

抗氧化物 对机体机能的影响

The Effect of Antioxidants
on Body Function

吴丽君 武宝爱 著

北京体育大学出版社

山西省归国留学基金项目 (2013 -003)

山西省自然科学基金面上项目 (2015011118)

抗氧化物对机体 机能的影响

吴丽君 武宝爱 著

北京体育大学出版社

策划编辑 力 歌
责任编辑 张 力
审稿编辑 苏丽敏
责任校对 罗乔欣
版式设计 博文宏图

图书在版编目 (CIP) 数据

抗氧化物对机体机能的影响/吴丽君等著. - 北京: 北京体育大学出版社, 2016. 6
ISBN 978 - 7 - 5644 - 2322 - 3

I. ①抗… II. ①吴… III. ①抗氧化作用 (运动生物学) IV. ①G804. 7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 141793 号

抗氧化物对机体机能的影响 吴丽君 武宝爱 著

出 版 北京体育大学出版社
地 址 北京海淀区信息路 48 号
邮 编 100084
邮 购 部 北京体育大学出版社读者服务部 010 - 62989432
发 行 部 010 - 62989320
网 址 <http://cbs.bsue.edu.cn>
印 刷 北京京华虎彩印刷有限公司
开 本 710 × 1000 毫米 1/16
成品尺寸 240 × 170 毫米
印 张 28. 75
字 数 414 千字

2016 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

定 价 80. 00 元

(本书因装订质量不合格本社发行部负责调换)

前 言

自 20 世纪 50 年代起，生物学家和医学研究者开始认识和研究自由基 (free radicals)，其中大部分研究集中在自由基与临床疾病的关系上。现在，科学家与医师更是认识到自由基是许多疾病的致病因素，如癌症 (cancer)、冠心病 (atherosclerosis)、糖尿病 (diabetes)、白内障 (cataract) 以及衰老 (aging) 等等。

人体在正常状态下，机体自身产生的抗氧化物可以抵消体内产生的自由基，但是在强紫外线照射、雾霾、农药摄入、大强度运动等状态下，机体内会产生大量的自由基，致使机体清除自由基的能力不足以消除过多的自由基，此时自由基便可与碱基、氢键、氨基酸等结合发生氧化反应，对机体辅酶、神经递质、线粒体、肌细胞膜等物质形成破坏，从而引起上述多种疾病及机体肌肉损伤、运动性疲劳等。

早在 1982 年 Davies 等人就提出急性大强度运动会使体内产生大量的自由基，进而引起了运动医学届对自由基的关注。在正常休息状态下，人体大约有 2% ~ 5% 的氧会在电子转换过程中产生自由基。研究表明，自由基的产生会随着氧耗的增加而递增，特别是在运动的时候，全身耗氧量是休息状态下的 10 ~ 20 倍，在骨骼肌更是高达 100 ~ 200 倍，因此会导致大量的自由基产生。如果产生的自由基在短时间内不被消除，就会导致细胞膜上的不饱和脂肪酸受到攻击，进而发生脂质过氧化

反应，使细胞坏死、组织器官受损。这种状态可使运动员的机体受到不利影响，增加运动员感染疾病和受到损伤的机会。因此，如何有效地抑制脂质过氧化物的产生，进而防止由运动导致的自由基所产生的氧化损害是运动医学届研究的重要课题。

红景天、黄芪、番茄红素、花青素、虾青素等物质均具有抗氧化、抗自由基作用。本书系统论述红景天、黄芪、番茄红素、花青素、虾青素的来源、代谢、提取、作用机制以及与运动相关的研究，同时阐述了编者近些年科研团队所从事的天然抗氧化物与运动相关的研究成果。

本书可供为促进自身健康、预防或治疗癌症、冠心病、糖尿病、白内障以及预防衰老的广大人群参考阅读，也可为进行自由基及抗氧化物研究的科技工作者、体育院校进行相关研究的教师及学生提供参考。

