



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101637629 B

(45) 授权公告日 2012.07.04

(21) 申请号 200910140951.8

(22) 申请日 2009.05.07

(73) 专利权人 香港理工大学
地址 中国香港九龙红磡香港理工大学

(72) 发明人 杨世模 杨慧 张保亭

(74) 专利代理机构 广州三环专利代理有限公司
44202

代理人 郝传鑫 潘中毅

(51) Int. Cl.
A61N 1/36 (2006.01)

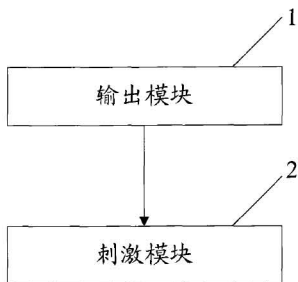
(56) 对比文件
CN 1041873 A, 1990.05.09,
CN 101084039 A, 2007.12.05,
刘文忠等. 慢性低频电刺激对背阔肌纤维类型、组织化学特性及血供的影响. 《中国临床解剖学杂志》. 1998, 第16卷(第04期), 第346页.

审查员 郭永强

权利要求书 1 页 说明书 7 页 附图 5 页

(54) 发明名称
一种电刺激方法、相关装置及系统

(57) 摘要
本发明提供了一种电刺激方法、相关装置及系统,该系统包括,获得低频率、长时间的电刺激参数的输出模块,输出模块将该电刺激参数传输给刺激模块;刺激模块,根据电刺激参数产生的电刺激信号,作用于骨骼肌。采用该系统的电刺激方法,可以改善肌肉卫星细胞数量及增值分化功能。采用该系统的装置体积小、质量轻、携带方便、使用便捷。



1. 一种电刺激系统,包括:

输出模块,获得电刺激参数,并传输给刺激模块,所述电刺激参数为低频率,长时间的电刺激参数;

刺激模块,根据所述电刺激参数产生的电刺激信号,作用于骨骼肌;

其中,所述电刺激参数的频率范围为 2 Hz -20Hz,时间范围为 3 小时 / 天至 2 次 × 3 小时 / 天,所述电刺激参数的波形为不对称双相方波,脉冲宽度范围为 0. 25ms,强度范围为 0. 9V-1. 2V, 通断比为 1:2。

2. 根据权利要求 1 中所述的系统,其特征在于:所述电刺激参数的频率为 2Hz,时间为 2 次 × 3 小时 / 天。

3. 根据权利要求 2 中所述的系统,其特征在于:所述电刺激参数的脉冲宽度为 0. 25ms,通断比为一个循环包括 1 秒启动,5 秒运行,10 秒停止。

4. 根据权利要求 1 至 3 中任一项中所述系统,其特征在于:所述系统进一步包括,

反馈模块,根据骨骼肌的收缩,判断骨骼肌的病理情况,确定电刺激参数,并将所述电刺激参数发送至输出模块。

5. 一种电刺激装置,其特征在于:所述的装置包括导电长筒袜,所述导电长筒袜中安装有如权利要求 1~3 中任一项所述的电刺激系统。

6. 一种电刺激装置,其特征在于:所述的装置包括导电长筒袜,所述导电长筒袜中安装有如权利要求 4 所述的电刺激系统。

一种电刺激方法、相关装置及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及医学工程领域,尤其涉及一种电刺激方法、相关装置及系统。

背景技术

[0002] 人体骨骼肌自出生后,随年龄增加持续生长,至到成年就会趋于稳定。骨骼肌的主要作用包括:实施运动、保持姿势和呼吸功能。然而,某些因素包括直接创伤(如剧烈体育运动和撕裂)或间接损伤(如神经肌肉功能失调和先天性疾病)均能导致肌肉不同程度的损伤。如果没有得到及时修复,这些损伤便会引起肌肉重量下降、运动功能低下,甚至会导致死亡。虽然,肌肉在受到损伤刺激后,可以逐渐自行修复,但是这种修复再生过程是要通过肌肉卫星细胞来完成。

