

# 水中运动训练治疗腰痛的研究进展\*

潘黎君<sup>1</sup> 彭梦思<sup>1</sup> 黄卫<sup>1</sup> 王雪强<sup>1,2,3</sup>

腰痛(low back pain, LBP)是成年人普遍存在的健康问题,常表现为腰背、腰骶和骶髂部的疼痛,有时伴有下肢放射痛,其一生的发病率达84%<sup>[1]</sup>。2017年国际权威期刊Lancet报道:随着社会节奏的加快,工作压力和生活工作环境的改变,腰痛的发病率从2006—2016年增加了18%<sup>[2]</sup>。国际上通常将腰痛分为2类:①特异性腰痛(specific low back pain, SLBP),是指某一特定的病因引起的腰痛,如腰椎间盘突出、骨折和肿瘤等;②非特异性腰痛(non-specific low back pain, NSLBP),是指找不到确切的组织病理学结构改变,又不能通过客观检查明确其病因的腰痛<sup>[3]</sup>,约占腰痛的85%,其中很多腰痛又转为慢性腰痛患者<sup>[4]</sup>。鉴于腰痛发病呈现严重化、年轻化和逐年增多的趋势,现已成为国际上日益关注并亟待解决的公共卫生问题。

药物治疗为LBP患者的主要治疗方案之一,但众多药物治疗产生的不良反应使其在临床应用中受到一定的限制<sup>[5]</sup>,目前运动训练(非药物治疗方式)成为治疗LBP的重要研究方向,且已被权威治疗指南所推荐<sup>[6-7]</sup>。近年来,水中运动训练应用于LBP的运动治疗在逐年增多,它可利用水的浮力减轻腰椎关节和肌肉的压迫,也可利用水的热传导性和温热效应来缓解紧张的腰腹部肌群,尤其适用于LBP较为严重的患者。故本文对水中运动训练在LBP人群中研究进展进行总结,以期为该技术在临床的进一步开展和推广提供参考。

## 1 LBP的水中运动训练常用技术

### 1.1 水中运动训练概述

水中运动训练是指在水的特殊环境下进行主动或被动运动训练,以改善或恢复受试者运动功能、感觉功能的训练方法,水中运动训练的水温一般控制在30—36℃<sup>[8]</sup>。作者于2018年9月以aquatic exercise(水中运动训练)和hydrotherapy(水疗)为标题词/摘要词检索Pubmed数据库,检索策略为,“aquatic exercise”[Title/Abstract] or hydrotherapy[Title/Abstract],共检索到1428篇相关文献,发现水中运动训练在

康复医学、运动医学等领域中的研究和应用在逐年增多,尤其是近5年发表篇幅增多。水中运动训练种类较多,根据动力来源可分为主动助力运动、主动运动、抗阻运动,根据运动形式可分为水中肌力训练、水中关节活动度训练、水中有氧训练、水中核心稳定训练等。

### 1.2 水中肌力训练

水中肌力训练适用于腰部肌力不足的LBP患者,尤其是腰腹部周围肌群肌力三级以下的患者。Baena-Beato等<sup>[9]</sup>募集60例LBP患者(平均年龄为50.6岁),对受试者进行8周的水中肌力训练,一周干预2—5次,室内泳池为25×6m,水深为140cm,水温为30℃。评价指标为疼痛程度评分,腰部Oswestry功能障碍指数,腹部肌耐力(采用卷腹次数评价腹部肌耐力)等,疼痛程度评分采用视觉模拟疼痛评分(visual analog scale, VAS)评估,腰部功能障碍指数采用Oswestry功能障碍指数评估,腹部肌耐力采用卷腹次数评价。干预8周后,结果发现水中运动训练可显著改善疼痛程度评分、腰部功能障碍指数和腹部肌耐力。另一项水中肌力训练改善LBP的临床对照试验<sup>[10]</sup>,纳入49例LBP患者,分为水中运动训练组和等待治疗组,水中运动训练组受试者接受水中肌力训练和水中有氧运动训练,每周干预5次,干预2个月。评价指标为VAS疼痛评分,腰部Oswestry功能障碍指数,生活质量、腹部肌耐力和坐姿体前弯等。结果发现,对比对照组,水中运动训练组可显著改善VAS疼痛评分,腰部Oswestry功能障碍指数,生活质量、腹部肌耐力和坐姿体前弯等评价指标。

