

运用Delphi法筛选适用于老年人群的足底压力动力学参数

颜艺凤, 欧建林, 郑家兴, 孙晨鸣, 尚亚茹, 陈卓铭*

暨南大学附属第一医院, 广东 广州 510630

* 通信作者: 陈卓铭, E-mail: 1090029753@qq.com

收稿日期: 2022-12-17; 接受日期: 2023-02-25

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2020YFC2005700); 广东省科技计划项目(2021A1414020006);

2021年暨南大学优秀本科推免生科研创新培育计划项目

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2023.03003

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



摘要 **目的:** 筛选适用于老年人群的足底压力动力学参数, 用于科学研究并提供可对比参数。**方法:** 采用Delphi法, 成立研究小组, 设计调查问卷, 选取25名相关领域的医学专家, 进行问卷调查, 并就研究小组整理出来的各项常用足底压力动力学参数指标进行意见咨询。计算专家积极系数、权威系数、协调系数和各指标得分。最终指标筛选的标准为“总得分算术平均数 $\geq$ 算术平均数的 P_{25} ”或“总得分满分为 $\geq$ 满分的 P_{25} ”且“总得分变异系数 $\leq$ 变异系数的 P_{75} ”。**结果:** 在25名专家中有24名在首轮咨询中表现活跃, 且这些专家均表示对指标熟悉。2轮函询的专家平均积极系数(首轮96.00%, 第2轮91.67%)高达93.84%, 权威系数为 (0.728 ± 0.373) , 意见协调系数约为0.15(P 均 < 0.01)。经Delphi法筛选后, 适用于老年人群的足压动力学参数为前足后足压力峰值比、不对称系数、接触面积、达到峰值压力的时间、负荷率、峰值压强、压强-时间积分、受力负荷、峰值压力、压力-时间积分、最大压力半峰值宽度、平均压力(区域)、足底压力中心。**结论:** 基于Delphi法筛选出的适用于老年人群的足底压力动力学参数科学可靠。本研究在众多的动力学参数中筛选出了适用于老年人群研究的参数, 该参数提供了一个相对规范的参考范围, 这将在一定程度上使得相关科研更加规范化和系统化, 为老年人群足底压力的相关研究提供可靠的理论基础和参考依据。

关键词 Delphi法; 足底压力; 老年人群; 动力学参数; 指标筛选

2020年中国发展研究基金会发布《中国发展报告2020: 中国人口老龄化的发展趋势和政策》^[1]指出: 到21世纪中叶, 我国人口老龄化将达到最高峰, 65岁及以上老年人口占比将接近30%。随着年龄的增加和身体机能的衰退, 老年人的足部结构与功能会随之发生改变, 使其足底压力分布和步态特征发生变化。足底与支撑面之间的压力分布可以反映下肢乃至全身的生理、结构和功能等方面的信息, 对人体各生理功能、生物力学及康复研究等均有重要意义^[2-4]。特别是针对老年人增龄性的步态变异, 足底压力作为测量人体与支撑面之间的最直

接接触部位的作用力被广泛应用, 如年龄对老年人足底压力影响的相关研究^[5-7], 患有某种疾病的老年人群足压分析^[8-9], 关于跌倒与跨越障碍物的足压分析等^[10-11]。虽然其应用广泛, 但是所使用的足压参数参差不齐, 时间参数、空间参数、动力学参数、各种指数(如足弓指数)、各种角度(如距下关节灵活性)是现阶段临床上常用的步态分析指标^[12]。其中各类参数中又有很多不同概念的参数指标, 如同样是研究老年人跨越障碍, 卢曼泽^[10]使用的是人体重心、冲量和负荷率, 而孟站领等^[11]使用的是峰值压力、冲量、接触面积和足底压力中心轨迹, 由此可见

引用格式: 颜艺凤, 欧建林, 郑家兴, 等. 运用Delphi法筛选适用于老年人群的足底压力动力学参数[J]. 康复学报, 2023, 33(3): 208-215.

YAN Y F, OU J L, ZHENG J X, et al. Study on the dynamic parameters of plantar pressure applicable to the elderly screened by Delphi method [J]. Rehabil Med, 2023, 33(3): 208-215.

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2023.03003

老年人群的同类研究之间比较,其研究结果会因为参数使用不同而难以进行对比分析。所以本研究在整理和归纳以往老年人群足底压力相关研究中的步态指标常用的动力学参数的基础上,用Delphi法筛选适用于老年人群研究的足底压力动力学参数,为后人研究老年人群足底压力动力学提供较为统一的参数指标,方便在将来进行研究间的概述与对比分析。