[0003] 肌肉卫星细胞因附着于肌细胞胞浆膜和基底膜之间而得名。肌肉卫星细胞通过持续激活增殖来维持出生后的骨骼肌不断生长。至到成年后,肌肉卫星细胞激活增殖逐渐减少,直至处于静息状态。当肌肉受到损伤刺激后,肌肉卫星细胞就会激活、增殖和进一步分化为生肌细胞,互相融合形成多核性肌管或融入受损肌纤维(肌细胞)补充其丢失的区域。另一部分肌肉卫星细胞则保持或重返静息状态,为今后的修复再生提供来源。然而,肌肉卫星细胞数目和修复能力不是无限的。反复频发的肌肉损伤会导致肌肉卫星细胞储备数量的枯竭。

[0004] 众多肌肉损伤和疾病与肌肉卫星细胞失调有关。如先天性肌肉病变-杜氏肌营养不良症(Duchenne muscular dystrophy, DMD)是一种遗传性肌肉退化表现。每3500个新生男孩中即有一个出现DMD表现。症状为进行性肌肉无力和萎缩,至7-12岁丧失走路能力,20岁左右因心肺肌肉衰竭而死亡。在DMD进展过程中,持续的肌肉降解-再生循环造成肌肉卫星细胞过度使用直至枯竭,以致受损肌纤维不能得到继续修复。另外,人体衰老过程中亦伴随着骨骼肌肌力下降和重量减轻,即增龄性肌量减少症(Sarcopenia)。肌肉萎缩和肌力不稳易致老年人摔倒,引起骨折及其它并发症,从而进一步丧失自理能力和增加死亡率。

[0005] 研究发现,衰老过程中的细胞和外界环境变化可以降低肌肉卫星细胞激活能力以及下降步骤,新形成的肌纤维较细,对肌肉收缩活动的刺激更加脆弱。此外,肌肉卫星细胞失调还可见于多种失负荷性肌肉萎缩过程中,如失重、神经损伤、长期卧床、肢体制动等环境下。这种失负荷性肌肉萎缩伴随着严重的卫星细胞数量下降和增殖分化能力不足,导致萎缩的肌肉不能得到及时有效的修复。剧烈运动可引起肌肉撕裂或断裂,其修复过程亦依赖于卫星细胞的参与。如果卫星细胞不能及时形成新的肌纤维或对受损肌纤维进行补充,损伤部位就会被无收缩功能的疤痕组织(纤维组织)所替代,从而降低肌力和其它功能,最终导致运动员成绩下降。

[0006] 众多例子表明,肌肉卫星细胞失调与多种肌肉损伤和疾病过程密切相关。这就给临床防治肌肉损伤和疾病的研究提供了一个重要线索:促进卫星细胞数量和增殖分化能力具有防治多种肌肉损伤和疾病的良好前景。

[0007] 研究发现,电刺激治疗可以改变肌肉组织学特征和增强肌力。尤其在防治失负荷

性肌肉萎缩方面功效甚佳。更令人振奋的是,慢性低频电刺激治疗被发现可以提高老年大鼠和甲状腺功能低下的大鼠肌肉卫星细胞数量和增殖分化功能,但对其它环境下(如失负荷性肌肉萎缩)卫星细胞的作用尚不清楚。

[0008] 尽管临床上已经采用电刺激来预防和治疗多种肌肉病变,但是电刺激参数如频率从低频到中频不等、波形从方波到指数波波形各异、波宽不均、通断比不同、治疗时间长短甚异。虽然也有采用低频电刺激方法,但频率设置差别很大。电刺激对肌肉损伤修复的疗效取决于所选用的刺激参数。因此有必要对电刺激参数,尤其是刺激频率和刺激时间进行确定。

发明内容

[0009] 基于现有技术的不足,本发明所要解决的技术问题关键在于,通过一种电刺激系统在较低频率和较长时间的条件下,对受损性骨骼肌进行电刺激,达到改善肌细胞和肌肉卫星细胞数量及增值分化功能的目的。并提供一种采用该系统对受损性骨骼肌进行电刺激的方法及其装置。

[0010] 为了达到以上技术效果,本发明提供了一种电刺激方法、相关装置及系统,

[0011] 第一方面本发明提供了一种电刺激系统,包括:

[0012] 输出模块,获得低频率、长时间的电刺激参数,并传输给刺激模块;