### 1.3 水中关节活动度训练

水中关节活动度训练是指在水中利用各种方法为维持、恢复或增加关节活动度范围,以利于患者完成功能性活动。英国Keane<sup>[11]</sup>将29例LBP患者随机分为陆地牵伸训练(n=10)、水中牵伸训练(n=10)和对照组(n=9),每周干预2次,干预12周,对照组不进行规律的运动干预。评价指标为疼痛程度、腰部功能障碍量表和运动恐惧量表,干预12周后,结果发现水中牵伸训练在改善疼痛程度、腰部功能障碍和运动

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2019.07.020

\*基金项目:国家自然科学基金项目(81871844);教育部霍英东教育基金会资助项目(161092);上海市卫生和计划生育委员会临床专项(201840346);上海市人类运动能力开发与保障重点实验室项目(11DZ2261100);上海市教育发展基金会和上海市教育委员会曙光计划资助项目(18SG48);国家重点研发计划资助项目(2018YFC1314700)

1 上海体育学院,上海市,200438; 2 上海上体伤骨科医院; 3 通讯作者

作者简介:潘黎君,女,硕士研究生,讲师; 收稿日期:2018-10-12

恐惧方面优于陆地牵伸训练和对照组。另两项临床试验<sup>[12-13]</sup>同样表明水中关节活动度训练可显著改善LBP患者的疼痛程度、功能障碍。

#### 1.4 水中有氧训练

水中有氧训练是指受试者在水中进行大肌肉群,持续长时间的中等及以上的运动强度,常见的水中有氧训练为水中快走、水中跑步等。Cuesta-Vargas等<sup>[14]</sup>将58例NSLBP患者随机分为水中有氧训练组和常规治疗组,水中有氧训练组在2.15米深水池中,训练内容主要在深水中跑步训练,每周干预3次,连续四个月。评价指标为VAS疼痛评分,腰部功能障碍指数和生活质量(12-Item Short Form Survey, SF-12)。干预4个月后,对比常规治疗组,结果发现水中有氧训练可明显改善LBP患者的疼痛程度、腰部功能障碍和生活质量等。Irandoost K等<sup>[15]</sup>将32例老年SLBP患者随机分为水中有氧训练组和对照组,水中有氧训练组在1.2米水池中,水温控制在28—30℃,训练内容包含水中步行训练、水中慢跑训练和水中篮球或排球训练等,每周干预3次,连续12周,对照组不进行规律的运动干预。干预12周后,对比对照组,结果发现水中有氧训练可明显改善LBP患者的身体症状、体脂率和心理功能指标等。

#### 1.5 水中核心稳定训练

核心稳定训练是LBP患者最常用的运动疗法之一<sup>[6]</sup>,水中核心稳定训练是指在水中利用不稳定性因素对肌肉和神经的激活和刺激,达到提高核心稳定的目的。Bayraktar D等<sup>[16]</sup>将31例腰椎间盘突出症患者分为水中核心稳定训练组和陆地核心稳定训练组,水中核心稳定训练组在1.2m水池中,水温控制在28℃,在水中进行上肢的抗阻训练过渡到水中动态稳定性训练,训练由易到难,陆地核心稳定训练组采用健身球进行核心稳定训练,注意腰椎保持在中立位姿势的训练,每周干预3次,连续8周。评价指标为VAS疼痛评分,腰部功能障碍、躯干静态肌耐力和生活质量。干预8周后,结果发现水中核心稳定训练和陆地核心稳定训练可明显改善LBP患者的疼痛程度、腰部功能障碍和生活质量,同时提高躯干肌群的屈肌和伸肌耐力等。

## 2 水中运动训练对LBP患者的临床疗效

### 2.1 对LBP患者疼痛程度的影响

Shi Z<sup>[17]</sup>于2018年在Am J Phys Med Rehabil期刊发表了水中运动训练治疗LBP的meta分析,纳入8篇随机对照试验,涵盖331例LBP患者,水中运动训练方案为每周干预2—5次,每次30—80min,持续时间4—15周,结果显示:与对照组相比,水中运动训练可改善LBP患者的疼痛程度,且提高身体功能。Backhausen MG等<sup>[18]</sup>将516例具有LBP的孕妇(年龄18岁以上,怀孕单胎,孕周为16—17周)随机分为水中

