

·临床研究·

维持性血液透析患者的步态特征及其影响因素*

孔雨柔^{1,2} 刘 林^{1,2} 焦 乐^{1,2} 李汶汶² 林 枫^{2,3} 江钟立^{2,3,4}

摘要

目的:探讨维持性血液透析(maintenance hemodialysis, MHD)患者的步态特征及其可能的影响因素,为临床制定针对性康复治疗方

方法:本研究招募了MHD患者19例和健康志愿者21例,MHD患者于透析日和非透析日各行一次步行测试,健康对照组则随机进行一次步行测试。使用无线APDM运动监测惯性传感器系统采集步态时空参数(步速、步幅、首次触地角、足趾离地角、步频、步态周期),采用慢性病治疗功能评估-疲劳量表(the functional assessment of chronic illness therapy-fatigue, FACIT-F)评估MHD患者最近一周的疲劳程度。

结果:MHD患者透析日和非透析日的步速、步幅、足趾离地角均显著小于对照组($P<0.05$),且均与FACIT-F得分显著正相关($P<0.05$)。在透析日,MHD患者的步频显著小于对照组($P<0.05$),步态周期则显著大于对照组($P<0.05$)。在MHD患者中,透析日的步速、步幅和足趾离地角均显著小于非透析日($P<0.05$)。

结论:MHD患者存在步态参数异常,血透后步态参数的异常较血透前更显著。慢性疲劳状态可能是MHD患者步态参数异常的影响因素。

关键词 维持性血液透析;跌倒;步态分析;足趾离地角;疲劳

中图分类号:R492,R459 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-1242(2021)-07-0816-06

The characteristics and influencing factors of gait in maintenance hemodialysis patients/KONG Yurou, LIU Lin, JIAO Le, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2021, 36(7): 816—821

Abstract

Objective: To explore the characteristics and influencing factors of gait in maintenance hemodialysis (MHD) patients, and to provide reference for clinical development of rehabilitation treatments to prevent falls.

Method: Nineteen MHD patients and twenty-one healthy volunteers were recruited in the study. In MHD patients, walking test was performed twice — once on a dialysis day and once on a non-dialysis day, and healthy controls randomly conducted a walking test. Gait spatiotemporal parameters (gait speed, stride length, initial contact angle, toe-off angle, cadence, and gait cycle duration) were collected using a wireless APDM movement monitoring inertial sensor system, and the fatigue degree of MHD patients were evaluated using the functional assessment of chronic illness therapy-fatigue (FACIT-F).

Result: The gait speed, stride length and toe-off angle of MHD patients on a dialysis day and a non-dialysis day were significantly lower than control group ($P<0.05$), and were significantly positively correlated with FACIT-F score ($P<0.05$). The cadence of MHD patients was significantly lower than control group ($P<0.05$), and the gait cycle duration was significantly higher than control group ($P<0.05$) on a dialysis day. In MHD patients, gait speed, stride length and toe-off angle on a dialysis day were significantly smaller than on a non-dialysis day ($P<0.05$).

Conclusion: MHD patients present with gait disorders, and gait impairment after hemodialysis was more signif-

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2021.07.009

*基金项目:南京医科大学附属逸夫医院院内临床重点科室建设专项(YFZDXK02-7)

1 南京医科大学第一临床医学院,江苏南京,210029; 2 南京医科大学附属逸夫医院; 3 南京医科大学第一附属医院; 4 通讯作者
第一作者简介:孔雨柔,女,硕士研究生; 收稿日期:2020-11-16

icant than before hemodialysis. Chronic fatigue could be the factors leading to gait disorders in MHD patients.