1 资料与方法

1.1 成立研究小组

研究小组成员共3名,各自分工明确并定期召开课题讨论会。

1.2 设计函询问卷

首轮问卷共包括5个部分,①函询问卷的说明:研究背景、目的和意义等。②专家一般情况调查表:年龄、职称和学历等。③专家评分表:包括研究小组整理出来的常用足底压力动力学参数指标,指标的重要性、特异性、敏感性程度按Likert分级评分法划分为相应级别,分5个级别,并赋值。其中1=很差、3=较差、5=一般、7=较好、9=很好,并对3个维度(重要性、特异性、敏感性)进行权重打分。同时专家可以提出补充和修改意见,完善内容。④专家权威程度量化表:包括《指标熟悉程度情况表》和《判断依据影响情况表》。表1~2为其赋值情况。⑤附件:附带各个参数指标的基本概念或图解。

表1 专家对指标的熟悉程度赋值表

Table 1 Assign of expert's familiarity with the indicator	
熟悉程度	Cs
很熟悉	0.9
熟悉	0.7
较熟悉	0.5
一般	0.3
较不熟悉	0.1
很不熟悉	0.0

表2 专家判断依据及其对专家判断的影响程度赋值表

Table 2 Evaluation of expert's judgment and its influence degree			
判断依据	对专家判断的影响程度		
	大	中	小
理论分析	0.3	0.2	0.1
实践经验	0.5	0.4	0.3
国内外同行的了解	0.1	0.1	0.1
个人直观感觉	0.1	0.1	0.1

第2轮问卷是根据首轮咨询结果进行相应修改后形成的,首轮结果将在问卷中汇总呈现作为第2轮的参考,然后请专家再次从3个维度(重要性、特异性、敏感性)对指标进行评价,同时了解专家们对指标的熟悉度,此轮评价方式为直接给各指标打分(1~10分)。

1.3 遴选函询专家

遴选专家小组成员共25名。入选标准:①在临床医学、神经病学或康复学领域工作;②在三甲医院工作并具有中级及以上职称的医学专家;③在本领域工作10年以上;④本科及以上学历;⑤对此研究感兴趣,态度积极,能独立完成整个实验评估过程。

1.4 发放问卷

采用电子问卷形式发放、回收问卷。

1.5 确定指标筛选标准

根据问卷的打分结果,从3个维度(重要性、特异性、敏感性)对各指标得分分析均数和变异系数;随后计算综合得分(即总得分):总得分=指标重要性得分×指标重要性的权重+指标特异性得分×指标特异性的权重+指标敏感性得分×指标敏感性的权重,最后分别计算每个指标总得分的均数、满分比和变异系数。

指标筛选的临界值为:“总得分算术平均数≥算术平均数的 P_{25} ”或“总得分满分比≥满分比的 P_{25} ”且“总得分变异系数≤变异系数的 P_{75} ”。

1.6 咨询结果判断指标与统计

所有咨询结果的统计分析和说明均采用SPSS 27.0软件完成。①专家的一般情况描述:采用构成比或频数来描述。②专家积极情况:指各个专家对该研究的关注程度,可以用问卷的有效回收率说明。回收率=回收的有效问卷总数/发放问卷总数。③专家权威系数(Cr):定值为 $Cr=(Cs+Ca)/2$,其中Cs代表专家对各个指标的熟悉程度系数,Ca代表评价各个指标时各个判断依据对专家判断的影响程度系数。通常情况下 $Cr \geq 0.70$ 被认为研究结果的权威程度、信度均较高^[13]。④专家意见协调情况:常用变异系数(coefficient of variation, CV)和协调系数(W)表示。代表各个专家对所有参数指标评价意见的一致性^[14], $CV = \text{标准差}(s)/\bar{x}$,其数值越大表示专家意见分歧,说明协调程度不高^[15]。W取值范围为0~1,其需要经过显著性检验($\alpha < 0.05$)以保证其可靠和可信,而W越大则表示专家分歧性小,结

果偏向于可信^[16]。

2 结 果

2.1 专家的一般情况

此次共纳入 25 名专家,其中 24 名在首轮咨询中表现活跃。这 24 名专家分别在康复医学或神经内科从事与足底压力有关的工作,平均工作年限为 (13.25 ± 10.88) 年,其中从事主专业(即第一专业)满 10 年者占 70.83%,满 20 年占 29.17%,满 30 年者占 12.50%。83.33% 的专家具有硕士研究生及以上学历,而且 29.17% 的专家具有副高及以上职称。在这 24 名专家中,均未表示对指标不熟悉(对指标很熟悉的有 4 名,占比 16.67%;对指标熟悉的有 7 名,占比 29.17%;较熟悉占大部分,有 13 名,占比 54.17%),所以我们可以认为专家的意见和建议是具有一定代表性的。

2.2 咨询结果

2.2.1 专家积极情况 专家积极系数第 1 轮为 96.00%(发出问卷数 25 份,回收问卷数 24 份),第 2 轮为 91.67%(发出问卷数 24 份,回收问卷数 22 份),平均为 93.84%。

2.2.2 专家权威系数 根据专家在《指标熟悉程度情况表》和《判断依据影响情况表》的填写情况依据表 1~2 赋值并计算专家权威系数。表 3 为首轮专家权威系数结果。在 14 项指标中,专家的熟悉情况均处于较熟悉和很熟悉之间,而且受判断依据的影响绝大部分落在中等水平,综上 2 个方面,专家的权