运动训练组和常规治疗组,水中运动训练内容包主要分为三个部分,100m游泳热身、水中力量和有氧训练、100m游泳整理活动,每周干预2次,连续12周。评价指标为腰部疼痛程度评分。干预12周后,对比常规治疗组,结果发现水中运动训练可明显改善LBP患者的疼痛程度。

### 2.2 对LBP患者功能障碍的影响

Wasser JG等<sup>[19]</sup>于2017年在PM R期刊发表了水中运动训练治疗肥胖LBP人群的系统评价,总共纳入16篇临床试验,涵盖1351例肥胖LBP患者,水中运动训练方案为每周干预2—5次,每次30—60min,持续时间2—3个月,结果显示:与对照组相比,水中运动训练可改善肥胖LBP患者的功能障碍程度。Cuesta-Vargas等<sup>[20]</sup>将46例NSLBP患者随机分为水中跑步训练组和常规治疗组,两组均接受60min的手法治疗、疼痛宣教和运动训练等,水中跑步训练组额外接受20min的深水跑步训练,深水跑步训练在2m水池中,水温控制在27.5℃,且在物理治疗师监督下完成,深水跑步训练循序渐进、由易到难,每周干预3次,连续15周。评价指标为腰部功能障碍,采用Roland-Morris功能障碍量表评估。干预15周后,结果发现水中运动训练可显著改善LBP患者的功能障碍,但与常规物理治疗相比疗效没有显著性差异。

### 2.3 对LBP患者肌力的影响

Baena-Beato PA等<sup>[21]</sup>将54例LBP患者分为水中运动训练组1(每周2次)、水中运动训练组2(每周3次)和等待治疗组,水中运动训练组1(n=24)接受每周2次干预,连续8周;水中运动训练组2(n=24)接受每周3次干预,连续8周;等待治疗组(n=26)是指在研究期间不接受运动干预。水中运动训练在室内泳池,大小为25×6m,水深为140cm,水温为29±1℃。水中运动训练每次干预55—60min,在5年以上工作经历的物理治疗师监督下完成,每次水中运动训练包含10min的热身运动,15—20min的肌力训练,20—25min的有氧训练和10min的牵伸训练。评价指标为腹部肌耐力(卷腹次数)、骨骼肌质量和手部握力测试。干预8周后,对比等待治疗组,结果发现水中运动训练可显著改善LBP患者的腹部肌耐力和手部握力。Cuesta-Vargas等<sup>[20]</sup>将46例NSLBP患者随机分为水中跑步训练组和常规治疗组,结果发现水中跑步训练可显著改善LBP患者的腰部最大等长肌力。

### 2.4 对LBP患者关节活动度的影响

Nemcić T等<sup>[22]</sup>将72例慢性NSLBP患者(平均年龄为48.4岁)随机分为水中运动训练组和陆地运动训练组,两组均接受每周干预5次,连续3周,总共15次运动干预,两组均在物理治疗师监督下完成。水中运动训练在室内泳池,水温为36℃。水中运动训练和陆地运动训练均包含热身运动、上肢和下肢的关节活动度训练、躯干和四肢的牵伸训练、肌力训练及整理运动。关节活动度评价指标为站立位的躯干左

侧屈、右侧屈和前屈,记录受试者中指指尖到地面的距离(单位为mm)。干预3周后,结果发现水中运动训练可显著提高躯干左侧屈、右侧屈和前屈的关节活动度范围,但与陆地运动训练组的疗效没有显著性差异。另一项水中运动训练改善LBP的临床对照试验<sup>[10]</sup>,纳入49例慢性LBP患者,分为水中运动训练(水中肌力训练和有氧运动)和等待治疗组,关节活动度评价指标为坐姿体前弯。结果发现,对比对照组,水中运动训练组可显著改善LBP患者的躯干前屈活动范围。