Author's address The First Affiliated Hospital with Nanjing Medical University, Nanjing, 210029

Key word maintenance hemodialysis; falls; gait analysis; toe-off angle; fatigue

终末期肾病(end-stage renal disease, ESRD)是指各种肾脏病发展到终末阶段,肾脏无法充分清除体内代谢废物和多余液体,必须进行肾脏替代治疗以维持生命。据2008年中国医师协会调查结果显示,我国ESRD的年患病率为79.1/百万人口,年发病率为36.1/百万人口,且ESRD的发病率在中国乃至全球呈持续增长^[1]。常见的肾脏替代疗法包括血液透析、腹膜透析和肾脏移植。其中血液透析的安全性和有效率较高,是ESRD患者最常用的肾脏替代疗法^[2]。我国约有93%的ESRD患者接受维持性血液透析治疗^[3]。随着临床技术的发展,维持性血液透析(maintenance hemodialysis, MHD)可有效延长ESRD患者的生存时间,但血液透析只能清除患者体内各类水溶性小分子物质,透析并不能完全替代肾脏的功能,患者的病情仍呈持续进展状态^[4]。随着体内毒素的累积、多种代谢紊乱、持续炎症状态等,患者的生理功能逐步下降,运动功能受损^[5]。慢性肾病相关并发症,如周围/自主神经病变、肾性贫血、肾性骨病等,亦会损害MHD患者运动功能,增加跌倒风险^[6]。据报道,MHD患者跌倒的发生率为1.18—1.60次/年,是社区健康人群的2倍^[7],并且透析日的跌倒发生率(73%)比非透析日(27%)更高^[8]。跌倒易导致骨折,MHD患者跌倒后骨折的发生率近20%^[7]。骨折影响患者透析,降低患者生活质量,严重可致其死亡,并给家庭和社会带来巨大的经济负担。同时,MHD患者跌倒及害怕跌倒的恐惧心理导致其日常活动及外出减少,这易引起肌肉力量、协调性和平衡功能下降,进一步导致运动功能受损、跌倒风险增加^[7]。据报道,跌倒导致MHD患者死亡风险增加2.13倍,住院次数和住院持续时间增加近2倍^[9]。分析及干预MHD患者跌倒的危险因素,以降低跌倒发生率,可改善患者生活质量,降低死亡风险,减轻社会负担。本研究通过步态分析设备获取MHD患者在透析日及非透析日的步态参数,并与年龄和性别相匹配的健康人进行对比,分析MHD患者的步态特征及其可能的影响因素,为临床采取针对性的康复干预措施预防跌倒提供参考依据。

1 对象与方法

1.1 研究对象

本研究招募了2020年9—10月在南京医科大学附属逸夫医院行MHD治疗的患者19例,分别于患者透析日(血液透析结束,患者休息10—15min后)和非透析日(血液透析次日,并距离上一次血液透析间隔22—26h,排除血液透析治疗的影响)进行两次步行测试^[10],分为MHD透析日组和MHD非透析日组。对照组21例募集来自社区年龄性别相匹配的健康志愿者,对照组受试者随机进行一次步行测试。

MHD患者纳入标准:①年龄≥18岁;②接受维持性血液透析≥3个月,且透析频率≥3次/周;③可独立行走。

MHD患者排除标准:①合并任何影响步行功能的神经或肌肉骨骼系统疾病;②严重的认知功能障碍,如痴呆;③过去一年中心绞痛、心肌梗死或心脏病手术病史者。

对照组受试者排除标准:①神经系统或肌肉骨骼系统疾病;②心血管或肺部疾病;③糖尿病或高血压病;④过去一年中发生过肌肉骨骼损伤。本研究已获得南京医科大学附属逸夫医院伦理审查委员会批准(编号:2020-SR-007),所有受试者均在测试前签署了书面知情同意书。

1.2 研究方法

1.2.1 一般资料采集和问卷调查:采集受试者的一般资料,包括年龄、性别、身高、干体重、体质指数(body mass index, BMI)、透析时间、肾病类型、血钙(calcium, Ca)、血磷(phosphorus, P)、血浆渗透压(plasma osmotic pressure, POP)。