威系数为 (0.728 ± 0.373) ,因此在这一研究中专家具有较高的权威性得到验证。然而专家的权威程度在进行指标筛选时,并没有作为筛选标准,因为权威程度是通过自我评估获得。

表 3 专家权威程度

指标	判断系数 (Ca)	熟悉程度 (Cs)	权威系数 (Cr)
峰值压力	0.891 7	0.650 0	0.770 9
压力-时间积分	0.883 3	0.575 0	0.729 2
最大压力梯度	0.841 7	0.533 3	0.687 5
最小压力梯度	0.825 0	0.516 7	0.670 9
最大压力半峰值宽度	0.833 3	0.500 0	0.666 7
平均压力(区域)	0.875 0	0.641 7	0.758 4
足底总压力均值	0.854 2	0.650 0	0.752 1
足底压力中心	0.908 3	0.666 7	0.787 5
前足后足压力峰值比	0.862 5	0.633 3	0.747 9
不对称系数	0.866 7	0.591 7	0.729 2
接触面积	0.891 7	0.616 7	0.754 2
接触时间	0.891 7	0.583 3	0.737 5
达到峰值压力的时间	0.870 8	0.541 7	0.706 3
负荷率	0.829 2	0.566 7	0.698 0

2.2.3 专家意见协调系数 本次调查研究的专家意见协调系数结果见表 4。第 2 轮咨询的协调系数>首轮且各指标 3 个维度(重要性、特异性、敏感性)分数的协调系数约为 0.15(P 均 <0.01),具有可信度。因此我们有权认为第 2 轮咨询进行时专家们的分歧程度有所收敛,总协调性在一定程度上得到了改善。

表 4 专家意见协调系数

指标	重要性		特异性		敏感性	
	第 1 轮	第 2 轮	第 1 轮	第 2 轮	第 1 轮	第 2 轮
协调系数	0.168	0.165	0.100	0.150	0.093	0.107
χ^2 值	52.484 ¹⁾	58.071 ¹⁾	31.280 ¹⁾	52.927 ¹⁾	28.875 ¹⁾	37.496 ¹⁾

注:1) $P<0.01$ 。

Note: 1) $P<0.01$.

2.2.4 2 轮专家咨询结果 表 5 所示为专家 2 轮打分的详细统计结果,其中综合得分用于指标的筛选。在首轮表现活跃的 24 名专家中,有 6 名对参数指标给出了详细点评。经研究小组讨论后采纳了部分建议。现将意见汇总如下:① 考虑几何中心点和压力中心点的关系;② 参数进一步细化,如接触

面积细化为全足接触面积、前足接触面积、后足接触面积等;③ 考虑压力分布图;④ 考虑加入算法与公式;⑤ 考虑加入压强方面的参数;⑥ 考虑加入受力负荷的分布。

2.2.5 2 轮咨询后指标修改情况 指标筛选临界值见表 6。

表5 2轮专家咨询得分结果
Table 5 Results of two rounds of expert's consultation

指标	第1轮									
	重要性		特异性		敏感性		综合得分			
	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	满分比/%	均值	标准差	变异系数
峰值压力	7.50	1.69	6.50	2.06	6.50	2.30	25.00	6.90	1.81	0.26
压力-时间积分	7.42	1.44	7.00	1.67	7.17	1.43	12.50	7.25	1.25	0.17
最大压力梯度	7.25	1.36	6.58	1.67	6.67	1.83	16.67	6.90	1.37	0.20
最小压力梯度	6.33	1.74	5.92	2.04	5.92	2.12	8.33	6.10	1.73	0.28
最大压力半峰值宽度	6.83	1.66	6.67	1.52	6.42	1.82	12.50	6.68	1.48	0.22
平均压力(区域)	7.50	2.15	7.08	1.82	7.17	1.86	33.33	7.35	1.67	0.23
足底总压力均值	6.42	2.00	6.33	2.18	6.42	2.24	16.67	6.48	1.82	0.28
足底压力中心	7.92	1.18	7.50	1.59	7.33	1.52	37.50	7.60	1.31	0.17
前足后足压力峰值比	7.83	1.43	7.33	2.01	7.25	1.89	37.50	7.55	1.50	0.20
不对称系数	8.58	0.83	7.58	1.38	7.42	1.56	37.50	7.94	0.94	0.12
接触面积	7.33	1.40	6.67	1.52	6.75	1.48	16.67	6.94	1.25	0.18
接触时间	6.92	1.72	6.42	2.00	6.58	2.04	16.67	6.67	1.71	0.26
达到峰值压力的时间	7.42	1.44	6.83	1.66	7.17	1.43	16.67	7.19	1.26	0.18
负荷率	7.67	1.40	7.08	1.38	7.08	1.38	16.67	7.34	1.15	0.16