### 3 水中运动训练治疗LBP的机制

#### 3.1 镇痛物质

众多研究表明水中运动训练(游泳运动)可促进大脑内啡肽、多巴胺、吗啡和阿片类受体等的分泌<sup>[23-26]</sup>,这些物质都具有镇痛作用。内啡肽是大脑分泌的类吗啡生物化学合成物激素,能与吗啡受体结合,具有止痛作用,也称为天然的镇痛剂。Ko IG等<sup>[27]</sup>将大鼠分为水中运动训练(游泳运动)组和非运动训练组,结果证实游泳运动上调多巴胺的表达。研究表明内啡肽等止痛物质的分泌和运动强度、运动时间有紧密的关系,目前普遍认为中等及以上强度的运动才能让大脑分泌出内啡肽等止痛物质<sup>[28-29]</sup>。Martins DF等<sup>[30]</sup>将神经病理性疼痛小鼠分为高强度游泳运动组和非运动训练组,结果证实游泳运动可通过阿片受体的作用,以达到减轻机械性疼痛。

#### 3.2 神经生长因子

神经生长因子能促进中枢和外周神经元的生长、发育、分化、成熟,维持神经系统的正常功能,加快神经系统损伤后的修复。近年有研究表明神经生长因子和LBP的病理改变有关系,LBP患者的神经生长因子会低于正常人群,而增加神经生长因子,腰痛症状会改善<sup>[31]</sup>。de Azambuja等<sup>[32]</sup>将LBP模型大鼠随机分为水中运动训练组和对照组,水中运动训练大鼠接受12天的游泳运动,训练强度循序渐进,每次运动30min,结果发现:对比对照组,水中运动训练可显著增加LBP模型大鼠的神经生长因子浓度,此外水中运动训练显著降低大鼠背角神经元过度兴奋,同时降低致敏神经元的静息活动。Almeida C等<sup>[33]</sup>将坐骨神经压迫所致神经病理性疼痛小鼠随机分为水中运动训练组和对照组,水中运动训练组的小鼠接受35d的游泳运动,训练强度循序渐进,每次运动时间从10min逐渐过渡到50min,结果发现:对比对照组,水中运动训练可显著改善小鼠疼痛程度,且增加背根神经节的神经生长因子、脑源性神经营养因子和神经胶质源神经营养因子。

#### 3.3 促炎细胞因子和抗炎细胞因子

众多研究表明促炎细胞因子和抗炎细胞因子水平对多种类型腰痛(椎间盘源性腰痛、坐骨神经慢性压迫腰痛和退变性腰痛)的形成和转归具有重要的调节作用<sup>[34-38]</sup>,各种类型的腰痛促炎细胞因子水平增高,而抗炎细胞因子水平降

低。目前有关运动训练(游泳运动或其他运动训练)与坐骨神经慢性压迫所致神经病理性痛(neuropathic pain, NP)的动物实验研究屡有报道,相关研究分别从不同层面进行机制探讨<sup>[39-42]</sup>:对比非运动训练组,游泳运动或其他运动训练组可显著降低坐骨神经损伤所致的NP疼痛行为,降低肿瘤坏死因子- $\alpha$ (tumor necrosis factor- $\alpha$ , TNF- $\alpha$ ),增加坐骨神经的胰岛素样生长因子水平。上述系列研究结果提示,游泳运动或其他运动训练可降低NP促炎细胞因子水平,如TNF- $\alpha$ 、白细胞介素-6和白细胞介素-1,增加抗炎细胞因子水平,如白细胞介素-10。

#### 3.4 血液循环

血液循环改善和血流速度加快会加强组织的营养代谢,同时会加速炎症因子代谢,进而达到减轻疼痛的作用。Paungmali A<sup>[43]</sup>将25例慢性NSLBP患者(平均年龄为33.3岁)随机分为核心稳定训练组和对照组,采用激光多普勒流速仪测量腰部血流量,结果发现核心稳定训练组可显著改善LBP患者的临床症状,且增加腰部血流量。Nakamura Y等<sup>[44]</sup>采用脑部单光子发射计算机断层成像术检测腰痛患者脑血流速度,结果发现慢性LBP患者双侧额叶血流速度明显减慢。Parfitt R等<sup>[45]</sup>证实对比陆地运动训练,水中运动训练显著提高了大脑中动脉的血流速度。

