaesser and S. S. Angadi, “High-intensity interval training for health and fitness: can less be more?,” *J. Appl. Physiol.*, vol. 111, no. 6, pp. 1540 – 1541, Dec. 2011, doi: 10.1152/jappphysiol.01237.2011.

- [6] K. A. Burgomaster, G. J. F. Heigenhauser, and M. J. Gibala, “Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and timetrial performance,” *J. Appl. Physiol.*, vol. 100, no. 6, pp. 2041 – 2047, Jun. 2006, doi: 10.1152/jappphysiol.01220.2005.

- [7] U. Wisløff, Ø. Ellingsen, and O. J. Kemi, “High-Intensity Interval Training to Maximize Cardiac Benefits of Exercise Training?,” *Exerc. Sport Sci. Rev.*, vol. 37, no. 3, pp. 139 – 146, Jul. 2009, doi: 10.1097/JES.0b013e3181aa65fc.

- [8] A. H. El Gilany, K. Badawi, G. El Khawaga, and N. Awadalla, “Physical activity profile of students in Mansoura University, Egypt,” *East. Mediterr. Heal. J.*, vol. 17, no. 08, pp. 694 – 702, Aug. 2011, doi: 10.26719/2011.17.8.694.

- [9] R. B. Batacan, M. J. Duncan, V. J. Dalbo, P. S. Tucker, and A. S. Fenning, “Effects of high-intensity interval training on cardiometabolic health: a systematic review and meta-analysis of intervention studies,” *Br. J. Sports Med.*, vol. 51, no. 6, pp. 494 – 503, Mar. 2017, doi: 10.1136/bjsports-2015-095841.

- [10] J. E. DONNELLY, S. N. BLAIR, J. M. JAKICIC, M. M. MANORE, J. W. RANKIN, and B. K. SMITH, “Appropriate Physical Activity Intervention Strategies for Weight Loss and Prevention of Weight Regain for Adults,” *Med. Sci. Sport. Exerc.*, vol. 41, no. 2, pp. 459 – 471, Feb. 2009, doi: 10.1249/MSS.0b013e3181949333.

- [11] M. L. Pollock et al., “ACSM Position Stand: The Recommended Quantity and Quality of Exercise for Developing and Maintaining Cardiorespiratory and Muscular Fitness, and Flexibility in Healthy Adults,” *Med. Sci. Sport. Exerc.*, vol. 30, no. 6, pp. 975 – 991, Jun. 1998, doi: 10.1097/00005768-199806000-00032.

- [12] P. B. Laursen and D. G. Jenkins, “The Scientific Basis for High-Intensity Interval Training,” *Sport. Med.*, vol. 32, no. 1, pp. 53 – 73, 2002, doi: 10.2165/00007256-200232010-00003.

- [13] W. Kent, “The effects of sprint interval training on aerobic fitness in untrained individuals: a systematic review,” *Br. J. Sports Med.*, vol. 45, no. 15, pp. A8 – A8,

Dec. 2011, doi: 10.1136/bjsports-2011-090606.26.

[14] C.. Chourpiliadis and A. Bhardwaj, *Physiology, Respiratory Rate*. Island: StatPearls, 2019.

[15] S. Rolfe, “The importance of respiratory rate monitoring,” *Br. J. Nurs.*, vol. 28, no. 8, pp. 504 – 508, Apr. 2019, doi: 10.12968/bjon.2019.28.8.504.

[16] Y. J. van de Vegte, P. van der Harst, and N. Verweij, “Heart Rate Recovery 10 Seconds After Cessation of Exercise Predicts Death,” *J. Am. Heart Assoc.*, vol. 7, no. 8, Apr. 2018, doi: 10.1161/JAHA.117.008341.

[17] M. H. Liner and D. Linnarsson, “Tissue oxygen and carbon dioxide stores and breath-hold diving in humans,” *J. Appl. Physiol.*, vol. 77, no. 2, pp. 542 – 547, Aug. 1994, doi: 10.1152/jappl.1994.77.2.542.

[18] G. Ferretti, “Extreme human breath-hold diving,” *Eur. J. Appl. Physiol.*, vol. 84, no. 4, pp. 254 – 271, Apr. 2001, doi: 10.1007/s004210000377.