指标	第2轮									
	重要性		特异性		敏感性		综合得分			
	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	满分比/%	均值	标准差	变异系数
峰值压力	7.50	1.50	6.91	1.51	7.14	1.55	4.50	7.27	1.25	0.17
压力-时间积分	7.55	1.68	6.77	1.38	6.95	1.70	4.50	7.23	1.41	0.20
最大压力梯度	7.23	1.82	6.73	1.58	7.09	1.44	9.00	7.08	1.40	0.20
最小压力梯度	6.41	1.76	5.86	1.88	6.59	1.82	4.50	6.38	1.60	0.25
最大压力半峰值宽度	6.68	1.29	6.55	1.63	6.45	1.79	0.00	6.71	1.29	0.19
平均压力(区域)	7.50	1.79	6.82	1.65	7.05	1.40	9.00	7.19	1.42	0.20
足底总压力均值	6.82	2.11	6.18	1.97	6.86	1.75	9.00	6.60	1.87	0.28
足底压力中心	7.73	1.80	7.86	1.52	7.77	1.85	18.20	7.89	1.47	0.19
前足后足压力峰值比	7.36	1.33	7.23	1.41	6.91	2.00	0.00	7.24	1.19	0.16
不对称系数	8.23	0.97	7.45	1.41	7.45	1.65	13.60	7.81	1.07	0.14
接触面积	7.32	1.59	6.50	1.71	6.91	1.41	4.50	6.98	1.27	0.18
接触时间	6.68	1.84	6.55	1.50	6.91	1.54	0.00	6.76	1.20	0.18
达到峰值压力的时间	7.73	1.20	7.05	1.46	7.14	1.61	4.50	7.41	1.09	0.15
负荷率	7.50	1.26	6.82	1.99	7.09	1.82	4.50	7.20	1.31	0.18
峰值压强 ¹⁾	7.27	1.67	6.91	1.11	7.18	1.30	4.50	7.17	1.17	0.16
压强-时间积分 ¹⁾	7.50	1.41	6.82	1.59	7.14	1.17	0.00	7.25	1.25	0.17
受力负荷 ¹⁾	7.18	1.22	6.41	1.56	6.73	1.55	4.50	6.85	1.33	0.19

注:1)第2轮增加的参数。

Note: 1) Parameters added in the second round.

表6 2轮专家咨询指标筛选临界值
Table 6 Two rounds of expert's consultation index screening threshold

指标	第1轮			第2轮		
	满分比(%, P_{25})	均数(P_{25})	变异系数(P_{75})	满分比(%, P_{25})	均数(P_{25})	变异系数(P_{75})
指标综合得分	15.625	6.675	0.258	2.250	6.801	0.196

研究小组召开讨论会对专家意见进行讨论,并根据筛选临界值初步决定各个指标的去留,最后再结合实际应用确定指标的修改与保留情况。现将指标的去留情况汇总如下:

增加的参数(第1轮后):峰值压强、压强-时间积分、受力负荷。

删除的参数(第2轮后):最大压力梯度、最小压力梯度、足底总压力均值、接触时间。

最终留下来的参数:前足后足压力峰值比、不对称系数、接触面积、达到峰值压力的时间、负荷率、峰值压强、压强-时间积分、受力负荷、峰值压力、压力-时间积分、最大压力半峰值宽度、平均压力(区域)和足底压力中心。

3 讨 论

人体在包括站立和行走时各种各样的状态下,其脚底和支撑面之间的受力状态可以通过足底压力测量系统获得,一般健康成年人的足底压力具有可描述的规律,但当足部发生一些变化时,如糖尿病足、足底筋膜炎或下肢骨折、手术时,足底压力也会随之发生改变^[2-4],可能使其远离正常规律的足压分布。在过去的研究中,足底压力测试的方便、快捷、客观、无损害性,被证实可以对下肢生物力学负荷的特点进行有效量化^[3-4]。

通过对国内外文献资料检索,分析足底压力的应用,可以得出如下3点:①测量足底压力的系统参差不齐。查阅文献可知,足印技术、足底压力扫描技术、力板与测力台技术、压力鞋和鞋垫技术是足压测量发展以来经历的4个主要阶段^[17]。其中后2个阶段是最近几十年来科学研究中常用的技术。随着科学技术的发展,关于足底压力测量的研发很多,韦启航等^[18]、袁刚等^[19]、潘奇等^[20]、王墨等^[21]、李琳杰与赵伟博^[22]都致力于此方面的研究。但现阶段公认、广泛运用的系统较少,四大公认平板式步态分析系统有新西兰PDT裸足压力测试系统、美国tekscan压力测试系统、比利时footscan压力测试系统、德国产emed系统,这四大公认的足压系统均带有各自相对应的数据处理软件。而较为便捷的鞋垫式足压采集设备,仅有德国Novel公司产的Pedar鞋垫式足压测试系统被认可。②不同的足压测试系统导出的参数指标不一致。如NIU等^[23]在其研究中应用F-Scan足压系统提取的动力学参数是平均压力和峰值压力。而钟慧敏和黄萍^[24]应用比利时footscan压力测试系统采用压强峰值、冲量与接