[0013] 刺激模块,根据所述电刺激参数产生的电刺激信号,作用于骨骼肌,引起骨骼肌的收缩。

[0014] 输出模块获得预设定的电刺激参数,电刺激参数包括频率范围是 2Hz-20Hz,时间范围为 3 小时 / 天至 2×3 小时 / 天,电刺激参数还可以包括波形为不对称方波,脉冲宽度为 0.25ms,强度范围为 0.9V-1.2V,通断比为 1 : 2。

[0015] 本发明提供的电刺激系统进一步包括:

[0016] 反馈模块,根据骨骼肌的收缩,判断骨骼肌的病理情况,确定电刺激参数,并将所述电刺激参数发送至输出模块。

[0017] 第二方面本发明提供了一种电刺激的方法,包括以下步骤:

[0018] 通过输出模块获得低频率、长时间的电刺激参数,并传输给刺激模块;

[0019] 刺激模块,根据所述电刺激参数产生的电刺激信号,作用于骨骼肌,引起骨骼肌的收缩。

[0020] 本发明提供的电刺激的方法进一步包括以下步骤:

[0021] 反馈模块根据骨骼肌的收缩,判断骨骼肌的病理情况,调整电刺激参数,并将所述调整的电刺激参数反馈发送至输出模块。

[0022] 第三方面本发明提供一种电刺激的装置,包括:导电长筒袜,所述导电长筒袜中安装有电刺激系统,该电刺激系统包括,

[0023] 输出模块,获得电刺激参数,并传输给刺激模块,所述电刺激参数为低频率、长时间的电刺激参数;

[0024] 刺激模块,根据所述电刺激参数产生的电刺激信号,作用于骨骼肌;

[0025] 采用本发明实施例中的方案,因为电刺激方案中采用了低频率、长时间的电刺激,所以能够有效的改善肌细胞和肌肉卫星细胞数量及增值分化功能。从而提高骨骼肌再生的

能力。

附图说明

- [0026] 图 1 是实施例一的模块连接方框示意图。
[0027] 图 2 是实施例一的系统相对应的电刺激方法的流程示意图。
[0028] 图 3 是实施例二的模块连接方框示意图。
[0029] 图 4 是实施例二的系统相对应的电刺激方法的流程示意图。
[0030] 图 5 是实施例二的通断比示意图。
[0031] 图 6 是实施例二的波形示意图。
[0032] 图 7 是安装有本发明中所涉及的电刺激系统的导电长筒袜示意图。
[0033] 图 8 是本发明中实验的小鼠悬吊和电刺激部位的实物图。
[0034] 图 9 是图 8 中小鼠悬吊和电刺激部位的示意图。

具体实施方式

[0035] 下面结合附图及具体实施例详细介绍本发明,但本发明的保护范围并不局限于本实施例的范围之内。

[0036] 实施例一

[0037] 如图 1 所示,为本发明实施例中电刺激系统的模块连接方框示意图。其中,输出模块 1 获得预设定的电刺激参数,电刺激参数包括频率范围为 2Hz-20Hz,(例如频率可具体为:2Hz、3Hz、5Hz、10Hz、15Hz 等),时间范围为 3 小时 / 天-2×3 小时 / 天,(例如电刺激时间可具体为:每天刺激 1 次、每次 3 小时;或每天刺激 2 次、每次 2.5 小时;或每天刺激 1 次、每次 5 小时;或每天刺激 2 次、每次 2 小时等)电刺激参数还可以包括波形为不对称方波,脉冲宽度为 0.25ms,强度范围为 0.9V-1.2V(如具体为 1.1V),通断比为 1 : 2,并将该参数传输给刺激模块 2;

[0038] 刺激模块 2,根据所述电刺激参数产生的电刺激信号,作用于骨骼肌;骨骼肌在电刺激的作用下收缩。

[0039] 作为优选方式所选的预设定的电刺激参数包括:频率为 2Hz;输出时间为每天每次 3 小时,每天分别刺激 2 次;还可以包括脉宽为 0.25ms。

[0040] 本系统在物理结构中的构建包括,各模块外部独立包装,并且各模块在外部通过导线相互连接,也可以将各模块通过导线相互连接后,外部整体包装。本技术领域内各种不同的安装方式都可以适用于本发明。

[0041] 如图 2 所示,为与图 1 中的系统相对应的本发明实施例中的电刺激方法流程示意图。该方法包括:

[0042] 1、预设定参数

[0043] 流程 101 通过输出模块获得预设定的低频率、长时间的电刺激参数,并将该参数传输给刺激模块;

[0044] 2、刺激过程

[0045] 流程 102 的刺激模块根据所述电刺激参数产生电刺激信号,

[0046] 流程 103 将电刺激信号作用于骨骼肌,引起骨骼肌的收缩。

[0047] 采用本发明实施例中的方案,因为电刺激过程中采用了低频率、长时间的电刺激,电刺激能使神经肌肉收缩,延迟肌萎缩。肌肉收缩能改善肌肉血液循环、减轻水肿或失水的发生,抑制肌肉纤维化。给予适当的电刺激后,恢复速度加快。而且能够有效的改善肌细胞和肌肉卫星细胞数量及增值分化功能。从而提高骨骼肌再生的能力。

[0048] 实施例二

[0049] 如图 3 所示,为本发明另一个实施例中电刺激系统的模块连接方框示意图。预设电刺激参数给输出模块 1,输出模块 1 将获得预设定的电刺激参数传输给刺激模块 2,刺激模块 2 将电刺激信号作用于骨骼肌,引起骨骼肌的收缩,反馈模块 3 根据骨骼肌的收缩确定合适的电刺激参数并传输给输出模块 1,输出模块 1 再将获得的反馈电刺激参数传输给刺激模块 2,刺激模块 2 再将电刺激信号作用于骨骼肌,如此反复的循环过程。

[0050] 如图 4 所示,为与图 3 中的系统相对应的本发明实施例中的电刺激方法流程示意图。该方法包括:

[0051] 1、预设参数

[0052] 流程 301 通过输出模块获得预设定的低频率、长时间的电刺激参数,并将该参数传输给刺激模块;

[0053] 预设电刺激参数包括频率范围为 2Hz-20Hz(例如频率可具体为:3Hz、5Hz、10Hz、15Hz),时间范围为 3 小时/天-2 次×3 小时/天(例如电刺激时间可具体为:每天刺激 1 次、每次 3 小时;或每天刺激 2 次、每次 2.5 小时;或每天刺激 1 次、每次 5 小时;或每天刺激 2 次、每次 2 小时等),预设定的参数还可以包括波形为不对称方波,脉冲宽度为 0.25ms,强度范围为 0.9V-1.2V,通断比为 1:2。

[0054] 2、刺激过程

[0055] 流程 302 通过刺激模块根据所述电刺激参数产生电刺激信号。

[0056] 流程 303 将电刺激信号作用于骨骼肌,引起骨骼肌的收缩。

[0057] 3、反馈过程

[0058] 流程 304 通过骨骼肌的收缩,反馈模块 3 检测输出到肌肉的实际电流强度值,并与设置参数进行校正。保持肌肉接受到稳定的刺激,并将电刺激参数传输给输出模块 1。返回到流程 301,如此反复的循环过程。

[0059] 作为优选方式所述的电刺激参数:频率为 2Hz;输出时间为 2 次×3 小时/天;还可以包括波形为不对称方波,脉宽为 0.25ms;进一步包括通断比为 1:2。根据图 5 的通断比示意图,可以看出通断比为一个循环包括 1 秒启动,5 秒运行(肌肉收缩),10 秒停止(肌肉放松),由图 6 的波形示意图可以看出,该波形为不对称方波。

[0060] 具有反馈过程的方法能够更加准确的确定合适的电刺激参数作用于骨骼肌,进而在这种低频长时间的电刺激能够有效的预防失负荷肌肉的萎缩,改善卫星细胞数量和增值分化功能。

[0061] 实施例三

[0062] 根据图 7 为安装有本发明中所涉及的电刺激系统的导电长筒袜示意图,由图 7 可以看出,电刺激仪 4 为设置低频率、长时间电刺激参数的电刺激仪,导电长筒袜 5 根据不同的使用需要可以具有不同的尺寸大小,电刺激仪 4 内部设置有输出模块 1,刺激模块 2,本系统的物理构建可以是,各模块外部独立包装,并且各模块在外部通过导线相互连接,也可