感谢山西省自然科学基金及山西省归国留学基金给与的资助与支持。感谢北京体育大学出版社编辑为本书出版所做的大量、细致的艰苦付出。

由于水平有限，书中难免有不足之处，恳请专家、学者及同行们批评指正。

目 录

CONTENTS

第一章 维生素 C 与运动	(1)
第一节 概 述	(1)
第二节 维生素 C 与运动相关的研究	(8)
第二章 维生素 E 与运动	(14)
第一节 概 述	(14)
第二节 维生素 E 与运动相关的研究	(23)
第三章 红景天与运动	(37)
第一节 概 述	(37)
第二节 红景天与运动相关的研究	(46)
第三节 本实验室研究：红景天提取物对大鼠血液中氧自由基 代谢的影响	(57)
第四章 黄芪与运动	(95)
第一节 概 述	(95)
第二节 黄芪与运动的相关研究	(103)
第三节 黄芪提取物对大鼠氧自由基代谢的影响	(107)

第五章 番茄红素与运动 (141)

 第一节 概 述 (141)

 第二节 番茄红素与运动相关的研究 (188)

 第三节 本实验室研究 (192)

第六章 花青素与运动 (299)

 第一节 概 述 (299)

 第二节 花青素与运动相关的研究 (331)

 第三节 本实验室研究：原花青素及运动对人体血液代谢指标
 影响的研究 (333)

第七章 虾青素与运动 (394)

 第一节 概 述 (394)

 第二节 虾青素与运动的相关研究 (408)

 第三节 本实验室的研究：虾青素对运动人体抗氧化及血脂
 代谢影响的研究 (411)

第一章 维生素 C 与运动

第一节 概 述

维生素是维持身体健康所必需的一类有机化合物。这类物质在体内既不是构成身体组织的原料，也不是能量的来源，而是一类调节物质，在物质代谢中起重要作用。这类物质由于体内不能合成或合成量不足，所以虽然需要量很少，但必须经常由食物供给。

维生素又名维他命，通俗来讲，即维持生命的物质，是维持人体生命活动必需的一类有机物质，也是保持人体健康的重要活性物质。维生素在体内的含量很少，但不可或缺。各种维生素的化学结构以及性质虽然不同，但它们却有着以下共同点：

- ① 维生素均以维生素原的形式存在于食物中；
- ② 维生素不是构成机体组织和细胞的组成成分，它也不会产生能量，它的作用主要是参与机体代谢的调节；
- ③ 大多数的维生素，机体不能合成或合成量不足，不能满足机体的需要，必须经常通过食物中获得；
- ④ 人体对维生素的需要量很小，日需要量常以毫克或微克计算，但一旦缺乏就会引发相应的维生素缺乏症，对人体健康造成损害。

维生素与碳水化合物、脂肪和蛋白质 3 大物质不同，在天然食物中仅占极少比例，但又为人体所必需。有些维生素如 B₆ 等能由动物肠道内的细菌合成，合成量可满足动物的需要。动物细胞可将色氨酸转变成烟酸（一种 B 族维生素），但生成量不敷需要；维生素 C 除灵长类及豚

鼠以外，其他动物都可以自身合成。植物和多数微生物都能自己合成维生素，不必由体外供给。许多维生素是辅基或辅酶的组成部分。

维生素是人和动物营养、生长所必需的某些少量有机化合物，对机体的新陈代谢、生长、发育、健康有极重要作用。如果长期缺乏某种维生素，就会引起生理机能障碍而发生某种疾病。一般由食物中取得。现阶段发现的有几十种，如维生素 A、维生素 B、维生素 C 等。

维生素是人体代谢中必不可少的有机化合物。人体犹如一座极为复杂的化工厂，不断地进行着各种生化反应。其反应与酶的催化作用有密切关系。酶要产生活性，必须有辅酶参加。已知许多维生素是酶的辅酶或者是辅酶的组成分子。因此，维生素是维持和调节机体正常代谢的重要物质。可以认为，最好的维生素是以“生物活性物质”的形式，存在于人体组织中。

维生素 C (Vitamin C, 又称 L-抗坏血酸) 是高等灵长类动物与其他少数生物的必需营养素；是一种常见的水溶性维生素，它可以作为电子供体直接清除活性氧，因此，维生素 C 常被视为细胞外液中主要的抗氧化物质。抗坏血酸在大多数的生物体可借由新陈代谢制造出来，但是人类是最显著的例外。最广为人知的是缺乏维生素 C 会造成坏血病。在生物体内，维生素 C 是一种抗氧化剂，保护身体免于自由基的威胁，维生素 C 同时也是一种辅酶。其广泛的食物来源为各类新鲜蔬果。