触面积。至于德国Novel公司产的Pedar-x足压设备,金哲等^[25]在其研究中使用了最大压力、平均压强、冲量。③局限于设备,研究者一般就地取材,即按部就班地使用设备能导出的参数。如同样是针对青年人和老年人的差异研究,范文祥等^[5]只研究了足底压力中心轨迹,而王少君等^[7]除了常见的参数之外,还研究了单脚受压时长、受压支撑百分比、开始与结束受压支撑百分比等。同样针对跌倒的研究,POL等^[26]研究发现跌倒组站立时中足内侧、前掌内侧、拇趾负荷更大,不过其压力中心偏移指数较低。而MICKLE等^[27]研究表明,跌倒者在脚底产生的峰值压力和压力-时间积分明显高于不跌倒者。这就造就了不同研究者之间对比分析、总结分析的不确定性与麻烦性。本研究目的正是通过Delphi法在即使是使用不同的系统的情况下为以后研究的学者提供一个选择参数的参考。虽然该研究并不能从根本上解决上文所提到的问题,但是当老年人群相关研究使用的参数一致时,该研究目的就达到了。

Delphi法是一个基于专家意见的迭代过程,是通过不记名形式在某一特定领域的专家之间达成共识的一种方法^[28-29],是一个关于轮数和共识水平的灵活程序。其优势在于基于专家意见,最终目标是作为一个群体达成共识^[30]。本研究首先通过查找、阅读近10年以来有关老年人群足底压力的文献,整理分析归纳出常用的足底压力动力学参数指标形成首轮问卷,得到问卷结果后计算专家的积极系数、权威系数和协调系数,若首轮协调系数没有达到要求,向各专家反馈首轮结果,并再次征求专家意见,直至专家意见相对一致,整个过程中专家之间无面对面交流,仅根据个人经验和临床科研积累答题,最后形成较为统一的意见。在1项系统综述中,已有另外15项研究使用Delphi程序来确定结果指标^[30]。本课题在选取专家时考虑了专家工作、科研领域及年限和对指标的熟悉程度,同时计算得到的积极系数、权威系数均符合要求,表明了此次函询结果的可靠性。

本研究最终留下来的参数,也确实被之前的学者证实在老年人群的研究中具有明显效应,其中平均压力、峰值压力和压力-时间积分最为常见^[31]。表7给出了参数的基本概念和应用情况,可以发现足底压力动力学的运用尤为广泛,如在老年人的跌倒研究、糖尿病足监测、足部结构相关研究等,同时也表明了足压在老年人群中应用的重要性。

表7 筛选后参数介绍
Table 7 Introduction of the selected parameters

参数指标	基本概念	在老年人群中的常见应用领域	文献典型举例
前足后足压力峰值比	前足区域(包括第1跖骨关节区域,第2、3跖骨关节区域,第4、5跖骨关节区域,大拇指区域);后足区域(包括足中内外两侧区域、足跟内外两侧区域),前足各个区域的平均压力峰值与后足各个区域的平均压力峰值之比,用于评价老年人足底压力整体分配情况。	跌倒预防、糖尿病足监测	[8]
不对称系数	双足相同区域相同参数的比值。一个健康成年人的正常步态通常是对称的,但是病理足或异常步态下会破坏运动的对称性。对称指数(SI)广泛应用于步态对称研究中,可以用来评估步态及运动质量,检测是否为病理性足部。	糖尿病足监测	[32]
接触面积/cm ²	足底每个区域与测试面的接触面积。不同设备,划分足底区域的方式不同。在正常行走过程中,足底接触面积最大的部位是前脚掌,其次是足跟,最小的是足弓,这3个部位共同起着维持身体平衡的作用,其中足弓接触面积占整足接触面积的比值称为足弓指数。	老年人群足压影响因素、年龄与足压	[6]
达到峰值压力的时间/(s/fps)	一个步态周期中,从初始脚接触测试面到最大压力的时间。	跌倒风险	[33]
负荷率	负荷率即足底各区域的负荷变化速率,表示压强变化的快慢,变化越快,局部接受的压力刺激越大。	跌倒风险	[34]
峰值压强/kPa ¹⁾	足底压强是研究防止足底局部相关组织承受过高及过长时间压力而引起该部位损伤的一个有效指标。峰值压强反映了单位面积上地面反作用对足底的最大作用效果,描述了力和受力面积综合作用的效果。	跌倒相关	[35]
压强-时间积分/(N·S/cm ²) ¹⁾	不同于时间-压力积分是压力在时间上的积累,时间压强积分是将压力、受力面积、时间3个因素结合在一起,在很大程度上反映了在单位面积内地面反作用力在时间上的累积。	跌倒相关	[36]
受力负荷 ¹⁾	足底各区域的压力相对于整个足底压力的百分比。	/	/
峰值压力/N	接触阶段的最大压力值。	跌倒相关、足部结构与足压	[26]
压力-时间积分/(N·S)	压力-时间曲线下的面积,描述了足底特定区域内压力随时间的累积影响,提供了一个步态中脚底区域的总负荷接触值。	跌倒相关、足部结构与足压	[26]
最大压力半峰值宽度/(s/fps)	达到峰值压力一半的两个时间点之差,即从半峰值压力上升到峰值压力,再到下降到半峰值压力的时间差。	糖尿病足监测	[32]
平均压力(区域)/N	足底各个区域的压力均值。	跌倒相关、年龄与足压	[23]
足底压力中心	包含足底压力中心轨迹、足底压力中心在x或y轴上的偏移。	特定疾病下的老年人足压、跌倒相关、鞋类与足压、足部结构与足压	[26]

注:1)第2轮增加的参数。

Note: 1) Parameters added in the second round.