以将各模块通过导线相互连接后,外部整体包装。本技术领域内的各种不同的安装方式都可以适用于本发明。

[0063] 另外本实施例电刺激仪 4 中还可以进一步包括反馈模块 3。

[0064] 作为优选方式所述的电刺激参数:频率为 2Hz;输出时间为每天每次电刺激时间为 3 小时,每天刺激的次数为 2 次;还可以包括脉宽为 0.25ms;进一步包括通断比为 1:2。

[0065] 采用本发明实施例中的电刺激装置,由于体积小、质量轻、可以随身携带、随时使用。由于可以制作成不同的尺寸满足于不同人的需求。

[0066] 采用本发明实施例中的方案,由于电刺激中采用了低频率、长时间的电刺激,而肌肉卫星细胞是小的单核梭形细胞,是源于胚胎中胚层的干细胞,在正常骨骼肌中,它位于基底膜与肌纤维浆膜之间,处于静止状态。当受到外界刺激,在应激状态下可以分裂、增生、形成新的肌纤维,是骨骼肌再生的储备力量。因此,可以有效的改善肌细胞和肌肉卫星细胞数量及增值分化功能。从而提高骨骼肌再生的能力。同时,具有反馈的功能,能够根据实际的需要智能的调节,更加有利于肌细胞和肌肉卫星细胞数量及增值分化。

[0067] 为了更进一步说明上述的有益效果,以具体实验及其结果进行进一步的证明。

[0068] 本发明中所描述的实验条件不在特别说明的情况下,均按照本领域内常规的实验条件进行。

[0069] 1. 小鼠悬吊和电刺激

[0070] 本实验中使用 Balb/c 小鼠,分为 7 组,其中正常对照组:小鼠自然喂养,四肢均着地,自由活动,例数为 4,实验时间为 14 天,不加电刺激。另外 6 组为实验组,每组例数为 8,实验时间为 14 天,第二组的电刺激频率为 2Hz,电刺激时间为 3 小时/天,第三组的电刺激频率为 2Hz,电刺激时间为每天刺激 2 次,每次 3 小时,共计 6 小时每天,第四组的电刺激频率为 10Hz,电刺激时间为 3 小时/天,第五组的电刺激频率为 10Hz,电刺激时间为每天刺激 2 次,每次 3 小时,共计每天 6 小时,第六组的电刺激频率为 20Hz,电刺激时间为 3 小时/天,第七组的电刺激频率为 20Hz,电刺激时间为每天刺激 2 次,每次 3 小时,共计 6 小时每天。(具体见表 1)

[0071] 表 1

[0072]

分组	例数	处理	时间	电刺激 频率	电刺激 时间
1	4	正常对照组	14 天	/	/
2	8	电刺激组 1	14 天	2Hz	3 小时/天
3	8	电刺激组 2	14 天	2Hz	2x3 小时/天
4	8	电刺激组 3	14 天	10Hz	3 小时/天
5	8	电刺激组 4	14 天	10Hz	2x3 小时/天

6	8	电刺激组 5	14 天	20Hz	3 小时 / 天
7	8	电刺激组 6	14 天	20Hz	2x3 小时 / 天

[0073] 实验小鼠接受后肢模拟失重处理。图 8 为本发明中实验的小鼠悬吊和电刺激部位的实物图,可以看出使用透气胶布贴在小鼠尾巴后 2/3 部分,再将胶布穿过一个可以旋转 360 度的吊环,此吊环通过一条可调节长度的带子悬挂于小鼠笼上方的金属杆上。通过这种方法,将小鼠尾巴吊起,使其后肢离开地面悬吊在空中,使小鼠身体与鼠笼底部保持 30 度角。被悬吊的小鼠可通过着地前肢在笼中自由活动和饮食。悬吊时间为 14 天。在悬吊期间,对小鼠的其中一条悬吊后肢 6 给予电刺激治疗。小鼠后肢 6 去毛消毒后,分别在大腿和小腿部位粘贴导电电极,通过导线 7 连接于电刺激仪。而对小鼠的另一条悬吊后肢则不给予电刺激,作为悬吊对照组。悬吊小鼠按照不同的电刺激参数分别分为 6 组,具体数据参数见表 1 中所示。图 9 是图 8 中小鼠悬吊和电刺激部位的示意图。其中 6 为实验组小鼠的悬吊后肢,7 为连接刺激电极与电刺激仪的导线。