维生素 C 为酸性己糖衍生物，是稀醇式己糖酸内酯，维生素 C 主要来源新鲜水果和蔬菜，是高等灵长类动物与其他少数生物的必需营养素。维生素 C 有 L-型和 D-型两种异构体，只有 L-型的才具有生理功能，还原型和氧化型都有生理活性。

一、维生素 C 的来源

新鲜的水果及蔬菜里都含有大量的维生素 C，这是其主要的食物来源。柠檬、柑橘、番茄、青椒、辣椒、莴苣、菠菜等都含有大量的维生素 C。除此之外，还有各种维生素 C 补充剂，如：维生素 C 片、维生素

C 胶囊、维生素 C 咀嚼片、维生素 C 饮料等。

二、维生素 C 的组成结构

维生素 C 又称抗坏血酸，是一种含有 6 个碳原子的酸性多羟基化合物，分子式为 $C_6H_8O_6$ ，分子量为 176.1。

天然存在的抗坏血酸有 L 型和 D 型 2 种，后者无生物活性。维生素 C 是呈无色无臭的片状晶体，易溶于水，不溶于有机溶剂。在酸性环境中稳定，遇空气中氧、热、光、碱性物质，特别是由氧化酶及痕量铜、铁等金属离子存在时，可促进其氧化破坏。氧化酶一般在蔬菜中含量较多，故蔬菜储存过程中都有不同程度流失。但在某些果实中含有的生物类黄酮，能保护其稳定性。

三、维生素 C 的生产和提取

20 世纪二三十年代曾使用浓缩提取法，现已退出工业生产实践。国外维生素 C 生产商（如 Roche 公司、BASF/Takeda 公司和 E. Merck 公司等）所采用的化学合成法中的莱氏法生产的维生素 C 产品质量好、收率高，而且生产原料（葡萄糖）便宜易得，中间产物（如双丙酮-L-山梨糖）化学性质稳定。目前较为先进的方法是微生物发酵法，该方法产品成本较低，转化率高。

吴海燕、陆兵试验采用微波辅助提取，过滤后用反相高效液相色谱来测定花菜中的维生素 C 含量的方法。通过试验优化得到微波提取的最佳条件为微波功率 200 瓦，提取时间 15 分钟，提取温度为 45 摄氏度。反相高效液相色谱测定维生素 C 的线性范围为 0.02 ~ 0.12 微克/毫升，检测限 0.02 毫克/千克，平均回收率在 100.5% ~ 104.6% 之间，相对标准偏差为 1.20%。维生素 C 性质不稳定，易氧化，采用微波来辅助提取，加快了提取进程，缩短了样品制备时间，避免维生素 C 的损失；同时使样品中的维生素 C 能有效提取，测定的准备度和精密度好，可以用

于蔬菜中维生素 C 含量的定量测定。

覃艳、张红刚、杨崧分别采用几种不同提取方法对 3 种原料中维生素 C 进行提取,并用紫外分光光度法对其含量进行测定,发现超声波法对原料中维生素 C 提取效率较高,操作简便,为提取维生素 C 较好的方法之一。

索朗桑姆用不同的提取溶液浸提,维生素 C 的提取率不同。条件相同的情况下,维生素提取率大小为乙醇溶液 > 柠檬酸溶液 > 水溶液。在一定温度范围内,升高温度能提高提取率,在水浴 50 摄氏度浸提 7 小时,浸提率达到 87.6%。

另外还有从橙皮、草莓果实等植物的部分中提取维生素 C,目前维生素 C 的来源有加工合成、发酵生产、植物提取三种方式。

四、维生素 C 的功效

(一) 参与体内氧化还原过程

维生素 C 能够维持组织细胞的正常能量代谢和调节细胞内氧化还原电位。促进物质代谢,增加大脑中氧的含量,激发大脑对氧的利用,提高脑及机体对缺氧的耐受力,减轻疲劳,提高工作效率和运动能力。

(二) 促进体内胶原合成

胶原蛋白的合成需要维生素 C 参加,所以维生素 C 缺乏,胶原蛋白不能正常合成,导致细胞连接障碍。人体由细胞组成,细胞靠细胞间质把它们联系起来,细胞间质的关键成分是胶原蛋白。胶原蛋白占身体蛋白质的 1/3,生成结缔组织,构成身体骨架。如骨骼、血管、韧带等,决定了皮肤的弹性,保护大脑,并且有助于人体创伤的愈合。