本研究运用Delphi法,这似乎是一种介于定性研究和定量研究之间的有价值方法,方便快捷且适用于达成共识。同时在众多的动力学参数中筛选出了适用于老年人群研究的参数,虽然协调系数未达到完全理想化,但是其提供了一个相对规范的参考范围,这将在一定程度上使得相关科研更加规范

化与系统化。当然在具体科学研究中需要考虑参数的临床意义、系统的可获得性与可靠性综合选择。该研究也存在一定的局限性:首先,此研究只局限于动力学参数,未涉及其他时间、空间参数;其次,部分指标未更加详细、具体化,例如接触时间还可以详细化为接触开始时间或者接触结束时间^[37]。

未来的研究在致力于完善局限性的同时,还可以考虑与工科合作,统一常用公认参数的计算公式,达到更佳的标准化和规范化。

参考文献

- [1] 中国发展研究基金会. 中国发展报告2020:中国人口老龄化的发展趋势和政策[M]. 北京:中国发展出版社,2019.
China Development Research Foundation. China Development Report 2020: Trends and Policies for population aging in China [M]. Beijing: China Development Press, 2019.
- [2] LIU J, BAI R, QI X. Review of intervention and evaluation of callosities with diabetic foot [J]. Chin J Diabetes, 2020, 28(7): 547-549.
- [3] RICHER L, FORTIN E, GAGNON G, et al. Impact of plantar fasciitis on postural control and walking in young middle-aged adults [J]. Foot (Edinb), 2022, 53: 101951.
- [4] ZHU T, WANG Y, TIAN F, et al. Clinical assessments and gait analysis for patients with Trimalleolar fractures in the early postoperative period [J]. BMC Musculoskelet Disord, 2022, 23(1): 663.
- [5] 范文祥,倪朝民,刘孟,等. 年龄对正常人步行时足底压力中心轨迹的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2018, 40(3): 174-178.
FAN W X, NI C M, LIU M, et al. The effect of age on the center of plantar pressure [J]. Chin J Phys Med Rehabil, 2018, 40(3): 174-178.
- [6] 刘程程,元香南,张立新,等. 老年人与健康大学生平地行走时足底压力特征比较[J]. 中国康复理论与实践, 2015, 21(5): 544-548.
LIU C C, YUAN X N, ZHANG L X, et al. Comparison of plantar pressure characteristics between elderly and healthy college students when walking on flat ground [J]. Chin J Rehabil Theory Pract, 2015, 21(5): 544-548.
- [7] 王少君,苏丽娜,李静先,等. 老年男性和年轻男性行走时足底动力学特征差异[J]. 医用生物力学, 2021, 36(2): 304-308.
WANG S J, SU L N, LI J X, et al. Comparison of the characteristics of plantar kinetics in older and young male adults during walking [J]. J Med Biomech, 2021, 36(2): 304-308.
- [8] WANG D R, OUYANG J, ZHOU P R, et al. A novel low-cost wireless footwear system for monitoring diabetic foot patients [J]. IEEE Trans Biomed Circuits Syst, 2021, 15(1): 43-54.
- [9] 何媛媛,丁呈彪,张薇薇,等. 老年肌肉减少症患者的足底压力变化[J]. 中国组织工程研究, 2020, 24(14): 2223-2228.
HE Y Y, DING C B, ZHANG W W, et al. Changes of plantar pressure in elderly patients with sarcopenia [J]. Chin J Tissue Eng Res, 2020, 24(14): 2223-2228.
- [10] 卢曼泽. 老年人提重跨障步态分析及应用研究[D]. 天津:天津科技大学, 2019:6-7.
LU M Z. Gait analysis and application research of lifting weight and crossing obstacles in the elderly [D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2019: 6-7.
- [11] 孟站领,张庆来,苑玲伟,等. 不同跌倒风险老年人跨越障碍前后足底压力特征[J]. 医用生物力学, 2022, 37(4): 741-747.
MENG Z L, ZHANG Q L, YUAN L W, et al. Characteristics of plantar pressure of elderly people with different fall risks before and after crossing obstacles [J]. J Med Biomech, 2022, 37(4): 741-747.