采用慢性病治疗功能评估-疲劳量表(the functional assessment of chronic illness therapy-fatigue, FACIT-F)评估MHD患者步行测试前一周的疲劳程度及其对认知、生理、心理、社会交往方面的影响,该量表包含13个条目,0—4分5个等级,总分52分,分数越高,表明患者的疲劳程度越低。既往研究表明,中文版FACIT-F量表在我国MHD患者中的应用具有良好的信效度^[11]。

1.2.2 步行测试:使用无线 APDM 运动监测惯性传感器系统(APDM 股份有限公司,波特兰,美国)进行步态分析。该设备包含以下组件:①六个可穿戴的无线惯性传感器;②一个用于无线数据传输的接入点;③一个用于采集、储存步态参数数据的移动实验室软件包。

测试开始前,需先同步 6 个惯性传感器,然后通过弹性尼龙搭扣将 6 个同步传感器固定于受试者身上,分别为胸部(胸骨柄处)、腰部(第 5 腰椎棘突处, L5)、双腕背面(桡骨粗隆水平)、双脚背面(第三跖趾关节近端处)。主要选取步速(m/s)、步幅(m)、首次触地角(°)、足趾离地角(°)、步频(步数/min)、步态周期(s)6 个步态参数进行分析。其中首次触地角(initial contact angle, ICA)是指左/右足跟首次触地时,脚与地面之间的角度;足趾离地角(toe-off angle, TOA)是指双支撑相终末期、左/右脚即将离开地面时,脚与地面之间的角度。

步行测试时,受试者被要求穿着舒适宽松的衣物和合脚的鞋子,如运动鞋或休闲鞋。测试开始前,由一名专业研究员进行口头指导和动作演示:①双脚分开站立于起点处(用间隔块使所有受试者双脚分开固定距离),手臂自然置于身体两侧;②当听到“嘟”长音时,开始以自然舒适的步伐行走;③当听到第二声“嘟”长音时,停止行走。在受试者进行 30s 的熟悉练习后,测试正式开始。受试者以自然舒适的步伐(受试者自行选择的自然速度)在一条 7m 长的走道上来回行走 2min(用彩色胶带标记走道开始和结束的位置)。测试期间,步态分析设备自动采集受试者的步态时空参数,以供进一步分析。步态分析设备的所有操作由一名专业研究员负责,另一名研究员负责保护受试者在测试过程中的安全。

1.3 统计学分析

使用 SPSS 25.0 统计软件进行统计分析,计量资料采用均数±标准差表示,计数资料采用例数(百分比)表示。计算组内相关系数(ICC),评估左右下肢步态参数的一致性程度。

为了消除身高对步态参数的混杂影响,按照 Schwesig R 等^[12]的方法,对不同性别的步速、步幅、步频分别进行标准化处理:标准化步速=步速/sqrt(身高/平均身高);标准化步幅=步幅/(身高/平均身

高);标准化步频=步频×sqrt(身高/平均身高)。

人口学参数统计中,分类变量(即性别)进行 χ^2 检验,连续变量进行独立样本 t 检验。各组间步态参数分析时,对照组分别与 MHD 透析日组和 MHD 非透析日组采用独立样本 t 检验,MHD 透析日组和 MHD 非透析日组间采用配对样本 t 检验。疲劳程度与 MHD 透析日组和 MHD 非透析日组步态参数之间采用 Pearson 相关分析。统计分析均以 $P<0.05$ 为差异具有显著性意义。

2 结果

2.1 一般资料

MHD 组和对照组的一般资料见表 1,两组受试者的年龄、性别、身高、体重、BMI 均无显著差异。

2.2 步态参数比较

左右下肢步态参数的一致性评估结果见表 2,对照组、MHD 透析日组、MHD 非透析日组的左右下肢步态参数的 ICC 均较高(ICC>0.6)。因此对组内左右下肢步态参数数据进行平均,并用于进一步分析。各组间步态参数对比分析结果如表 3 所示,MHD 患者透析日和非透析日的标准化步速、标准化步幅、足趾离地角均显著小于对照组($P<0.05$),而 MHD 患者透析日的标准化步频显著小于对照组($P<0.05$),步态周期显著大于对照组($P<0.05$)。MHD 患者在透析日的标准化步速、标准化步幅、足趾离地角