(三) 增加机体的抗病能力,促进伤口愈合

白细胞中含有丰富的维生素 C,当机体感染时白细胞内的维生素 C

急剧减少。维生素 C 可增强中性粒细胞的趋化性和变形能力,提高杀菌能力。促进淋巴母细胞的生成,提高机体对外来和恶变细胞的识别和杀灭。参与免疫球蛋白的合成。

(四) 大量维生素 C 还可以促进心肌利用葡萄糖

糖和心肌糖原的合成可促进胆固醇的排泄,防止胆固醇在动脉内壁沉积,甚至可以使沉积的粥样斑块溶解。

维生素 C 还可以将血浆用铁蛋白中的三价铁离子还原为二价铁离子,促进铁的吸收;阻断亚硝酸胺在体内的形成,具有防癌和抗癌作用。

(五) 抗疲劳

维生素 C 具有高度的还原性,它可以还原超氧化物、羟基、次氯酸及其他活性氧化物,并与其他抗氧化剂一起清除自由基,以阻断脂质过氧化;同时它还能保护其他生物抗氧化剂,使他们恢复到还原形式,因此在保护 DNA、蛋白质和膜结构免遭自由基的损伤方面也起着重要作用。这是维生素 C 能够抗氧化和抗运动性疲劳的基础。

在活体 pH 值范围内,超氧化歧化酶歧化氧自由基的反应比维生素 C 的作用快 3000 倍,但在大多数组织中超氧化歧化酶的浓度通常只有 6~10 摩尔,大约是维生素浓度的 1/1000,所以超氧化歧化酶歧化氧自由基的速率只比维生素 C 快 3 倍。由此可见,维生素 C 在对抗自由基毒性方面有较明显的补足作用。由于超氧化歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶等酶存在于细胞内,不能与细胞外的自由基及氧化剂反应,而维生素 C 可存在于体液中,在细胞外就能起抗氧化剂的作用。另外,维生素 C 还可淬灭羟自由基。维生素 C 作为抗氧化剂,可直接或间接的发挥清除自由基和抗氧化的作用,所以维生素 C 和其他自由基清除剂一样,可清除机体在运动或其他应激状态下产生的自由基,从而保护生物膜的完整性。有研究表明:维生素 C 能显著提高心肌超氧化物歧化酶(SOD)活性、降低丙二醛(MDA)含量、减轻心肌的损伤,并能显著延长动物游泳至力竭的时间,提高运动能力。每天注射芦丁和维生素 C,持续 15

天就可降低大鼠力竭运动后脂质过氧化水平,提高大鼠力竭运动后超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶的活性,并可减少力竭运动后因脂质过氧化损伤而产生的自由基,提高机体抗运动性疲劳的能力,同时对防止运动损伤也有一定的作用。还有专家研究认为,大鼠游泳前后肾组织内缺血及再灌注过程会产生大量自由基,使血浆中丙二醛(MDA)升高,导致细胞膜完整性破坏、线粒体肿胀溶解、氧化磷酸化产生障碍和ATP的合成速率下降;在应用维生素C治疗后,丙二醛(MDA)出现下降,并且线粒体保持完整,这表明维生素C具有清除自由基、保护肾的作用,并有利于运动后代谢产物的排出、加快机体的恢复。通过研究豚鼠发现,当实验动物伴有维生素缺乏症时,运动中氧化型谷胱甘肽/谷胱甘肽比值升高;在补充维生素C后,其比值可下降,这说明维生素C对谷胱甘肽具有抗氧化保护作用,可使谷胱甘肽更有效地清除 O^{-2} 。

维生素C具有D-和L-型光学异构体,其中L-维生素C是自然界存在并具有生理活性的异构体,而D-维生素C通常不具有抗坏血酸功能。参与许多生理过程,如生长、繁殖、发育、伤口、愈合、免疫和应激反应等。维生素C是一个极好的电子源,它可以为羟基和超氧化物自由基等提供电子,终止自由基的活性,减轻氧化损伤。

(六) 抗氧化

李磊通过实验并综合比较茶多酚(TP) (TP 98%, 0, EGCG 45%), 维生素C, 大豆提取物(40%), 葡萄籽提取物(95%), 山茱萸提取物(1毫克/毫升), 熊果酸可以看出:(1)在低浓度0.01毫克/升时维生素C的抗氧化能力最强,其的铁离子还原法(FRAP)值达到423.87微摩尔/升。