[0074] 2. 检测指标

[0075] 小鼠悬吊和治疗 14 天后,在处死前 1 个小时腹腔注射 BrdU 监测细胞激活状态。小鼠处死后立即分离出完整的比目鱼肌和趾长伸肌,保留两端肌腱。称重后,一端肌腱固定在金属轴上,另一端肌腱固定在力学传感器上,肌肉持续给予生理液体和氧气灌流。测量离体肌肉在 100Hz 电流刺激下产生的最大肌力作为肌肉功能监测。肌力测试完毕后,立即将肌肉用液氮冷冻并包埋,制备肌肉组织横截面切片(6 μ m 厚)进行以下组织学检测:(1)H&E 染色:观察肌肉横截面大体形态,并计算平均肌纤维横截面积;(2)ATP 酶染色:观察不同肌纤维类型(快或慢肌)在肌肉横截面上的比例变化;(3)免疫组织化学染色:观察卫星细胞表面标志(M-cadherin)、激活增殖(BrdU 和 myoD)和分化标志蛋白(myogenin)表达的改变。

[0076] 3. 检测结果

[0077] 由检测结果的实验数据可知,实验小鼠的后肢悬吊 14 天后,实验悬吊组的比目鱼肌(慢肌)肌肉重量是 0.38 ± 0.02 mg/g 体重,肌力是 514.4 ± 26.3 mN/mm² 肌肉横截面积,而正常对照组的比目鱼肌(慢肌)肌肉重量是 0.58 ± 0.03 mg/g 体重,肌力是 732.9 ± 19.7 mN/mm² 肌肉横截面积,(均 $P < 0.05$)。由上述实验数据可知,实验悬吊组与对照组比较肌肉重量和肌力都有明显下降。

[0078] 实验悬吊组的平均肌纤维面积是 $1044.2 \pm 13.5 \mu\text{m}^2$,正常组的平均肌纤维面积是 $1309.3 \pm 65.9 \mu\text{m}^2$, (均 $P < 0.05$)。可以看出,实验悬吊组与对照组比较平均肌纤维面积显著缩小。

[0079] 实验悬吊组的慢肌纤维比例是 $36.8 \pm 3.0\%$,正常组慢肌纤维比例是 $51.7 \pm 1.4\%$, (均 $P < 0.05$) ,可以看出,实验悬吊组与对照组比较慢肌纤维比例明显降低,出现了由慢向快的肌纤维类型改变。

[0080] 实验悬吊组的比目鱼肌卫星细胞数量(M-cadherin 阳性染色细胞数)是 $5.3 \pm 0.2/1000$ 个肌纤维,正常组的比目鱼肌卫星细胞数量(M-cadherin 阳性染色细胞数)是 $12.7 \pm 0.8/1000$ 个肌纤维;实验悬吊组 BrdU 阳性染色细胞数是 $1.6 \pm 0.1/1000$ 个肌纤维,正常组 BrdU 阳性染色细胞数是 $3.2 \pm 0.1/1000$ 个肌纤维;实验悬吊组 myoD 阳性染色

细胞数是 $3.1 \pm 0.4/1000$ 个肌纤维, 正常组 myoD 阳性染色细胞数是 $6.2 \pm 0.5/1000$ 个肌纤维; 及实验悬吊组 myogenin 阳性染色细胞数是 $1.4 \pm 0.1/1000$ 个肌纤维, 正常组 myogenin 阳性染色细胞数是 $2.4 \pm 0.2/1000$ 个肌纤维, 由以上实验数据可以得出: 悬吊 14 天也可以使比目鱼肌卫星细胞数量 (M-cadherin 阳性染色细胞数) 和激活增殖分化能力 (BrdU 阳性染色细胞数, myoD 阳性染色细胞数和 myogenin 阳性染色细胞数) 显著下降 (除 myogenin 外均 $P < 0.05$)。以上改变在趾长伸肌 (快肌) 中表现不明显。

[0081] 使用不同参数的电刺激治疗均能不同程度地改善由模拟失重引起的肌力下降和肌肉组织学以及卫星细胞活性改变。但综合各种检测, 较低频率 (2Hz) 和较长时间 (每天两次, 每次 3 小时, 共 6 个小时) 的电刺激治疗无论在改善肌力方面, 还是在减轻肌纤维横截面积萎缩和纤维类型由慢向快的改变方面都获得了较其它刺激参数更好的作用。