#### 3.5 肌肉激活

LBP患者的腰部周围肌群常表现为不同程度的肌肉萎缩,肌肉的萎缩导致腰痛症状进一步加重,进而形成慢性腰痛的恶性循环。腰部周围肌肉主要分为浅层核心肌群(例如竖脊肌、腹直肌、腹内外斜肌)和深层核心肌群(例如多裂肌和腹横肌),最新研究表明腰痛患者的疼痛程度与腰部功能障碍指数和肌肉力量呈现正相关<sup>[46]</sup>。Bressel E等<sup>[47-48]</sup>采用表面肌电图评估11例正常男性(平均年龄为25.7岁)躯干肌群的激活情况,证实水中运动训练更容易激活腹直肌、腹外斜肌、多裂肌、竖脊肌和下腹部肌群。

#### 3.6 姿势稳定能力

姿势稳定能力不仅需要主动亚系的肌肉与肌腱,还有被动亚系的骨骼与韧带,同时神经系统在维持腰椎的稳定也起着关键的作用。故腰部神经肌肉功能的缺失或降低将造成躯干稳定性以及动态控制能力的下降,进而影响腰椎稳定性,导致腰痛反复发作、腰痛症状加重<sup>[49-50]</sup>。da Silva RA等<sup>[51]</sup>对比慢性LBP患者和正常人群在姿势控制能力上的差异,结果发现慢性LBP患者姿势控制能力(压力中心包罗面积,单腿站立能力)显著差于正常人群。另一项研究也证实LBP患者存在姿势控制能力的下降<sup>[52]</sup>。Bayraktar D<sup>[16]</sup>将31例腰椎间盘突出症患者分为水中核心稳定训练组和陆地核心稳定训练组,训练时要求腰椎保持在中立位姿势的训练,结果发现水中核心稳定训练可改善LBP患者的疼痛程度、腰

部功能障碍和生活质量,同时通过提高躯干肌群的屈肌和伸肌耐力来稳定核心控制。

#### 4 水中运动训练治疗LBP的注意事项

上述众多研究表明水中运动训练对LBP有一定的治疗作用<sup>[17-22]</sup>,但在实际应用中,受试者进行水中运动训练时,需要注意以下事项<sup>[53-54]</sup>:①个体化原则:首先,物理治疗师应根据LBP患者的年龄、性别、冷热水的习惯、疼痛程度、腰部功能障碍情况等,制定近期、中期和远期康复目标,然后选择适宜的运动形式、运动强度、运动时间;②水温:体温与水温存在较大差异时,会对机体产生一定的刺激。若条件许可,水温可控制27—35℃,尽量减少温度对机体产生的影响,如血压、脉搏等;③水深:水中运动时,浮力随着身体侵入水中的深度加大而增大,故在设计水中运动时需充分考虑水的深度对训练动作难易程度的影响。一般情况下,受试者在水中运动时,胸前区应露出水面,以减轻水静压对心肺功能的影响;④热身和整理运动:运动前热身和运动后的整理活动是水中运动训练的重要组成部分,主要作用是避免运动损伤以及迟发性肌肉酸痛的发生;⑤不良反应:受试者进行水中运动训练时出现头晕、心慌、恶心、呕吐以及水过敏等不良反应时,应立即停止水中运动训练;⑥密切观察:对于腰痛症状较重者、年老体弱、儿童或特殊情况的受试者,水中运动训练时应密切观察,注意安全;⑦禁忌证:严重心肺功能不全、活动性结核、创面未愈合、高热、呼吸道感染、女性月经期等不宜进行水中运动训练。

#### 5 小结

水中运动训练治疗腰痛是一种行之有效的运动训练方法。它可通过提高神经生长因子、降低促炎细胞因子水平、分泌镇痛物质,以及提高腰痛患者的肌肉力量与耐力、增强核心稳定能力,进而改善LBP患者的临床症状。尽管研究表明水中运动训练可改善LBP患者的疼痛程度和功能障碍等,但治疗效果可能会受到水中运动形式、运动强度和运动时间等因素的影响。目前国际上水中运动训练改善腰痛的临床证据级别不高,国内水中运动训练治疗腰痛的证据匮乏。因此,在将来的研究中,不仅需要对水中运动训练改善腰痛患者的作用机制进行进一步探索,还需要确定最佳的水中运动训练参数。