刘玉香等通过研究认为:二氧化硫(SO_2)体内衍生物可以使仓鼠肺细胞(CHL细胞)细胞中过氧化氢酶(CAT)活性降低、脂质过氧化物(LPO)水平增高,且维生素C可起到一定防护作用。

(七) 保护肾脏

周俊飞、曹建民、周海涛通过对研究发现:大负荷游泳训练造成了

大鼠肾脏缺血再灌注的损伤,肉苁蓉和维生素 C 均对肾脏缺血再灌注损伤具有明显保护作用,可能是通过增强超氧化物歧化酶活性,清除自由基,减轻脂质过氧化作用,进而改善肾脏功能。就疗效而言,二者配伍使用优于二者单独应用,而肉苁蓉又优于维生素 C,但也可能和二者在应用中的剂量大小有关,其剂量和疗效之间的关系,还有待进一步研究。

郭爱民、曹建民、周海涛对巴戟天和维生素 C 均对肾脏缺血再灌注损伤具有保护作用,可能是通过增强超氧化物歧化酶活性,清除自由基,减轻脂质过氧化作用,进而改善肾脏功能。就疗效而言,二者配伍使用优于二者单独应用,而巴戟天又优于维生素 C,但也可能和二者在应用中的剂量大小有关,其剂量和疗效之间的关系,还有待进一步研究。

张军等通过发现:各加药组小鼠血清、肝和股四头肌的活性、血红蛋白(Hb)、肝糖原、肌糖原含量较运动对照组显著提高,MDA 含量明显低于运动对照组。运动槐米与维生素 C 组较其他 3 组的结果有更显著的变化趋势,说明槐米与维生素 C 液对运动训练小鼠的抗氧化能力有良好的协同性。

(八) 保护肝脏

周显青等通过实验研究认为:

维生素 C 可能具有分解或抑制脂质过氧化物产生的作用,维生素 C 很可能通过它对自由基的灭活作用,中断了自由基的连锁反应,减少了自由基的攻击,从而降低了机体内脂质过氧化物的含量;

维生素 C 对抗氧化物酶的促进作用,可能是由于它对自由基的灭活作用,从而降低了体内抗氧化物酶的消耗,升高抗氧化物酶的活性;

此外,维生素 C 也可能通过恢复抗氧化物酶某些基团的活性,提高了抗氧化物酶的活性,有报道说,维生素 C 可使谷胱甘肽过氧化物酶和维生素 E 的基团恢复活性,重新具有抗自由基作用。

通过以上作用减轻了肝脏的负担(肝脏是体内活性氧产生和清除的

重要器官,肝细胞抗氧酶活性和脂质过氧化物的变化,可反映出肝细胞自由基损伤的程度),并且可以防止肝脏过氧化损伤。

第二节 维生素 C 与运动相关的研究

维生素一般是通过组成辅酶或辅基的形式参与体内的物质和能量代谢,在进行运动时,机体能量消耗大大增加,加速了物质能量代谢过程,同时各种酶的活性增加,这就使维生素消耗增多;同时,剧烈运动时出汗较多,使水溶性维生素尤其是维生素 C 大量丢失。

一、维生素 C 补充与运动

维生素 C 是一种水溶性维生素,容易不断从体内流失。人体不能制造维生素 C,因此必须每天从富含维生素 C 的食物中摄取来满足身体需要。维生素 C 是人体每天需要量最多的维生素,主要因为维生素 C 比其他维生素或矿物质更多耗用于各种人体机能。在运动中维生素参与能量代谢过程,对于运动中自由基的增加也起着积极的清除作用,尤其是维生素 C 抗氧化性更强。

维生素 C 及其生物学功能,维生素 C 是己糖的衍生物,具有酸性,也称抗坏血酸。维生素 C 的抗坏血功能早被人类所认识。Wang 和 King (1932) 首先分离出纯的维生素 C,并证明它是抗坏血因子。Abet 等 (1938) 认为维生素 C 还具有抗感染和抗自由基的作用,在机体内自由基产生和清除的平衡过程中,维生素 C 起重要作用。Stocer 和 Frie (1991) 报道维生素 C 是细胞外液中最重要抗氧化物质。Sies 认为维生素 C 通过有效的抗活性氧自由基,减少组织中氧自由基含量来保护生物膜免遭过氧化物的损伤。