- [12] 潘永雄,陈锦,王大伟,等. 足底压力测试系统的常用步态分析指标[J]. 临床医学工程, 2018, 25(9): 1267-1269.
PAN Y X, CHEN J, WANG D W, et al. Common gait analysis indexes of plantar pressure testing system [J]. Clin Med Eng, 2018, 25(9): 1267-1269.
- [13] 王春枝,斯琴. 德尔菲法中的数据统计处理方法及其应用研究[J]. 内蒙古财经学院学报(综合版), 2011, 9(4): 92-96.
WANG C Z, SI Q. A study of data statistical processing method of Delphi method and its application [J]. J Inn Mong Finance Econ Coll (Comprehensive Edition), 2011, 9(4): 92-96.
- [14] 张颖,季聪华,李秋爽,等. 中医临床实践指南制修订中德尔菲法的统计分析方法[J]. 中华中医药杂志, 2018, 33(1): 249-251.
ZHANG Y, JI C H, LI Q S, et al. Statistical analysis method of Delphi technique used in clinical practice guideline of traditional Chinese medicine [J]. China J Tradit Chin Med Pharm, 2018, 33(1): 249-251.
- [15] 宋梦歌,薛志鹏,叶恒力,等. 基于德尔菲法及共识会议法的《膝关节炎中医诊疗指南(2020年版)》治疗措施适用分期研究[J]. 中国中医药信息杂志, 2021, 28(4): 112-115.
SONG M G, XUE Z P, YE H L, et al. Study on applicable stages of treatment measures of guideline for TCM diagnosis and treatment of knee osteoarthritis (2020 edition) based on Delphi method and consensus conference method [J]. Chin J Inf Tradit Chin Med, 2021, 28(4): 112-115.
- [16] TOMCZAK M, TOMCZAK E. The need to report effect size estimates revisited. An overview of some recommended measures of effect size [J]. Trends in Sport Sciences, 2014, 1(21): 19-25.
- [17] LORD M. Foot pressure measurement: a review of methodology [J]. J Biomed Eng, 1981, 3(2): 91-99.
- [18] 韦启航,陆文莲,傅祖芸,等. 人体步态分析系统: 足底压力测量系统的研制[J]. 中国生物医学工程学报, 2000, 19(1): 32-40.
WEI Q H, LU W L, FU Z Y, et al. A new system for foot pressure measurement and gait analysis [J]. Chin J Biomed Eng, 2000, 19(1): 32-40.
- [19] 袁刚,张木勋,王中琴,等. 正常人足底压力分布及其影响因素分析[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2004, 26(3): 156-159.
YUAN G, ZHANG M X, WANG Z Q, et al. The distribution of foot pressure and its influence factors in Chinese people [J]. Chin J Phys Med Rehabil, 2004, 26(3): 156-159.
- [20] 潘奇,方舟,李琨,等. 基于PVDF的足部压力信息采集研究[J]. 计算机与数字工程, 2016, 44(3): 487-492.
PAN Q, WANG Z, LI K, et al. Foot pressure information collection based on PVDF [J]. Comput Digit Eng, 2016, 44(3): 487-492.
- [21] 王墨,樊卓宸,马浩,等. 基于传感阵列的足底压力扫描系统设计研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2018, 54(6): 1159-1165.
WANG M, FAN Z C, MA H, et al. R Research of foot plantar pressure scanning system design based on sensor array [J]. Acta Sci Nat Univ Pekin, 2018, 54(6): 1159-1165.
- [22] 李琳杰,赵伟博. 基于PVDF压电传感器的足底压力测量系统[J]. 传感器与微系统, 2018, 37(5): 73-75, 79.
LI L J, ZHAO W B. Plantar pressure measurement system based on PVDF piezoelectric sensor [J]. Transducer Microsyst Technol, 2018, 37(5): 73-75, 79.
- [23] NIU J, ZHENG Y, LIU H, et al. Stumbling prediction based on plantar pressure distribution [J]. Work, 2019, 64(4): 705-712.
- [24] 钟慧敏,黄萍. 不同体质质量指数正常人的足底压力特征[J]. 中国组织工程研究, 2017, 21(23): 3730-3735.