#### 参考文献

- [1] Maher C, Underwood M, Buchbinder R. Non-specific low back pain[J]. *Lancet*, 2017, 389(10070):736—747.
- [2] GBD 2016 Disease and Injury Incidence and Prevalence Collaborators. Global, regional, and national incidence, prevalence,

- and years lived with disability for 328 diseases and injuries for 195 countries, 1990-2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016[J]. *Lancet*, 2017, 390(10100):1211—1259.
- [3] Violante FS, Mattioli S, Bonfiglioli R. Low-back pain[J]. *Handb Clin Neurol*, 2015, 131:397—410.
- [4] Shah SG, Kage V. Effect of seven sessions of posterior-to-anterior spinal mobilisation versus prone press-ups in non-specific low back pain - randomized clinical trial[J]. *J Clin Diagn Res*, 2016, 10(3):YC10—3.
- [5] Pinto RZ, Verwoerd AJH, Koes BW. Which pain medications are effective for sciatica (radicular leg pain) [J]? *BMJ*, 2017, 359: j4248.
- [6] 王雪强,陈佩杰. 腰痛常见不良姿势及其运动疗法[J]. *中国疼痛医学杂志*, 2014, 20(10): 748—751.
- [7] Bernstein IA, Malik Q, Carville S, Ward S. Low back pain and sciatica: summary of NICE guidance[J]. *BMJ*, 2017, 356: i6748.
- [8] Franco MR, Morelhão PK, de Carvalho A, et al. Aquatic exercise for the treatment of hip and knee osteoarthritis[J]. *Phys Ther*, 2017, 97(7):693—697.
- [9] Baena-Beato PÁ, Delgado-Fernández M, Artero EG, et al. Disability predictors in chronic low back pain after aquatic exercise[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2014, 93(7):615—623.
- [10] Baena-Beato PÁ, Artero EG, Arroyo-Morales M, et al. Aquatic therapy improves pain, disability, quality of life, body composition and fitness in sedentary adults with chronic low back pain. A controlled clinical trial[J]. *Clin Rehabil*, 2014, 28(4):350—360.
- [11] Keane LG. Comparing aqua stretch with supervised land based stretching for chronic lower back pain[J]. *J Bodyw Mov Ther*, 2017, 21(2):297—305.
- [12] Sugano A, Nomura T. Influence of water exercise and land stretching on salivary cortisol concentrations and anxiety in chronic low back pain patients[J]. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci*, 2000, 19(4):175—180.
- [13] Ariyoshi M1, Sonoda K, Nagata K, et al. Efficacy of aquatic exercises for patients with low-back pain[J]. *Kurume Med J*, 1999, 46(2):91—96.
- [14] Cuesta-Vargas AI, Adams N, Salazar JA, et al. Deep water running and general practice in primary care for non-specific low back pain versus general practice alone: randomized controlled trial[J]. *Clin Rheumatol*, 2012, 31(7):1073—1078.
- [15] Irandoust K, Taheri M. The effects of aquatic exercise on body composition and nonspecific low back pain in elderly males[J]. *J Phys Ther Sci*, 2015, 27(2):433—435.
- [16] Bayraktar D, Guclu-Gunduz A, Lambeck J, et al. A com-