[0082] 同样, 当刺激参数为 (2Hz, 2 次 / 天 \times 3 小时 / 天) 的电刺激条件下, 接受电刺激作用后的实验悬吊组 M-cadherin 阳性染色细胞数是 $11.2 \pm 0.9/1000$ 个肌纤维, 未接受电刺激作用的实验悬吊组 M-cadherin 阳性染色细胞数是 $5.3 \pm 0.2/1000$ 个肌纤维; 接受电刺激作用后的实验悬吊组 BrdU 阳性染色细胞数是 $2.3 \pm 0.2/1000$ 个肌纤维, 未接受电刺激作用的实验悬吊组 BrdU 阳性染色细胞数是 $1.6 \pm 0.1/1000$ 个肌纤维; 接受电刺激作用后的实验悬吊组 myoD 阳性染色细胞数是 $5.9 \pm 0.6/1000$ 个肌纤维, 未接受电刺激作用的实验悬吊组 myoD 阳性染色细胞数是 $3.1 \pm 0.4/1000$ 个肌纤维; 和接受电刺激作用后的实验悬吊组 myogenin 阳性染色细胞数是 $1.9 \pm 0.2/1000$ 个肌纤维, 未接受电刺激作用的实验悬吊组 myogenin 阳性染色细胞数是 $1.4 \pm 0.1/1000$ 个肌纤维, (均 $P < 0.05$), 由实验数据可以看出, 采用本发明中的电刺激系统的方法能够在对抗悬吊引起的肌肉卫星细胞数量 (M-cadherin 阳性染色细胞数) 和激活增殖分化能力 (BrdU, myoD 和 myogenin 阳性染色细胞数) 下降的方面获得很好的改善作用。

[0083] 通过上述实验证明, 采用本发明实施例中的方案, 在较低频率和较长时间的电刺激条件下可以改善肌细胞和卫星细胞数量及增殖分化能力, 并且其作用要优于现有技术中采用的较高频率和较短时间的电刺激。