表 1 对照组和 MHD 组一般资料

项目	对照组 (n=21)	MHD 组 (n=19)	t/χ^2	P 值
年龄(年)	58.68±13.15	58.21±12.71	0.144	>0.05
性别			0.025	0.873
男	15(71.4)	14(73.7)		
女	6(28.6)	5(26.3)		
身高(cm)	164.91±5.87	166.74±7.79	-0.956	>0.05
体重(kg)	64.61±10.26	63.38±10.44	0.462	>0.05
BMI	23.69±3.14	22.69±2.57	1.450	>0.05
透析时间(年)	NA	6.06±8.10		
肾病类型				
肾小球肾炎	NA	3(15.8)		
高血压肾病	NA	5(26.3)		
糖尿病肾病	NA	2(10.5)		
其他	NA	9(47.4)		
Ca(mmol/L)	NA	2.14±0.14		
P(mmol/L)	NA	2.14±0.47		
POP(mmol/L)	NA	282.70±7.80		

MHD:维持性血液透析;BMI:身体质量指数;NA:不适用;Ca(血钙)正常参考值 2.11—2.52mmol/L;P(血磷)正常参考值:0.85—1.51mmol/L;POP(血浆渗透压)正常参考值:280—310mmol/L

均显著小于MHD患者非透析日($P<0.05$)。

2.3 MHD患者FACIT-F得分与其步态参数相关性

MHD患者FACIT-F平均得分 38.89 ± 4.41 分,与其透析日和非透析日步态参数的相关分析结果见表4。透析日和非透析日的标准化步速、标准化步幅、足趾离地角三项步态参数均与FACIT-F得分显著正相关($P<0.05$)。

表2 左右下肢步态参数的一致性

步态参数	对照组		MHD透析日组		MHD非透析日组	
	ICC	P值	ICC	P值	ICC	P值
步幅(m)	0.996	<0.001	0.996	<0.001	0.997	<0.001
首次触地角(°)	0.867	<0.001	0.707	0.005	0.763	0.002
足趾离地角(°)	0.883	<0.001	0.965	<0.001	0.939	<0.001

ICC:组内相关系数;MHD:维持性血液透析

表3 各组间步态参数比较 ($\bar{x}\pm s$)

步态参数	对照组	MHD 非透析日组	MHD 透析日组
标准化步速(m/s)	1.20±0.16	1.03±0.16 ^①	0.96±0.12 ^{①②}
标准化步幅(m)	1.24±0.12	1.12±0.12 ^①	1.07±0.10 ^{①②}
首次触地角(°)	21.26±5.53	21.6±4.79	21.15±4.52
足趾离地角(°)	68.54±6.97	31.47±5.35 ^①	29.76±5.07 ^{①②}
标准化步频(步数/min)	114.65±8.53	109.68±8.85	106.88±8.43 ^①
步态周期(s)	1.05±0.08	1.10±0.10	1.13±0.09 ^①

① $P<0.05$,与对照组比较;② $P<0.05$,与MHD非透析日组比较

表4 MHD患者FACIT-F得分与步态参数的相关性

步态参数	FACIT-F&透析日		FACIT-F&非透析日	
	r值	P值	r值	P值
标准化步速(m/s)	0.518 ^①	0.023	0.534 ^①	0.019
标准化步幅(m)	0.495 ^①	0.031	0.660 ^①	0.002
首次触地角(°)	0.343	0.151	0.233	0.338
足趾离地角(°)	0.565 ^①	0.012	0.538 ^①	0.017
标准化步频(步数/min)	0.335	0.161	0.256	0.291
步态周期(s)	-0.240	0.322	-0.120	0.625