- parison of water-based and land-based core stability exercises in patients with lumbar disc herniation: a pilot study[J]. *Disabil Rehabil*, 2016, 38(12):1163—1171.
- [17] Shi Z, Zhou H, Lu L, et al. Aquatic exercises in the treatment of low back pain: a systematic review of the literature and meta-analysis of eight studies[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2018, 97(2):116—122.
- [18] Backhausen MG, Tabor A, Albert H, et al. The effects of an unsupervised water exercise program on low back pain and sick leave among healthy pregnant women - A randomised controlled trial[J]. *PLoS One*, 2017, 12(9): e0182114.
- [19] Wasser JG, Vasilopoulos T, Zdziarski LA, et al. Exercise benefits for chronic low back pain in overweight and obese individuals[J]. *PM R*, 2017, 9(2):181—192.
- [20] Cuesta-Vargas AI, García-Romero JC, Arroyo-Morales M, et al. Exercise, manual therapy, and education with or without high-intensity deep-water running for nonspecific chronic low back pain: a pragmatic randomized controlled trial [J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2011, 90(7):526—534.
- [21] Baena-Beato PA, Arroyo-Morales M, Delgado-Fernández M, et al. Effects of different frequencies (2-3 days/week) of aquatic therapy program in adults with chronic low back pain. A non-randomized comparison trial[J]. *Pain Med*, 2013, 14(1):145—158.
- [22] Nemčić T, Budisin V, Vrabec-Matković D, et al. Comparison of the effects of land-based and water-based therapeutic exercises on the range of motion and physical disability in patients with chronic low-back pain: single-blinded randomized study[J]. *Acta Clin Croat*, 2013, 52(3):321—327.
- [23] Abad AT, Miladi-Gorji H, Bigdeli I. Effects of swimming exercise on morphine-induced reward and behavioral sensitization in maternally-separated rat pups in the conditioned place preference procedure[J]. *Neurosci Lett*, 2016, 631:79—84.
- [24] Fadaei A, Gorji HM, Hosseini SM. Swimming reduces the severity of physical and psychological dependence and voluntary morphine consumption in morphine dependent rats [J]. *Eur J Pharmacol*, 2015, 747:88—95.
- [25] Martins DF, Siteneski A, Ludtke DD, et al. High-intensity swimming exercise decreases glutamate-induced nociception by activation of G-protein-coupled receptors inhibiting phosphorylated protein kinase A[J]. *Mol Neurobiol*, 2017, 54(7): 5620—5631.
- [26] Torabi M, Pooriamehr A, Bigdeli I, et al. Maternal swimming exercise during pregnancy attenuates anxiety/depressive-like behaviors and voluntary morphine consumption in the pubertal male and female rat offspring born from morphine dependent mothers[J]. *Neurosci Lett*, 2017, 659:110—114.
- [27] Ko IG, Kim SE, Kim TW, et al. Swimming exercise alleviates the symptoms of attention-deficit hyperactivity disorder in spontaneous hypertensive rats[J]. *Mol Med Rep*, 2013, 8 (2):393—400.
- [28] Ghodrati-Jaldbakhan S, Ahmadalipour A, Rashidy-Pour A, et al. Low- and high-intensity treadmill exercise attenuates chronic morphine-induced anxiogenesis and memory impairment but not reductions in hippocampal BDNF in female rats[J]. *Brain Res*, 2017, 1663:20—28.
- [29] Chen W, Wang HJ, Shang NN, et al. Moderate intensity treadmill exercise alters food preference via dopaminergic plasticity of ventral tegmental area-nucleus accumbens in obese mice[J]. *Neurosci Lett*, 2017, 641:56—61.
- [30] Martins DF, Mazzardo-Martins L, Soldi F, et al. High-intensity swimming exercise reduces neuropathic pain in an animal model of complex regional pain syndrome type I: evidence for a role of the adenosinergic system[J]. *Neuroscience*, 2013, 234:69—76.
- [31] Leite VF, Buehler AM, El Abd O, et al. Anti-nerve growth factor in the treatment of low back pain and radiculopathy: a systematic review and a meta-analysis[J]. *Pain Physician*, 2014, 17(1):E45—60.
- [32] de Azambuja G, Hortscht U, Hoheisel U, et al. Short-term swimming exercise attenuates the sensitization of dorsal horn neurons in rats with NGF-induced low back pain[J]. *Eur J Pain*, 2018, 22(8):1409—1418.
- [33] Almeida C, DeMaman A, Kusuda R, et al. Exercise therapy normalizes BDNF upregulation and glial hyperactivity in a mouse model of neuropathic pain[J]. *Pain*, 2015, 156 (3):504—513.
- [34] Jin GL, Yue RC, He SD, et al. Koumine decreases astrocyte-mediated neuroinflammation and enhances autophagy, contributing to neuropathic pain from chronic constriction injury in rats[J]. *Front Pharmacol*, 2018, 9:989.
- [35] Magar S, Nayak D, Mahajan UB, et al. Ultra-diluted toxicodendron pubescens attenuates pro-inflammatory cytokines and ROS-mediated neuropathic pain in rats[J]. *Sci Rep*, 2018, 8(1):13562.
- [36] Zheng Y, Liu C, Ni L, et al. Cell type-specific effects of Notch signaling activation on intervertebral discs: Implications for intervertebral disc degeneration[J]. *J Cell Physiol*, 2018, 233(7):5431—5440.
- [37] Krupkova O, Sadowska A, Kameda T, et al. p38 MAPK facilitates crosstalk between endoplasmic reticulum stress