参加体育运动时,肌肉运动产生大量热量,使皮肤血流量增加,汗腺分泌大量汗液。运动者出汗的特点是出汗量大,出汗率高,失营养离

子多。如在天热的环境下踢足球,运动者 1 小时汗液的丢失量高达 2 ~ 5 升。运动中若不注意科学合理的补充营养离子,会造成体内的离子失衡。这些人因流汗过多会损失大量的维生素 C,应及时予以补充。有研究表明,维生素 C 的流失,会严重影响人的运动能力。严重的缺乏维生素 C 可是人出现牙龈肿胀与出血、牙齿松动、脱落,皮肤出现瘀血点与瘀斑,关节出血可形成血肿、便血、月经过多、还能够影响骨可正常钙化,出现伤口愈合不良,抵抗力低下,肿瘤扩散,呼吸加快、恶心、情绪不稳、易激怒、肌肉抽搐等现象。缺乏维生素 C 对运动员不仅在于体温升高和心血管负担加重,还可导致其他组织器官的损伤。因此运动中的合理补充维生素 C 是十分重要的。

运动员在参加比赛的前几天多补充维生素 C,虽然多余的维生素 C 不能在体内储存,但有利于在比赛开始时使体内达到最大的维生素 C 饱和状态。

运动中每 15 ~ 30 分钟补充 100 ~ 300 毫升含维生素 C 的运动饮料。运动中最好采用含糖和无机盐的运动饮料来补充维生素 C 和电解质。因为在热环境下运动饮料可以迅速地被组织吸收,达到维生素 C 修复的效果。进入人体的维生素 C 很快分布于人体的各个组织器官,在正常情况下,人体维生素 C 库为 1500 毫克。运动中细胞的损伤程度加剧,充足的维生素 C 有利于修复组织细胞。维生素 C 可直接或间接的清除自由基,起到抗氧化的作用。疲劳性运动,常导致运动者体内的免疫功能低下而易引发上呼吸道感染。补充维生素 C 能够有效地减少这种感染。运动员特别是女运动员较容易发生贫血,而维生素 C 有促进铁吸收的作用。

运动后应及时补充维生素 C,以保持体内的维生素 C 需求,维生素 C 补充量应该与流失量大体一致,但不应过度集中。

二、维生素 C 补充与运动的实验研究

(一) 实验过程

1. 材料和方法

(1) 实验对象和主要试剂

由某高校随机选取 20 名男性在校大学生参加本次研究, 平均年龄为 22.7 ± 0.95 岁。所有大学生入组时均进行全身体格检查, 心肺听诊和体表心电图检查, 以进一步评估其心肺功能, 尽量避免实验过程可能出现的安全隐患, 受试者均身体健康, 无器质性病变。

维生素 C 片购自湖北华中制药有限公司; 人外周血白细胞分离液试剂盒购自天津灏洋生物制品有限公司; 细胞活性氧检测试剂盒购自美国 Invitrogen 公司; 细胞 IKKa 激酶活性定量检测试剂盒购自上海一基生物试剂有限公司; 人 IL-1、IL-6、IL-8ELISA 检测试剂盒均购自北京中杉金桥生物技术公司; 其余常规试剂均为国产分析纯。

(2) 实验分组和运动方案

将 20 名大学生随机分为实验组和对照组 (均为 $n = 10$), 在运动干预开始前 2 周集中进行负荷递增的跑台运动, 利用运动心肺测试系统 (Jaeger, 德国) 实时测定以下指标: 摄氧量 (volume of oxygen uptake, VO_2)、二氧化碳呼出量 (volume of expiratory CO_2 , VCO_2)、呼吸交换率和心率。测试结束后, 根据每个人的最大 VO_2 (最大摄氧量) 分别建立摄氧量与跑台速度的回归方程, 计算 75% 最大摄氧量对应的速度, 并作为本次实验的运动负荷。

为了避免饮食对人外周血炎症因子含量的影响, 在运动干预开始前 2 周即对所有 20 名大学生进行合理膳食教育和指导, 督促其科学合理安排三餐, 保证各类营养素种类齐全、比例适宜、数量充足。除正常进餐外, 不额外加餐, 不吃零食, 不吸烟饮酒, 研究人员每日随访记录其