FACIT-F:慢性病治疗功能评估-疲劳量表;① $P<0.05$

3 讨论

步行是神经和肌肉骨骼系统调节和协调下进行的高度复杂活动。临床和科研工作中常用的步行功能评估方法包括主观评估(观察性步态分析和量表评估)和客观评估(涉及秒表、电子测角仪和光学三维运动分析系统),各有优点及局限性。观察性步态分析高度依赖个人经验,不易于量化;量表评估存在天花板效应和评估人员主观偏见;虽然光学三维运动分析系统可以提供步态参数的客观测量值,但其成本高、操作复杂、耗时长。目前国内外关于MHD患者步行功能的研究,多采用定时步行测试,如

6min步行试验、起立-行走试验等^[13-15]。虽然可以获得患者的步行速度,但误差较大,并且缺乏步行的其他时空参数。越来越多的证据表明,相较于定时步行测试,步行时空参数分析对临床疾病患者的步行障碍更敏感^[6,16]。本研究使用的无线APDM运动监测惯性传感器系统是一种基于惯性传感器的便携式、可穿戴的步态分析设备,具有体积小、重量轻、灵敏度高、成本低、使用方便等特点,因此适用于临床、科研和家庭环境中的步行功能持续监测^[17]。本研究中的步行测试内容为受试者以自然舒适的速度步行2min,由步态分析设备自动记录、储存2min的步态时空参数。步行2min包含了足够分析的步态周期,也是一种可持续的能量消耗^[17-18]。

本研究除采集常用的步态基本参数如步速、步幅、步频和步态周期外,还选择了首次触地角和足趾离地角两个指标。首次触地角是指左/右足跟首次触地时,足与地面之间的角度,其大小反映了支撑相早期腓绳肌、股四头肌、胫前肌的肌肉力量和收缩协调性^[19]。足趾离地角是指双支撑相终末期、左/右脚即将离开地面时,足与地面之间的角度,反映了下肢向前推进的动力^[19]。足趾离地动作标志着下肢由支撑相进入摆动相,此时参与活动的主要肌群有小腿三头肌、足底肌群和股薄肌^[19],而足趾离地角的大小决定了摆动相足部运动轨迹的初始条件^[20]。Anderson FC等^[21]使用三维动态步行模拟和位置诱导分析相结合的方法分析足趾离地时和离地后的运动学特征,研究表明足趾离地角减小会影响摆动相膝关节屈曲角度,导致足离地高度减小,影响足廓清能力,增加跌倒的风险。帕金森病和脑卒中患者步行功能的研究也证明了这一结论^[22-24]。同时,脑性瘫痪患者的研究还表明,踝关节跖屈和背屈的力量及角速度下降会导致患者的步行功能受损^[25]。因此,采集和分析MHD患者的首次触地角和足趾离地角有助于了解MHD患者的步态特征,评估跌倒风险。而且,这也是国内外首次报告MHD患者的首次触地角和足趾离地角数据。

本研究采集了MHD患者在透析日和非透析日的步态参数,结果显示透析日和非透析日的步速、步幅和足趾离地角均显著小于对照组。另外,在MHD患者中,透析日的步频显著小于对照组,步态周期则