- ZHONG H M, HUANG P. Plantar pressure of normal people with different body mass index [J]. *Chin J Tissue Eng Res*, 2017, 21(23):3730-3735.
- [25] 金哲, 冯通, 王向东, 等. 不同矫形鞋垫对老年人足底的生物力学影响[J]. *医用生物力学*, 2022, 37(5):868-873.
- JIN Z, FENG T, WANG X D, et al. Biomechanical effects of different orthopedic insoles on the soles of the elderly [J]. *J Med Biomech*, 2022, 37(5):868-873.
- [26] POL F, FORGHANY S, HOSSEINI S M, et al. Structural and functional foot and ankle characteristics associated with falls in older people [J]. *Gait Posture*, 2021, 88:78-83.
- [27] MICKLE K J, MUNRO B J, LORD S R, et al. Foot pain, plantar pressures, and falls in older people: a prospective study [J]. *J Am Geriatr Soc*, 2010, 58(10):1936-1940.
- [28] JONES J, HUNTER D. Consensus methods for medical and health services research [J]. *BMJ*, 1995, 311(7001):376-380.
- [29] HASSON F, KEENEY S, MCKENNA H. Research guidelines for the Delphi Survey Technique [J]. *J Adv Nurs*, 2000, 32(4):1008-1015.
- [30] SINHA I P, SMYTH R L, WILLIAMSON P R. Using the Delphi technique to determine which outcomes to measure in clinical trials: recommendations for the future based on a systematic review of existing studies [J]. *PLoS Med*, 2011, 8(1):e1000393.
- [31] KEIJERS N L, STOLWIJK N M, PATAKY T C. Linear dependence of peak, mean, and pressure-time integral values in plantar pressure images [J]. *Gait Posture*, 2010, 31(1):140-142.
- [32] BOTROS F S, TAHER M F, ELSAYED N M, et al. Prediction of diabetic foot ulceration using spatial and temporal dynamic plantar pressure [C]//2016 8th Cairo International Biomedical Engineering Conference (CIBEC). Cairo, Egypt. IEEE, 2017:43-47.
- [33] 刘逸萌. 基于足底压力分布的老年人跌倒风险深度预测模型研究[D]. 深圳:深圳大学, 2019:10-16.
- LIU Y M. Study on the prediction model of the fall risk depth of the elderly based on the plantar pressure distribution [D]. Shenzhen: Shenzhen University, 2019:10-16.
- [34] 郭胜男. 不同跌倒风险老年人群的步态特征研究[D]. 淄博:山东理工大学, 2016:4-6.
- GUO S N. Gait characteristics research of the elderly with different fall risks [D]. Zibo: Shandong University of Technology, 2016:4-6.
- [35] 程磊. 有跌倒史老年人群足底压力分布特征分析[D]. 长春:东北师范大学, 2010:8-9.
- CHENG L. Analysis of plantar pressure distribution characteristics of elderly people with a history of falling [D]. Changchun: Northeast Normal University, 2010:8-9.
- [36] 李萍, 邹晓峰, 程磊, 等. 有跌倒史的老年人群足底压力特征研究[J]. *中国老年学杂志*, 2011, 31(7):1122-1124.
- LI P, ZOU X F, CHENG L, et al. Characteristics of plantar pressure in elderly people with a history of falls [J]. *Chin J Gerontol*, 2011, 31(7):1122-1124.
- [37] MCKAY M J, BALDWIN J N, FERREIRA P, et al. Spatiotemporal and plantar pressure patterns of 1000 healthy individuals aged 3-101 years [J]. *Gait Posture*, 2017, 58:78-87.

Study on the Dynamic Parameters of Plantar Pressure Applicable to the Elderly Screened by Delphi Method

YAN Yifeng, OU Jianlin, ZHENG Jiaying, SUN Chenming, SHANG Yaru, CHEN Zhuoming*

The First Affiliated Hospital of Jinan University, Guangzhou, Guangdong 510630, China

*Correspondence: CHEN Zhuoming, E-mail: 1090029753@qq.com

ABSTRACT Objective: To screen the plantar pressure dynamic parameters applicable to the elderly population, and to provide comparable parameters for the future scientific research. **Methods:** The Delphi method was conducted. A research team was set up to design a questionnaire, and 25 medical experts in related fields were invited to complete the questionnaire survey and opinions were consulted on the commonly using parameters of plantar pressure dynamics sorted out by the research team. The positive coefficient, authority coefficient, coordination coefficient and each index score were calculated. The final index screening criteria were "the arithmetic mean of total score $\geq P_{25}$ of the arithmetic mean" or "the full score ratio of total score $\geq P_{25}$ of full score ratio" and "coefficient of variation of total score $\leq P_{75}$ of the coefficient of variation". **Results:** The 24 of 25 experts were actively involved in the initial consultation, and none of these experts reported being unfamiliar with the indicators. The average positive coefficient of experts in the two rounds of correspondence (96.00% in the first round and 91.67% in the second round) was as high as 93.84%, the authority coefficient was (0.728 $\pm$ 0.373), and the opinion coordination coefficient was about 0.15 (all $P < 0.01$). After screening, the dynamic parameters of plantar pressure applicable to the elderly were forefoot-to-rear foot plantar pressure ratio, asymmetry index, contact area, the time to peak pressure, load rate, intensity of peak pressure, intensity of pressure time integral, stress load, peak pressure, pressure time integral, full width at half maximum, average pressure (area), center of plantar pressure (COP). **Conclusion:** The dynamic parameters of plantar pressure selected for the elderly based on Delphi method are scientific and reliable. In this study, parameters suitable for the study of the elderly were screened out from numerous dynamic parameters, providing a relatively standardized reference range, which will make relevant scientific research more standardized and systematic and provide a reliable theoretical basis and reference for the studies of plantar pressure of the elderly in the future.

KEY WORDS Delphi method; plantar pressure; the elderly; dynamic parameters; index selection

DOI:10.3724/SP.J.1329.2023.03003