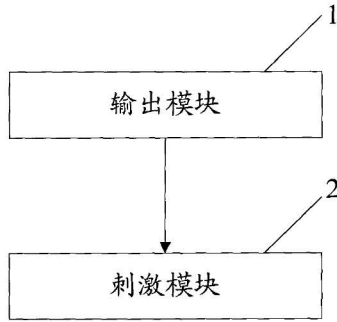


图 1

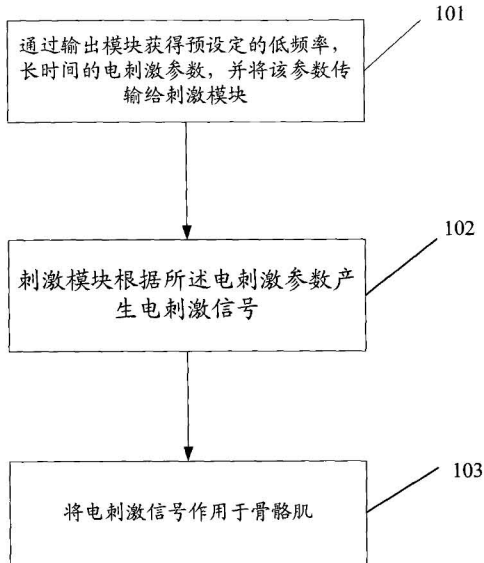


图 2

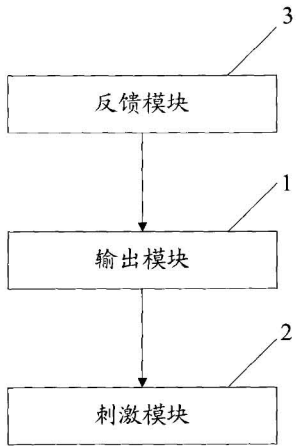


图 3

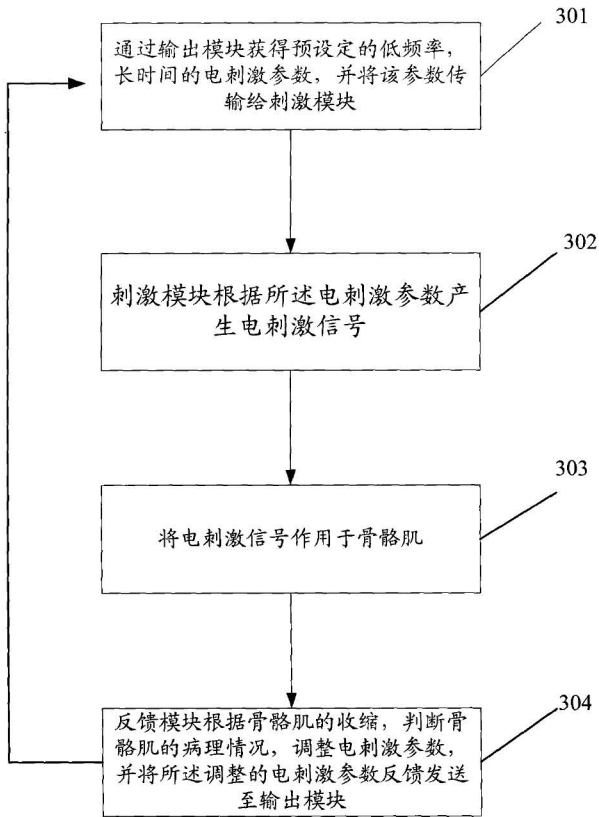


图 4

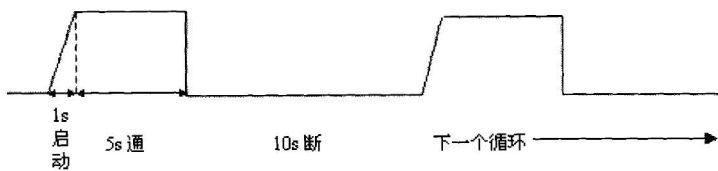


图 5

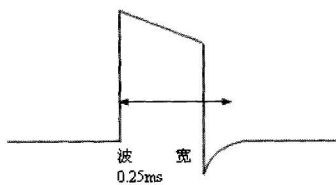


图 6

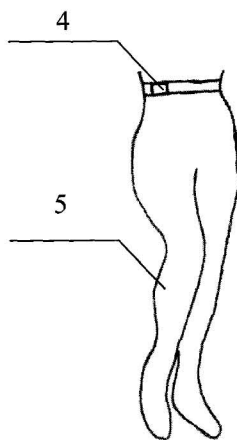


图 7

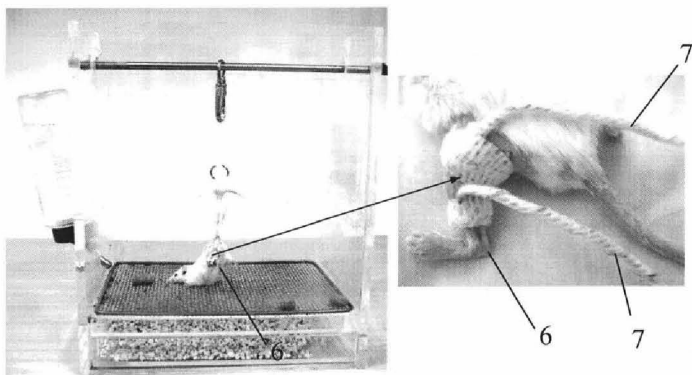


图 8

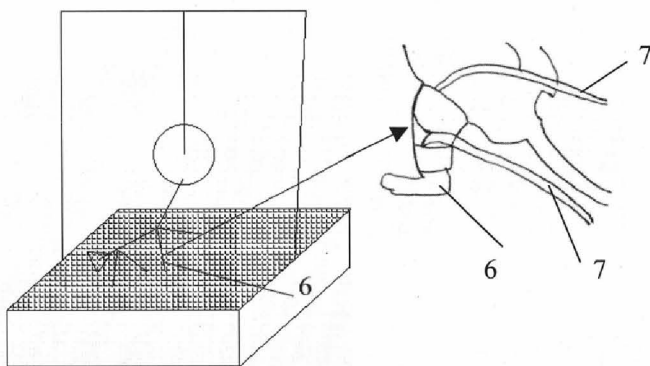


图 9