显著大于对照组。Shin S等^[26]使用三维步态分析设备采集了18例健康志愿者和18例MHD患者在非透析日的步态数据,结果显示患者的步速、步幅和步频均显著小于健康对照组,步态周期则显著大于健康对照组。在我们的研究中没有发现非透析日的步频和步态周期与对照组有显著差异,推测可能与Shin S等采用连续两次步行测试方法有关。MHD患者本身存在慢性疲劳,连续步行测试可能会加重疲劳感,进而增加疲劳对步行能力的影响。目前国内外尚缺乏关于MHD患者在透析日的步态参数研究。在本研究中,MHD患者无论是在透析日还是非透析日,其步态参数均存在异常。而且在血液透析治疗后,MHD患者的步速、步幅、足趾离地角均显著小于血液透析治疗前,提示血液透析治疗会加重MHD患者的步态参数异常程度,是造成患者透析日跌倒风险增高的原因之一。因为血液透析过程中渗透压的快速变化、细胞因子释放、透析时间长等因素,易引发低血压、心律失常、透析后疲劳等症状,影响患者的步行功能^[2,6,27]。Lockhart TE等^[6]分析5名MHD患者分别在血液透析前和透析后完成起立-行走计时测试(timed up and go test, TUGT)的时间,结果显示MHD患者血液透析后的完成时间显著大于血液透析前,并认为血液透析引起的疲劳是导致MHD患者透析后TUGT完成时间延长的主要因素。有文献报道步速小于1.0m/s与老年人的较差存活率和残疾风险增加独立相关^[28],而MHD患者在血液透析治疗后的平均步速(0.96 ± 0.12)m/s,提示MHD患者在透析日的跌倒风险较高。

小腿三头肌是支撑相终末期的主要活动肌群,小腿三头肌收缩使得踝关节跖屈的同时,通过地面反作用力赋予下肢向前推进的动力^[19]。MHD患者足趾离地角减小可能与小腿三头肌肌力的减弱或下肢运动肌群的不协调有关,而频繁的肌肉痛性痉挛可能是诱因之一。肌肉痛性痉挛(muscle cramp)俗称“抽筋”,是指突发的、短暂的肌肉不自主收缩伴剧烈疼痛,可导致肌肉持续性(48—72h)酸痛和肿胀^[29]。既往研究表示,MHD患者肌肉痛性痉挛可能与透析中低血压引起肌肉组织严重缺血、透析过程中游离钙减少肌肉兴奋性增强、血液透析治疗超滤过快或过多等机制有关^[30]。本研究中MHD患者平

均血磷浓度(2.14 ± 0.47)mmol/L高于正常参考值范围(0.85—1.51mmol/L),而高血磷会刺激骨细胞分泌成纤维细胞生长因子-23,引起血钙降低。MHD患者透析前平均血钙浓度(2.14 ± 0.14)mmol/L较低,而在透析过程中,内环境逐渐偏碱,导致游离钙进一步减少,使肌肉兴奋性增强,引起肌肉痛性痉挛^[31]。文献报道MHD患者中与血液透析相关的肌肉痛性痉挛发生率为33%—78%,通常好发于小腿三头肌^[30]。本研究招募的MHD患者调查结果显示,47.4%的患者步行测试前一个月内发生肌肉痛性痉挛 ≥ 3 次,多见于小腿三头肌,少数患者会同时波及趾屈肌和股四头肌,肌肉痛性痉挛通常发生在透析过程中和透析当日的睡眠中。因此,频繁的肌肉痛性痉挛引起的持续肌肉酸痛、肿胀等感觉不适^[29],可能是导致足趾离地角减小的重要原因,提示预防MHD患者肌肉痛性痉挛的发生,可能可以降低其跌倒风险,但其相关性仍需进一步论证。

慢性疲劳是MHD患者最常见的症状之一,发生率高达60%—97%,导致MHD患者疲劳的原因目前尚未明确,可能与抑郁情绪、营养不良、体力活动减少、频繁肌肉痛性痉挛有关^[32]。而当个体处于疲劳状态时,跌倒的发生率将大大增加^[33]。MHD患者的疲劳分为透析后疲劳(透析后即刻发生的急性疲劳,经过休息后可恢复至透析前状态)和持续性疲劳(即持续存在的慢性疲劳),本研究采用FACIT-F量表评估MHD患者的持续性疲劳程度。Cella D等^[34]调查结果显示健康人FACIT-F平均得分为(43.6 ± 9.4)分。王思远等^[11]在172例MHD患者中的研究结果表明,MHD患者的FACIT-F平均得分为(37.95 ± 9.47)分,低于健康人。本研究中MHD患者的FACIT-F平均得分(38.89 ± 4.41)分与王思远等调查结果一致,低于健康人得分。本研究MHD患者FACIT-F得分与其步态参数的相关性分析结果显示,FACIT-F得分与透析日和非透析日的步速、步幅、足趾离地角参数呈显著正相关,提示慢性疲劳是导致MHD患者步态参数异常的因素之一。