[19] J. Fernandez-Fernandez, R. Zimek, T. Wiewelhove, and A. Ferrauti, “High-Intensity Interval Training vs. Repeated-Sprint Training in Tennis,” *J. Strength Cond. Res.*, vol. 26, no. 1, pp. 53 – 62, Jan. 2012, doi: 10.1519/JSC.0b013e318220b4ff.

[20] T. C. Guetterman, M. D. Feters, and J. W. Creswell, “Integrating Quantitative and Qualitative Results in Health Science Mixed Methods Research Through Joint Displays,” *Ann. Fam. Med.*, vol. 13, no. 6, pp. 554 – 561, Nov. 2015, doi: 10.1370/afm.1865.

[21] A. Bryman, *Social research method*, 5th ed. new york, NY 100016: Oxford University press, 2008.

[22] F Rabbia et al., “Assessing resting heart rate in adolescents: determinants and correlates,” vol. 16, no. 1, pp. 327 – 332, 2002, doi: <https://doi.org/10.1038/sj.jhh.1001398>.

[23] S. Galka, J. Berrell, R. Fezai, L. Shabella, P. Simpson, and L. Thyer, “Accuracy of student paramedics when measuring adult respiratory rate: a pilot study,” *Australas. J. Paramed.*, vol. 16, Apr. 2019, doi: 10.33151/ajp.16.566.

[24] Wheatley I, “Respiratory rate 3,” *Nurs. Times*, vol. 114, no. 7, pp. 21 – 22, 2018.

[25] R. J. Skow, T. A. Day, J. E. Fuller, C. D. Bruce, and C. D. Steinback, “The ins and outs of breath holding: simple demonstrations of complex respiratory physiology,” *Adv. Physiol. Educ.*, vol. 39, no. 3, pp. 223 – 231, Sep. 2015, doi: 10.1152/advan.00030.2015.

[26] K. H. Cooper, “A Means of Assessing Maximal Oxygen Intake,” *JAMA*, vol. 203, no. 3, p. 201, Jan. 1968, doi:10.1001/jama.1968.03140030033008.

[27] A. Bandyopadhyay, “Validity of Cooper’ s

12-minute run test for estimation of maximum oxygen uptake in male university students,” *Biol. Sport*, vol. 32, no. 1, pp. 59 – 63, Oct. 2014, doi: 10.5604/20831862.1127283.

[28] S. W. K. Werner; A. Hoeger, *Fitness and Wellness*, 11th ed. Canada: Cengage Learning, 2014.

[29] S. Larsen et al., “The effect of high-intensity training on mitochondrial fat oxidation in skeletal muscle and subcutaneous adipose tissue,” *Scand. J. Med. Sci. Sports*, vol. 25, no. 1, pp. e59 – e69, Feb. 2015, doi: 10.1111/sms.12252.

[30] V. H. Arboleda-Serna, Y. Feito, F. A. Patiño-Villada, A. V. Vargas-Romero, and E. F. Arango-V é lez, “Effects of highintensity interval training compared to moderate-intensity continuous training on maximal oxygen consumption and blood pressure in healthy men: A randomized controlled trial,” *Biom é dica*, vol. 39, no. 3, pp. 524 – 536, Sep. 2019, doi: 10.7705/biomedica.4451.

[31] C. Dunham and C. A. Harms, “Effects of high-intensity interval training on pulmonary function,” *Eur. J. Appl. Physiol.*, vol. 112, no. 8, pp. 3061 – 3068, Aug. 2012, doi: 10.1007/s00421-011-2285-5.

[32] Karen Birch, Keith George, and Don McLaren, *BIOS Instant Notes in Sport and Exercise Physiology*, 1st ed. London: Routledge, 2004.

[33] D. M. L. Prado et al., “Effects of continuous vs interval exercise training on oxygen uptake efficiency slope in patients with coronary artery disease,” *Brazilian J. Med. Biol. Res.*, vol. 49, no. 2, 2016, doi: 10.1590/1414-431X20154890.

[34] M. Chlif, A. Chaouachi, and S. Ahmaidi, “Effect of Aerobic Exercise Training on Ventilatory Efficiency and Respiratory Drive in Obese Subjects,” *Respir. Care*, vol. 62, no. 7, pp. 936 – 946, Jul. 2017, doi: 10.4187/respcare.04923.