- and IL-6 release in the intervertebral disc[J]. *Front Immunol*, 2018, 9:1706.
- [38] Krock E, Millecamps M, Currie JB, et al. Low back pain and disc degeneration are decreased following chronic toll-like receptor 4 inhibition in a mouse model[J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2018, 26(9):1236—1246.
- [39] Chen YW, Li YT, Chen YC, et al. Exercise training attenuates neuropathic pain and cytokine expression after chronic constriction injury of rat sciatic nerve[J]. *Anesth Analg*, 2012, 114(6):1330—1337.
- [40] Kami K, Tajima F, Senba E. Exercise-induced hypoalgesia: potential mechanisms in animal models of neuropathic pain[J]. *Anat Sci Int*, 2017, 92(1):79—90.
- [41] Huang PC, Tsai KL, Chen YW, et al. Exercise combined with ultrasound attenuates neuropathic pain in rats associated with downregulation of IL-6 and TNF- $\alpha$ , but with upregulation of IL-10[J]. *Anesth Analg*, 2017, 124(6):2038—2044.
- [42] Safakhah HA, Moradi Kor N, Bazargani A, et al. Forced exercise attenuates neuropathic pain in chronic constriction injury of male rat: an investigation of oxidative stress and inflammation[J]. *J Pain Res*, 2017, 10:1457—1466.
- [43] Paungmali A, Henry LJ, Silitertpisan P, et al. Improvements in tissue blood flow and lumbopelvic stability after lumbopelvic core stabilization training in patients with chronic non-specific low back pain[J]. *J Phys Ther Sci*, 2016, 28(2):635—40.
- [44] Nakamura Y, Nojiri K, Yoshihara H, et al. Significant differences of brain blood flow in patients with chronic low back pain and acute low back pain detected by brain SPECT[J]. *J Orthop Sci*, 2014, 19(3):384—389.
- [45] Parfitt R, Hensman MY, Lucas SJE. Cerebral blood flow responses to aquatic treadmill exercise[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2017, 49(7):1305—1312.
- [46] Hu H, Zheng Y, Wang X, et al. Correlations between lumbar neuromuscular function and pain, lumbar disability in patients with nonspecific low back pain: A cross-sectional study[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2017, 96(36):e7991.
- [47] Bressel E, Dolny DG, Vandenberg C, et al. Trunk muscle activity during spine stabilization exercises performed in a pool[J]. *Phys Ther Sport*, 2012, 13(2):67—72.
- [48] Bressel E, Dolny DG, Gibbons M. Trunk muscle activity during exercises performed on land and in water[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2011, 43(10):1927—1932.
- [49] You JH, Kim SY, Oh DW, et al. The effect of a novel core stabilization technique on managing patients with chronic low back pain: a randomized, controlled, experimenter-blinded study[J]. *Clin Rehabil*, 2014, 28(5):460—469.
- [50] Joyce AA, Kotler DH. Core Training in low back disorders: role of the pilates method[J]. *Curr Sports Med Rep*, 2017, 16(3):156—161.
- [51] da Silva RA, Vieira ER, Fernandes KBP, et al. People with chronic low back pain have poorer balance than controls in challenging tasks[J]. *Disabil Rehabil*, 2018, 40(11):1294—1300.
- [52] Shigaki L, Vieira ER, de Oliveira Gil AW, et al. Effects of holding an external load on the standing balance of older and younger adults with and without chronic low back pain[J]. *J Manipulative Physiol Ther*, 2017, 40(4):284—292.
- [53] King MR. Principles and application of hydrotherapy for equine athletes[J]. *Vet Clin North Am Equine Pract*, 2016, 32(1):115—126.
- [54] Soultanakis HN. Aquatic exercise and thermoregulation in pregnancy[J]. *Clin Obstet Gynecol*, 2016, 59(3):576—590.