综上所述,MHD患者存在步态参数异常,血透后步态参数的异常较血透前更显著。慢性疲劳状态可能是MHD患者步态参数异常的影响因素。进一步的研究将针对缓解慢性疲劳和改善步态参数设计

康复治疗方案,增强MHD患者的步行能力,降低跌倒风险,提高生活质量。

参考文献

- [1] 乔勤,顾波.我国与全球终末期肾脏病的流行现状[J].中国血液净化,2014,13(10):729—732.
- [2] Erken E, Ozelsancak R, Sahin S, et al. The effect of hemodialysis on balance measurements and risk of fall[J]. Int Urol Nephrol, 2016, 48(10): 1705—1711.
- [3] 何茂芯,杨玉洁,余少斌.维持性血液透析患者运动能力与生活质量的相关性研究[J].中国血液净化,2020,19(4):238—241.
- [4] Hendriks FK, Smeets JSJ, Broers NJH, et al. End-stage renal disease patients lose a substantial amount of amino acids during hemodialysis[J]. J Nutr, 2020, 150(5): 1160—1166.
- [5] Kojima G. Prevalence of frailty in end-stage renal disease: a systematic review and meta-analysis[J]. Int Urol Nephrol, 2017, 49(11): 1989—1997.
- [6] Lockhart TE, Barth AT, Zhang X, et al. Portable, non-invasive fall risk assessment in end stage renal disease patients on hemodialysis[J]. ACM Trans Comput Hum Interact, 2010: 84—93.
- [7] Desmet C, Beguin C, Swine C, et al. Falls in hemodialysis patients: prospective study of incidence, risk factors, and complications[J]. Am J Kidney Dis, 2005, 45(1): 148—153.
- [8] Cook WL, Tomlinson G, Donaldson M, et al. Falls and fall-related injuries in older dialysis patients[J]. Clin J Am Soc Nephrol, 2006, 1(6): 1197—1204.
- [9] Balogun R, Yan G, Abdel-Rahman E. Higher mortality with falls in hemodialysis patients[J]. Hemodialysis International, 2009, 13(1): 166.
- [10] Shin S, Chung HR, Kistler BM, et al. Walking and talking in maintenance hemodialysis patients[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2013, 94(1): 127—131.
- [11] 王思远,高敏,赵岳.中文版慢性病治疗功能评估-疲劳量表在维持性血液透析患者中的信效度评定[J].中华护理杂志, 2014, 49(5): 613—617.
- [12] Schwesig R, Leuchte S, Fischer D, et al. Inertial sensor based reference gait data for healthy subjects[J]. Gait Posture, 2011, 33(4): 673—678.
- [13] 王绍华,邱模炎,宋欣芸,等.维持性血液透析患者运动功能的影响因素分析[J].中华中医药杂志,2018,33(11):5208—5211.
- [14] Shimizu U, Aoki H, Sakagami M, et al. Walking ability, anxiety and depression, significantly decrease EuroQol 5-Dimension 5-Level scores in older hemodialysis patients in Japan[J]. Arch Gerontol Geriatr, 2018, 78: 96—100.
- [15] Bullani R, El-Housseini Y, Giordano F, et al. Effect of intradialytic resistance band exercise on physical function in patients on maintenance hemodialysis: a pilot study[J]. J Ren Nutr, 2011, 21(1): 61—65.
- [16] Spain RI, St George RJ, Salarian A, et al. Body-worn motion sensors detect balance and gait deficits in people with multiple sclerosis who have normal walking speed[J]. Gait Posture, 2012, 35(4): 573—578.
- [17] Mancini M, King L, Salarian A, et al. Mobility lab to assess balance and gait with synchronized body-worn sensors[J]. J Bioeng Biomed Sci, 2011, Suppl 1: 7.