[35] A. Alansare, K. Alford, S. Lee, T. Church, and H. Jung, “The Effects of High-Intensity Interval Training vs. ModerateIntensity Continuous Training on Heart Rate Variability in Physically Inactive Adults,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 15, no. 7, p. 1508, Jul. 2018, doi: 10.3390/ijerph15071508.

[36] A. Al-Fehaid, S. Alkahtani, A. Al-Sunni, and T. Yar, “Role of the work-to-rest ratio in high-intensity interval exercise on heart rate variability and blood pressure in sedentary obese men,” *Saudi J. Heal. Sci.*, vol. 7, no. 2, p. 83, 2018, doi: 10.4103/sjhs.sjhs_103_17.

[37] E. Rey, C. Lago-Peñas, L. Cas á is, and J. Lago-Ballesteros, “The Effect of Immediate Post-Training Active and Passive Recovery Interventions on Anaerobic Performance and Lower Limb Flexibility in Professional Soccer Players,” *J. Hum. Kinet.*, vol. 31, no. 1, Jan. 2012, doi: 10.2478/v10078-012-0013-9.

- [38] D. L. Tomlin and H. A. Wenger, "The Relationship Between Aerobic Fitness and Recovery from High Intensity Intermittent Exercise," *Sport. Med.*, vol. 31, no. 1, pp. 1 - 11, 2001, doi: 10.2165/00007256-200131010-00001.
- [39] T. Karlsen, B. M. Nes, A. E. Tjønnå, M. Engstrøm, A. Støylen, and S. Steinshamn, "High-intensity interval training improves obstructive sleep apnoea," *BMJ Open Sport Exerc. Med.*, vol. 2, no. 1, p. bmjsem-2016, Feb. 2017, doi: 10.1136/bmjsem-2016-000155.
- [40] T. Reilly, "An ergonomics model of the soccer training process," *J. Sports Sci.*, vol. 23, no. 6, pp. 561 - 572, Jun. 2005, doi: 10.1080/02640410400021245.
- [41] I. TABATA et al., "Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and $\dot{V}O_{2\max}$," *Med. & Sci. Sport. & Exerc.*, vol. 28, no. 10, pp. 1327 - 1330, Oct. 1996, doi: 10.1097/00005768-199610000-00018.
- [42] R. Duffield, J. Edge, and D. Bishop, "Effects of high-intensity interval training on the response during severe exercise," *J. Sci. Med. Sport*, vol. 9, no. 3, pp. 249 - 255, Jun. 2006, doi: 10.1016/j.jsams.2006.03.014.
- [43] Gretchen K. Berland et al., "Health information on the Internet," *Am. Med. Assoc.*, vol. 285, no. 20, pp. 2612 - 2621, 2001.
- [44] S. J. Hardcastle, H. Ray, L. Beale, and M. S. Hagger, "Why sprint interval training is inappropriate for a largely sedentary population," *Front. Psychol.*, vol. 5, Dec. 2014, doi: 10.3389/fpsyg.2014.01505.
- [45] J. L. Trilk, A. Singhal, K. A. Bigelman, and K. J. Cureton, "Effect of sprint interval training on circulatory function during exercise in sedentary, overweight/obese women," *Eur. J. Appl. Physiol.*, vol. 111, no. 8, pp. 1591 - 1597, Aug. 2011, doi: 10.1007/s00421-010-1777-z.
- [46] T. Rankinen et al., "AGT M235T and ACE ID polymorphisms and exercise blood pressure in the HERITAGE Family Study," *Am. J. Physiol. Circ. Physiol.*, vol. 279, no. 1, pp. H368 - H374, Jul. 2000, doi: 10.1152/ajpheart.2000.279.1.H368.
- [47] T. Rice et al., "Genome-Wide Linkage Analysis of Systolic and Diastolic Blood Pressure," *Circulation*, vol. 102, no. 16, pp. 1956 - 1963, Oct. 2000, doi: 10.1161/01.CIR.102.16.1956.
- [48] R. H. FAGARD, "Exercise characteristics and the bloodpressure response to dynamic physical training," *Med. Sci. Sports Exerc.*, vol. 33, no. Supplement, pp. S484 - S492, Jun. 2001, doi: 10.1097/00005768-200106001-00018.