- [18] Andersen LK, Knak KL, Witting N, et al. Two- and 6-minute walk tests assess walking capability equally in neuromuscular diseases[J]. Neurology, 2016, 86(5): 442—445.
- [19] Perry J, Burnfield JM. Gait analysis: normal and pathological function[M]. 2nd Edition. New Jersey, USA: SLACK Incorporated, 2010: 109—131.
- [20] Begg RK, Sparrow WA. Ageing effects on knee and ankle joint angles at key events and phases of the gait cycle[J]. J Med Eng Technol, 2006, 30(6): 382—389.
- [21] Anderson FC, Goldberg SR, Pandy MG, et al. Contributions of muscle forces and toe-off kinematics to peak knee flexion during the swing phase of normal gait: an induced position analysis[J]. J Biomech, 2004, 37(5): 731—737.
- [22] Wu Z, Zhong M, Jiang X, et al. Can quantitative gait analysis be used to guide treatment of patients with different subtypes of Parkinson's disease? [J]. Neuropsychiatr Dis Treat, 2020, 16: 2335—2341.
- [23] Kim JW, Kwon Y, Kim YM, et al. Analysis of lower limb bradykinesia in Parkinson's disease patients: parkinsonian bradykinesia in lower limb[J]. Geriatr Gerontol Int, 2012, 12(2): 257—264.
- [24] Kerrigan DC, Karvosky ME, Riley PO, Spastic paretic stiff-legged gait: joint kinetics[J]. Am J Phys Med Rehabil, 2001, 80(4): 244—249.
- [25] Geertsen SS, Kirk H, Lorentzen J, et al. Impaired gait function in adults with cerebral palsy is associated with reduced rapid force generation and increased passive stiffness[J]. Clin Neurophysiol, 2015, 126(12): 2320—2329.
- [26] Shin S, Chung HR, Kistler BM, et al. Effect of muscle strength on gait in hemodialysis patients with and without diabetes[J]. Int J Rehabil Res, 2014, 37(1): 29—33.
- [27] Himmelfarb J. Hemodialysis complications[J]. American Journal of Kidney Diseases, 2005, 45(6): 1122—1131.
- [28] Studenski S, Perera S, Patel K, et al. Gait speed and survival in older adults[J]. JAMA, 2011, 305(1): 50—58.
- [29] Miller TM, Layzer RB. Muscle cramps[J]. Muscle & Nerve, 2005, 32(4): 431—442.
- [30] Flythe JE, Hilliard T, Lumby E, et al. Fostering innovation in symptom management among hemodialysis patients: paths forward for insomnia, muscle cramps, and fatigue[J]. Clin J Am Soc Nephrol, 2019, 14(1): 150—160.
- [31] 王晓辉,靳卫星,何娟,等.浅析维持性血液透析患者痛性肌痉挛原因及治疗对策[J].医药前沿,2016,6(27):39—40.
- [32] Evangelidis N, Tong A, Manns B, et al. Developing a set of core outcomes for trials in hemodialysis: an international delphi survey[J]. Am J Kidney Dis, 2017, 70(4): 464—475.
- [33] Johansen KL, Doyle J, Sakas GK, et al. Neural and metabolic mechanisms of excessive muscle fatigue in maintenance hemodialysis patients[J]. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol, 2005, 289(3): R805—R813.
- [34] Cella D, Lai JS, Chang CH, et al. Fatigue in cancer patients compared with fatigue in the general United States population[J]. Cancer, 2002, 94(2): 528—538.